

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение
(технические науки)

Водоснабжение, канализация,
строительные системы
охраны водных ресурсов
(технические науки)

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
(технические и химические
науки)

Пожарная безопасность
(технические науки)

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Журнал включен
в «Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук ВАК
при Министерстве науки и высшего образования
Российской Федерации»

№ 3 (56), 2025



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Научный журнал

Издаётся с 2011 года

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: 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».

Территория распространения — Российская Федерация, зарубежные страны.

Журнал индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU / РИНЦ (Россия).

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Переписка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Булгаков Владислав Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Заместители главного редактора: Шарбанова Ирина Юрьевна, кандидат медицинских наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Федосов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, академик РААСН
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, г. Москва)
Никифоров Александр Леонидович, доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Научный редактор: Ульев Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Члены редколлегии:

Акулова Марина Владимировна — д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, заведующая кафедрой архитектуры и урбанистики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Алексеев Михаил Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)

Барбин Николай Михайлович — д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения УНК ПИПАСР ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)

Баусов Алексей Михайлович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Бубнов Андрей Германович — д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Бутман Михаил Федорович — д-р физ.-мат. наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, главный научный сотрудник, профессор кафедры технологии керамики и электрохимических производств ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Бутузов Станислав Юрьевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий (в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России» (Россия, г. Москва)

Горина Светлана Владимировна — д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры основ экономики функционирования РСЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Гринченко Борис Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и ГДЗС (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Ерофеев Владимир Трофимович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры строительного материаловедения НИУ МГСУ (Россия, г. Москва)

Ефремов Александр Михайлович — д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры технологии приборов и материалов электронной техники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Камлюк Андрей Николаевич — канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель начальника ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» по научной и инновационной деятельности (Республика Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оперативно-тактической деятельности и техники Гомельского филиала ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» (Республика Беларусь, г. Гомель)

Колобов Михаил Юрьевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Краснов Александр Алексеевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Лазарев Александр Александрович — канд. пед. наук, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры правового обеспечения надзорной деятельности (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Лопанов Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, директор Регионального учебно-методического центра ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (Россия, г. Белгород)

Назарычев Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики и электромеханики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)

Овчинников Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Присадов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук пожарной безопасности, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, г. Балашиха)

Румянцев Варвара Евгеньевна — д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, директор института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Семенов Алексей Олегович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Соколов Александр Михайлович — д-р техн. наук, доцент, советник РААСН, профессор кафедры высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (Россия, г. Иваново)

Степанов Сергей Гаевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры мехатроники и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Сырбу Светлана Александровна — д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Теличенко Валерий Иванович — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РААСН, президент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (Россия, г. Москва)

Федосеев Вадим Николаевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Хафизов Ильдар Фанильевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Россия, г. Уфа)

Циркина Ольга Германовна — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Шевцов Сергей Александрович — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (Россия, г. Воронеж)

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Дата выхода в свет 25.09.2025 г. Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 73,3. Тираж 100 экз. Заказ № 908.

Реестровая запись от 15.11.2022 серия ПИ № ФС77-84179

(Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Адрес редакции (издателя): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33.

Тел.: (4932) 93-08-00, доб. 1560; e-mail: journal@edufire37.ru

© Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2025

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)

Гринченко Б. Б., Кузнецов И. А., Суровегин А. В. Анализ временных показателей боевого развертывания первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением с использованием переносного лафетного ствола	5
Grinchenko B. B., Kuznetsov I. A., Surovegin A. V. Analysis of time indicators of combat deployment of the first arriving fire and rescue unit using a portable fire monster.....	5
Куртов С. О. Результаты экспериментального определения гидравлического сопротивления напорно-всасывающего рукава	13
Kurtov S. O. Results of experimental determination of hydraulic resistance of pressure-suction hose.....	13
Немкин И. Н., Распопин Е. Е. Исследование методов обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса и определение их оптимального варианта.....	19
Nemkin I. N., Raspopin E. E. Research of fire safety methods at oil and gas enterprises the complex and the definition of their optimal option	19
Пеньков И. В., Лазарев А. А., Сторонкина О. Е., Осмоловская А. А. Результаты испытания технических средств для мониторинга пожарной безопасности дымоходов печей.....	33
Penkov I. V., Lazarev A. A., Storonkina O. E., Osmolovskaya A. A. Test results of technical means for monitoring fire safety of furnace chimneys	33
Салихова А. Х., Циркина О. Г., Сырбу С. А., Баринаева Е. В., Клушин А. Н. Разработка способа огнезащиты технических тканей смешанного волокнистого состава	40
Salikhova A. Kh., Tsirkina O. G., Syrbu S. A., Barinova E. V., Klushin A. N. Development of a method of fire protection of technical fabrics of mixed fibrous composition	40
Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В., Хафизов И. Ф., Хафизов Ф. Ш. Исследование ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на объектах нефтегазового комплекса	53
Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V., Khafizov I. F., Khafizov F. Sh. Study of false alarms of automatic fire alarm systems at oil and gas sites.....	53
Халиков Р. В., Климцов В. М., Гаплаев А. А.-Б., Коваль Ю. Н., Гринченко Б. Б. Исследование эффективности использования беспилотной авиации для тушения пожаров в высотных зданиях	62
Khalikov R. V., Klimtsov V. M., Gaplaev A. A.-B., Koval Y. N., Grinchenko B. B. Effectiveness study and use of uavs for fire extinguishment in high-rise buildings high-rise buildings.....	62

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)

Румянцева В. Е., Красильников И. В., Коринчук М. А., Красильникова И. А. Закономерности физико-химических явлений тепломассопереноса, структурообразования и учета эндо- и экзотермических эффектов в процессах сушки блоков арболита-сырца.....	70
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Korinchuk M. A., Krasilnikova I. A. Patterns of physico-chemical phenomena of heat and mass transfer, structure formation, and consideration of endothermic and exothermic effects in the drying of raw arbolite blocks.....	70

УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS (TECHNICAL)

Апарин А. А., Семенов А. О., Разумова Е. Ф., Балобанов А. А. Разработка программы, формирующей виджет для видеостены центра управления в кризисных ситуациях	81
Aparin A. A., Semenov A. O., Razumova E. F., Balobanov A. A. Development of a program that creates a view for the video wall of the crisis control center	81
Ермилов А. В., Кузнецов А. В., Никишов С. Н., Багажков И. В. Поддержка принятия управленческих решений при тушении пожаров на воздушном судне	91
Ermilov A. V., Kuznetsov A. V., Nikishov S. N., Bagazhkov I. V. Support for management decisions in fire extinguishing on an aircraft.....	91
Кузнецов А. В., Багажков И. В., Ермилов А. В., Никишов С. Н. Поддержка принятия управленческих решений по определению оптимальных маршрутов мобильных средств мониторинга на крупных пожарах в условиях Арктической зоны	105
Kuznetsov A. V., Baghagkov I. V., Ermilov A. V., Nikishov S. N. Support for management decision-making to determine the optimal routes for mobile monitoring equipment for large fires in the Arctic zone	105
Тихановская Л. Б., Найденова С. В., Горинова С. В. Разработка системы показателей оценивания эффективности привлечения кадров для осуществления федерального государственного пожарного надзора	116
Tikhanovskaya L. B., Naidenova S. V., Gorinova S. V. Development of a system of indicators for evaluating the effectiveness of attracting personnel for implementation federal state fire supervision	116
Чурилина В. В., Билятдинов К. З. Базовая модель информационного обеспечения принятия решений в организационных системах подразделений информационной безопасности МЧС России.....	126
Churilina V. V., Bilyatdinov K. Z. Basic model of information support for decision-making in organisational systems of information security units of EMERCOM of Russia.....	126

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 614.84

**АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БОЕВОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ
ПЕРВЫМ ПРИБЫВШИМ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕНОСНОГО ЛАФЕТНОГО СТВОЛА**

Б. Б. ГРИНЧЕНКО, И. А. КУЗНЕЦОВ, А. В. СУРОВЕГИН
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, ikuz1999@list.ru, sav_37@mail.ru

В статье рассмотрена проблематика, связанная с повышением эффективности применения сил и средств первых прибывших пожарно-спасательных подразделений на начальном этапе тушения пожара в рамках боевого развертывания с использованием переносных лафетных стволов (ПЛС).

Целью исследования является разработка временных показателей боевого развертывания первых прибывших пожарно-спасательных подразделений с использованием ПЛС, включая этапы подготовки оборудования, прокладку рукавных линий и ввода прибора тушения в действие без учета подачи огнетушащих веществ.

Работа базируется на полевых экспериментах, хронометраже операций и статистической обработке данных с применением критериев Стьюдента и Фишера, а также элементах теории вероятностей и математической статистики.

Результаты исследования позволили сформировать временные показатели боевого развертывания первых прибывших пожарно-спасательных подразделений с использованием ПЛС с учетом количества исполнителей (от 2 до 4 человек). Установлено, что практически во всех случаях применение средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения оказывают значимое влияние на время боевого развертывания.

Ключевые слова: пожарно-спасательные подразделения, боевое развёртывание, переносной лафетный ствол, временные показатели, профессиональная подготовка пожарных.

**ANALYSIS OF TIME INDICATORS OF COMBAT DEPLOYMENT
OF THE FIRST ARRIVING FIRE
AND RESCUE UNIT USING A PORTABLE FIRE MONSTER**

B. B. GRINCHENKO, I. A. KUZNETSOV, A. V. SUROVEGIN
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, ikuz1999@list.ru, sav_37@mail.ru

The article considers the problems associated with increasing the efficiency of using the forces and means of the first arriving fire and rescue units at the initial stage of fire extinguishing within the framework of combat deployment using portable monitor nozzles (PMN).

The aim of the study is to develop time indicators of combat deployment of the first arriving fire and rescue units using PMN, including the stages of equipment preparation, laying hose lines and putting the extinguishing device into action without taking into account the supply of fire extinguishing agents.

The work is based on field experiments, timing of operations and statistical data processing using Student's and Fisher's criteria, as well as elements of probability theory and mathematical statistics.

The results of the study made it possible to form time indicators of combat deployment of the first arriving fire and rescue units using PMN, taking into account the number of performers (from 2 to 4 people). It was found that in almost all cases the use of personal respiratory and visual protection equipment has a significant impact on the combat deployment time.

Key words: fire and rescue units, combat deployment, portable monitor nozzle, time indicators, professional training of firefighters.

Введение

Современные условия развития городской инфраструктуры и увеличение плотности застройки предъявляют повышенные требования к оперативности действий пожарно-спасательных подразделений [1]. В условиях быстрого развития пожаров, особенно на объектах с массовым пребыванием людей или сложной планировкой, критическое значение приобретает сокращение временных затрат на боевое развёртывание [2, 3]. Первое прибывшее подразделение играет ключевую роль в локализации и ликвидации возгорания, поскольку его действие определяют динамику развития чрезвычайной ситуации и влияют на общий успех операции.

Одним из перспективных инструментов повышения эффективности начального этапа тушения пожара является применение ПЛС, которые позволяют на расстоянии подавать значительные объёмы огнетушащих веществ (от 15 л/с), обеспечивая безопасность личного состава и охват труднодоступных зон. Однако их использование сопряжено с необходимостью адаптации тактических приемов, что требует пересмотра традиционных временных показателей боевого развёртывания. Несмотря на активное внедрение ПЛС в практику тушения пожаров, научно-обоснованные данные, о временных параметрах их применения остаются фрагментарными, а влияние на оперативность действий первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения на начальной стадии развития и тушения изучено не в полной мере [4, 5].

Целью исследования является разработка временных показателей боевого развёртывания первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением с использованием ПЛС, включая этапы подготовки оборудования, прокладку рукавных линий и ввода ствола в действие без учета подачи огнетушащих веществ. Работа базируется на полевых экспериментах, хронометраже операций и статистической обработке данных, что позволяет сформировать рекомендации для повышения эффективности действий первых прибывших пожарно-спасательных подразделений в условиях ограниченного временного ресурса [6, 7]. Результаты исследования могут стать основой

для актуализации информативной базы временных показателей по схемам боевого развёртывания и совершенствования методик профессиональной подготовки пожарных, что в свою очередь окажет положительный эффект в сокращении критических временных интервалов при ликвидации пожаров.

К задачам исследования отнесены следующие положения:

- определить эмпирические значения времени выполнения боевого развёртывания первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением с применением ПЛС;
- оценить достоверность результатов наблюдения с использованием критерия Стьюдента;
- установить взаимосвязь в применении средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД) на время выполнения боевого развёртывания по критерию Фишера;
- рассчитать временной параметр по схемам боевого развёртывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения с применением ПЛС.

Методика

и организация исследования

Для выполнения поставленных задач и достижения цели исследования в работе были применены такие методы исследования как: методы теории вероятностей и математической статистики; дисперсионный анализ.

Объектом исследования является боевое развёртывание от пожарного автомобиля на одну и две магистральные линии с подачей ПЛС несколькими исполнителями (от 2 до 4 человек) согласно схемам, представленным на рис. 1.

Выбор схем боевого развёртывания сил и средств обусловлен тактическими возможностями первых прибывших пожарно-спасательных подразделений с учетом норм и ограничений приказа МЧС России № 425 «Об утверждении норм табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 года».

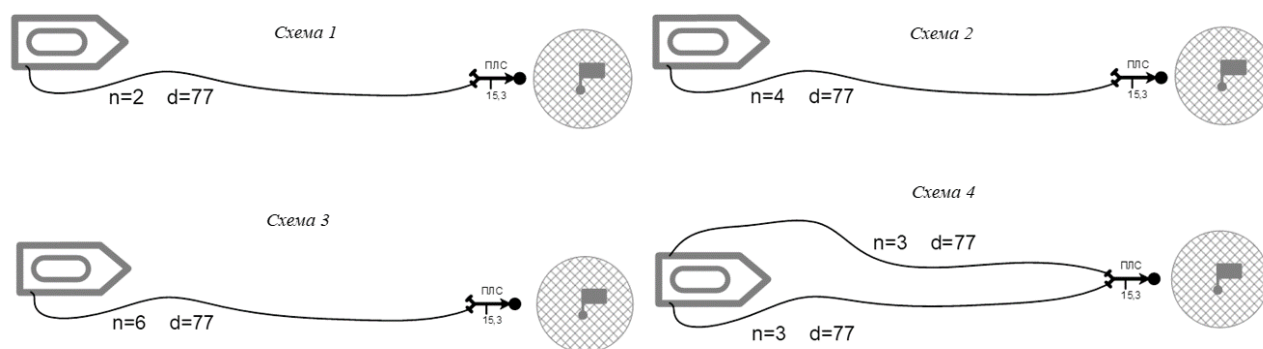


Рис. 1. Схемы боевого развертывания с подачей ПРС

Для описания примера расчетов, выполняемых в ходе исследования, рассмотрим схему боевого развертывания №1.

Условия выполнения. Пожарный автомобиль установлен на ровной площадке с твердым покрытием. Пожарное оборудование находится в отсеках и закреплено на штатных местах согласно таблице положенности пожарного автомобиля. Отсеки закрыты. Исполнители стоят у колеса задней оси пожарного автомобиля.

Упражнение считается выполненным, если: магистральная рукавная линия из 2-х рукавов d=77 мм присоединена к напорному патрубку насосной установки и проложена на всю длину. К нему присоединен переносной лафетный ствол. Исполнители находятся в позициях. Водитель рядом с насосной установкой.

Исследование проводилось в учебном центре Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России п. Бибирево на открытом полигоне при температуре окружающей среды 2–10 °С. В исследовании принимала участие группа исполнителей в количестве

20 человек в возрасте от 19 до 25 лет. Для исследования группу добровольцев разделили на контрольную и экспериментальную по 10 человек каждая.

Контрольная группа выполняла боевое развертывание без использования СИЗОД, а экспериментальная группа с использованием СИЗОД (дыхательные аппараты были надеты на исполнителей без включения). Каждому сформированному отделению из 2-х человек давалось по 10 попыток. После выполнения каждой попытки отделению предоставлялось время на восстановление.

В табл. 1 представлены эмпирические результаты наблюдения временных показателей упражнения согласно описанным условиям.

Для исключения недостоверных результатов эмпирического наблюдения из генеральной совокупности данных была выполнена оценка достоверности по t-критерию Стьюдента, результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 1. Результаты наблюдения времени боевого развертывания

№	Временные показатели, с					
	без СИЗОД			с СИЗОД		
	На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.	На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.
1	43	16	28	26	31	24
2	32	19	16	44	40	44
3	25	22	19	24	28	19
4	23	22	19	38	28	18
5	26	18	19	25	29	34
6	23	17	18	24	24	19
7	22	16	24	21	14	16
8	30	20	22	18	18	19
9	24	17	22	24	12	21
10	22	17	14	34	14	16

Таблица 2. Оценка достоверности по критерию Стьюдента

	без СИЗОД			с СИЗОД		
	На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.	На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.
$\alpha=$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$K=$	10	10	10	10	10	10
$t_s=$	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81
$X_{cp}=$	27,00	18,40	20,10	27,80	23,80	23,00
$\sigma=$	6,55	2,27	4,04	8,18	9,08	9,06

После исследования экспериментальных результатов временных показателей выполнения упражнения t-критерием Стьюдента были отсеяны числовые значения из генеральной совокупности данных, которые отвечают заданному уровню значимости $\alpha = 0,1$.

В табл. 3 представлены результаты оценки достоверности временных показателей боевого развертывания согласно реализуемых схем.

Далее был использован критерий Фишера, с целью выявления взаимосвязи между использованием СИЗОД при боевом развертывании и его отсутствии.

В табл. 4–6 представлены результаты дисперсионного анализа полученных результатов по критерию Фишера.

Так как $F_{наб.} < F_{кр.}$ ($0,105 < 4,49$), то с вероятностью 95 % принимаем, что на боевое развертывание по схеме № 1 на 2 исполнителя использование СИЗОД не оказывает значимого влияния.

Так как $F_{наб.} < F_{кр.}$ ($3,33 < 4,41$), то с вероятностью 95 % принимаем, что на боевое развертывание по схеме №1 на 3 исполнителя использование СИЗОД не оказывает значимого влияния.

Таблица 3. Результаты оценки достоверности по критерию Стьюдента

Временные показатели, с					
без СИЗОД			с СИЗОД		
На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.	На 2 исполн.	На 3 исполн.	На 4 исполн.
32	16	16	26	31	24
25	19	19	24	40	19
23	22	19	38	28	18
26	22	19	25	28	34
23	18	18	24	29	19
22	17	24	21	24	16
30	16	22	18	14	19
24	20	22	24	18	21
22	17	14	34	12	16
	17			14	

Таблица 4. Результаты боевого развертывания на 2 исполнителя

Однофакторный дисперсионный анализ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Без СИЗОД	9	227	25,22	12,69		
С СИЗОД	9	234	26	38,75		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	$F_{наб.}$	P-Значение	$F_{кр.}$
Между группами	2,72	1	2,72	0,105	0,749	4,49
Внутри групп	411,55	16	25,72			
Итого	414,27	17				

Таблица 5. Результаты боевого развертывания на 3 исполнителя

Однофакторный дисперсионный анализ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Без СИЗОД	10	184	18,4	5,15		
С СИЗОД	10	238	23,8	82,4		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	$F_{наб.}$	P-Значение	$F_{кр.}$
Между группами	145,8	1	145,8	3,33	0,08	4,41
Внутри групп	788	18	43,77			
Итого	933,8	19				

Таблица 6. Результаты боевого развертывания на 4 исполнителя

Однофакторный дисперсионный анализ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Без СИЗОД	9	173	19,22	9,69		
С СИЗОД	9	186	20,66	31		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	$F_{наб.}$	P-Значение	$F_{кр.}$
Между группами	9,38	1	9,38	0,46	0,506	4,49
Внутри групп	325,55	16	20,34			
Итого	334,94	17				

Так как $F_{наб.} < F_{кр.}$ ($0,46 < 4,49$), то с вероятностью 95 % принимаем, что на боевое развертывание по схеме №1 на 4 исполнителя использование СИЗОД не оказывает значимого влияния.

В основе определения ожидаемого времени боевого развертывания сил и средств по подаче огнетушащих веществ первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением был использован метод по стандартному отклонению (для оценки значения округляются в большую сторону): Нижний порог $X_{ср} + \sigma$;

средний порог $X_{ср}$; высокий порог $X_{ср} - \sigma$. Полученные результаты представлены в табл. 7–9.

Время боевого развертывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения по схеме №1 на 2 исполнителя с учетом использования / отсутствия СИЗОД составит 26 ± 5 секунд.

Время боевого развертывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения по схеме № 1 на 3 исполнителя с учетом использования / отсутствия СИЗОД составит 22 ± 8 секунд.

Таблица 7. Результаты боевого развертывания на 2 исполнителя

Способ	Ст.отклона	Десятипроцентный			
Низкий порог	31	29			
Средний порог	26	26			
Высокий порог	21	23			
Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	Сумма
Идеально	2	6	6	2	16
Ст.отклона	1	11	3	3	18
Десятипроцентный	4	8	2	4	18
Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	χ^2
Ст.отклона	0,5	4,17	1,5	0,5	6,67
Десятипроцентный	2	0,67	2,67	2	7,34
Рекомендуется время по стандартному отклонению					6,67

Таблица 8. Результаты боевого развертывания на 3 исполнителя

Способ	Ст.отклона	Десятипроцентный			
Низкий порог	30	25			
Средний порог	22	22			
Высокий порог	14	19			

Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	Сумма
Идеально	3	7	7	3	20
Ст.отклоня	1	11	6	2	20
Десятипроцентный	10	2	3	5	20
Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	χ^2
Ст.отклоня	1,33	2,29	0,14	0,33	4,09
Десятипроцентный	16,33	3,57	2,29	1,33	23,52
Рекомендуется время по стандартному отклонению					4,09

Таблица 9. Результаты боевого развертывания на 4 исполнителя

Способ	Ст.отклоня	Десятипроцентный			
Низкий порог	25	22			
Средний порог	20	20			
Высокий порог	15	18			
Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	Сумма
Идеально	2	6	6	2	16
Ст.отклоня	1	11	5	1	18
Десятипроцентный	4	8	1	5	18
Отметка	«5»	«4»	«3»	«2»	χ^2
Ст.отклоня	0,5	4,17	0,17	0,5	5,34
Десятипроцентный	2	0,67	4,17	4,5	11,34
Рекомендуется время по стандартному отклонению					5,34

Время боевого развертывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения по схеме № 1 на 4 исполнителя с учетом использования / отсутствия СИЗОД составит 20 ± 5 секунд.

По результатам исследований времени боевого развертывания первых прибывших пожарно-спасательных подразделений можно сделать вывод, что для рассматриваемых схем получатся следующие временные значения, представленные в табл. 10.

Таблица 10. Временные показатели, полученные в ходе исследования по 4-м схемам боевого развертывания

Количество исполнителей	Временные показатели
Схема № 1	
2 исполнителя	26 ± 5
3 исполнителя	22 ± 8
4 исполнителя	20 ± 5
Схема № 2	
2 исполнителя (без СИЗОД)	49 ± 6
2 исполнителя (с СИЗОД)	64 ± 15
3 исполнителя	45 ± 9
4 исполнителя (без СИЗОД)	38 ± 11
4 исполнителя (с СИЗОД)	55 ± 6
Схема № 3	
2 исполнителя	115 ± 18
3 исполнителя (без СИЗОД)	86 ± 14
3 исполнителя (с СИЗОД)	98 ± 10
4 исполнителя	72 ± 12
Схема № 4	
2 исполнителя (без СИЗОД)	65 ± 12
2 исполнителя (с СИЗОД)	88 ± 20
3 исполнителя (без СИЗОД)	44 ± 7
3 исполнителя (с СИЗОД)	58 ± 10
4 исполнителя (без СИЗОД)	41 ± 5
4 исполнителя (с СИЗОД)	56 ± 9

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволило систематизировать данные о временных параметрах боевого развертывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения с использованием ПЛС, актуальных в условиях современных урбанизированных пространств. На основе полевых экспериментов, хронометража операций и статистического анализа (критерии Стьюдента и Фишера) установлено, что применение ПЛС существенно влияет на динамику начального этапа тушения, однако требует адаптации тактических приемов и пересмотра временных показателей.

К ключевым выводам работы авторы относят следующие положения:

1. Установлено, что использование ПЛС с участием 2-4 исполнителей позволяет сократить время прокладки рукавных линий и ввода ствола в действие, но увеличивает продолжительность подготовки оборудования. Это подтверждено расчетами по схемам развертывания и статистической оценкой достоверности результатов.

2. Критерий Фишера продемонстрировал значимое влияние СИЗОД на время выполнения операций, что подчеркивает необхо-

димость тренировок в условиях, приближенных к реальным.

3. Сформированы результаты, которые могут послужить основой для актуализации временных показателей боевого развертывания первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения, включая дифференциацию временных интервалов в зависимости от количества исполнителей и конфигурации магистральных линий.

Результаты исследования имеют практическую значимость для совершенствования профессиональной подготовки личного состава и оптимизации оперативно-тактических схем. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение влияния других факторов (тип объекта, климатические условия) на эффективность применения ПЛС, а также на разработку тренажерных комплексов для отработки навыков в вариативных сценариях. Полученные данные вносят вклад в повышение оперативности действий пожарно-спасательных подразделений, что критически важно для минимизации последствий пожаров в условиях высокой плотности застройки и массового пребывания людей.

Список литературы

1. Отечественные подходы к вопросам дислокации зданий пожарных депо / М. О. Баканов, А. В. Суровегин, Д. С. Катин [и др.] // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: сборник материалов Дней науки с международным участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России. В 2-х частях, часть 1. Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. С. 10–14. EDN: MUFZVR.

2. Research and justification of the time for conducting operational actions by fire and rescue units to rescue people in a fire / D. Dubinin [et al.]. *Sigurnost*, 2022, vol. 64, issue 1.

3. Hsiao C. J., Hsieh S. H. Real-time fire protection system architecture for building safety. *Journal of Building Engineering*, 2023, vol. 67, p. 105913.

4. Прогнозирование параметров работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности / Б. Б. Гринченко, Р. М. Шипилов, М. О. Баканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 164–173. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_1_164. EDN: MKSWYG.

5. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре /

Е. В. Степанов, М. Х. Х. Чан, Б. Б. Гринченко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 47–56. EDN: DGCRVX.

6. Солодкий В. В. Организация работы пожарно-спасательных звеньев в организациях // Глобальные проблемы безопасности жизнедеятельности и готовность к ним общества: сборник трудов конференции. СПб: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2018. С. 152–160. EDN: YWONGR.

7. Salazar L. G. F., Romão X., Paupério E. Review of vulnerability indicators for fire risk assessment in cultural heritage. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2021, vol. 60, p. 102286.

References

1. Otechestvennye podhody k voprosam dislokacii zdaniy pozharnyh depo [Domestic approaches to the issues of location of fire station buildings] / M. O. Bakanov, A. V. Surovegin, D. S. Katin [et al.]. *Aktual'nye problemy i innovacii v obespechenii bezopasnosti: sbornik materialov Dnej nauki s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennyh 90-letiyu Grazhdanskoj oborony Rossii. V 2-h chastyah, chast' 1.* Ekaterinburg: Ural'skij institut Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, 2022, pp. 10–14. EDN: MUFZVR (in Russia).

2. Research and justification of the time for conducting operational actions by fire and rescue

units to rescue people in a fire / D. Dubinin [et al.]. *Sigurnost*, 2022, vol. 64, issue 1.

3. Hsiao C. J., Hsieh S. H. Real-time fire protection system architecture for building safety. *Journal of Building Engineering*, 2023, vol. 67, p. 105913.

4. Prognozirovanie parametrov raboty uchastnikov tusheniya pozhara na primere predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti [Forecasting the parameters of work of fire extinguishing participants using the example of textile industry enterprises] / B. B. Grinchenko, R. M. Shipilov, M. O. Bakanov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (409), pp. 164–173. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_1_164. EDN: MKSWYG (in Russia).

5. Model' i metodika ocenki stepeni slozhnosti sistemy upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami na pozhare [Model and

methodology for assessing the degree of complexity of the fire and rescue unit management system during a fire] / E. V. Stepanov, M. H. H. Chan, B. B. Grinchenko [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 47–56. EDN: DGCRVX (in Russia).

6. Solodkij V. V. Organizaciya raboty pozharno-spasatel'nykh zven'ev v organizatsiyakh [Organization of work of fire and rescue units in organizations]. *Global'nye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti i gotovnost' k nim obshchestva: sbornik trudov konferentsii*. SPb.: Rossiyskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet im. A. I. Gertsena, 2018, pp. 152–160. EDN: YWONGR. (in Russia).

7. Salazar L. G. F., Romão X., Paupério E. Review of vulnerability indicators for fire risk assessment in cultural heritage. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2021, vol. 60, p. 102286.

Гринченко Борис Борисович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доцент кафедры

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Grinchenko Boris Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Associate Professor of the Department

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Кузнецов Илья Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Научный сотрудник

E-mail: ikuz1999@list.ru

Kuznetsov Ilya Alexandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Research Associate

E-mail: ikuz1999@list.ru

Суровегин Антон Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Начальник научно-исследовательского отделения

E-mail: sav_37@mail.ru

Surovegin Anton Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Head of the research division

E-mail: sav_37@mail.ru

УДК 614.843.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОРНО-ВСАСЫВАЮЩЕГО РУКАВА

С. О. КУРТОВ

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

В статье обоснована актуальность исследования гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов с целью повышения точности расчетов и надежности насосно-рукавных систем при пожаротушении с использованием передвижной пожарной техники. Рассмотрены две схемы работы автоцистерн с использованием напорно-всасывающих рукавов: перелив воды по схеме «из насоса в цистерну» через люк на крыше и заправка АЦ с применением гидроэлеваторных систем. Разработаны методика и экспериментальная схема для определения гидравлических сопротивлений напорно-всасывающих рукавов, основанные на использовании оригинальной установки, созданной в ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. Экспериментальные исследования показали, что гидравлическое сопротивление напорно-всасывающих рукавов номинальным диаметром DN80 составляет в среднем $0,0064 \text{ (с}^2/\text{л}^2)\cdot\text{м}$. Полученные данные свидетельствуют о значительных потерях напора, что исключает возможность пренебрежения ими при проведении расчетов. Таким образом, учет гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов DN80 является обязательным при проектировании и расчетах работоспособности насосно-рукавных систем при организации тушения пожаров.

Ключевые слова: напорно-всасывающие рукава, гидравлическое сопротивление, напор, давление.

RESULTS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF PRESSURE-SUCTION HOSE

S. O. KURTOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russia Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Zheleznogorsk
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

The article substantiates the relevance of the study of hydraulic resistance of pressure-suction hoses in order to improve the accuracy of calculations and reliability of pump-suction hose systems in firefighting using mobile fire fighting equipment. Two schemes of tank trucks operation with the use of pressure-suction hoses are considered: water overflow according to the scheme “from pump to tank” through the hatch on the roof and filling of tank trucks with the use of hydro-elevator systems. The methodology and experimental scheme for determining the hydraulic resistance of pressure-suction hoses, based on the use of the original installation created in the FSBEI VO Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia are developed. Experimental studies have shown that the hydraulic resistance of pressure-suction hoses with nominal diameter DN80 is on average $0.0065 \text{ (s}^2/\text{l}^2)\cdot\text{m}$. The obtained data indicate significant head losses, which excludes the possibility of neglecting them in the calculations. Thus, taking into account the hydraulic resistance of pressure-suction hoses DN80 is mandatory when designing and calculating the performance of pumping and hose systems in the organization of fire fighting.

Key words: suction hoses, hydraulic resistance, head, pressure.

Введение

Одной из ключевых задач руководителя тушения пожара и начальника тыла (как нештатного должностного лица оперативного штаба) является обеспечение бесперебойной подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) к месту ведения боевых действий. Для эффективного решения этой задачи они должны владеть методиками расчета необходимого количества сил и средств (подвоз, перекачка воды, забор воды при помощи гидроэлеваторных систем). Внедрение современных экспериментальных данных (таких как уточненные значения гидравлического сопротивления рукавов) способствует повышению точности расчетов и, как следствие, повышению эффективности тушения пожара.

На имеющейся базе Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России продолжаются комплексные экспериментальные работы, направленные на изучение эксплуатационных характеристик ключевых элементов насосно-рукавных систем (далее – НРС). Основной **целью** исследования является

экспериментальное установление гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах, что позволит повысить точность гидравлических расчетов и надежность функционирования НРС при тушении пожаров с применением мобильной пожарной техники

Методы исследования включали теоретический анализ, обработку и сравнительную оценку расчетно-теоретических и экспериментальных данных.

Основная часть

В данной публикации рассмотрен вопрос необходимости определения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов (далее – НВР), которые возможно использовать не только для забора ОТВ из сетей наружного противопожарного водоснабжения передвижной пожарной техникой (используя пожарную колонку), но и для перелива воды между автоцистернами (далее – АЦ) по системе «из насоса в цистерну» с использованием специального люка на крыше (рис. 1) [1], а также при условиях применения для забора воды гидроэлеваторных систем (Г-600 или Г-600 А – рис. 2).



Рис.1. Методика перелива воды между автоцистернами по системе «из насоса в цистерну» с использованием специального люка на крыше

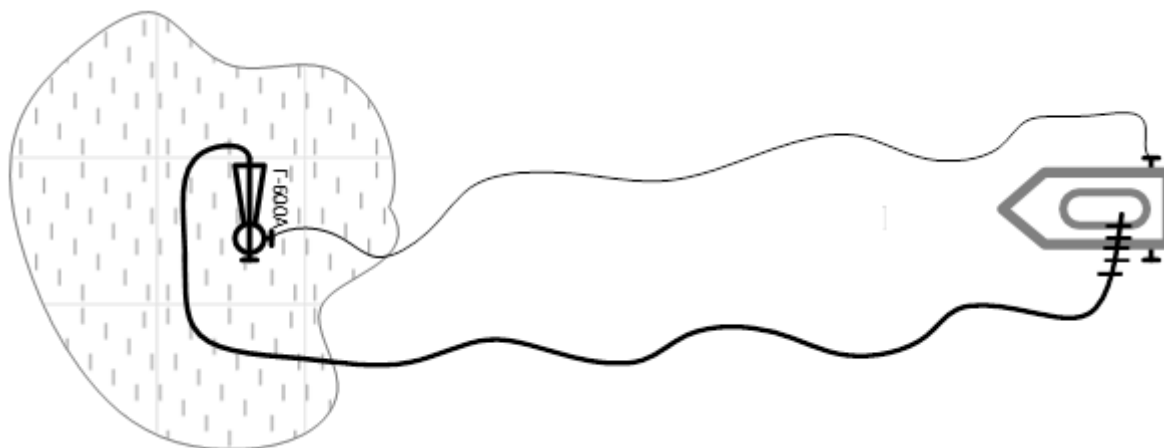


Рис.2. Схема, используемая для организации заправки водой емкости АЦ с применением гидроэлеватора Г-600 или Г-600А

На рис. 1 указано среднее значение напора, создаваемого пожарным насосом ступенью нормального давления $H_{\text{нас}} = 90$ м. При пожарно-тактическом расчете напор в конце магистральной рукавной линии должен составлять не менее $H_{\text{вх}} = 3,5 \div 4$ м (данное значение зависит от высоты пожарного автомобиля $H_{\text{ПА}}$ [2-4]) и не учитывает гидравлическое

сопротивление НВР, как и при заборе воды (рис. 2). В связи с этим актуальной является задача экспериментального определения данного параметра. Испытания выполнялись на исследовательском стенде, созданном в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [5], в соответствии со схемой, изображенной на рис.3.

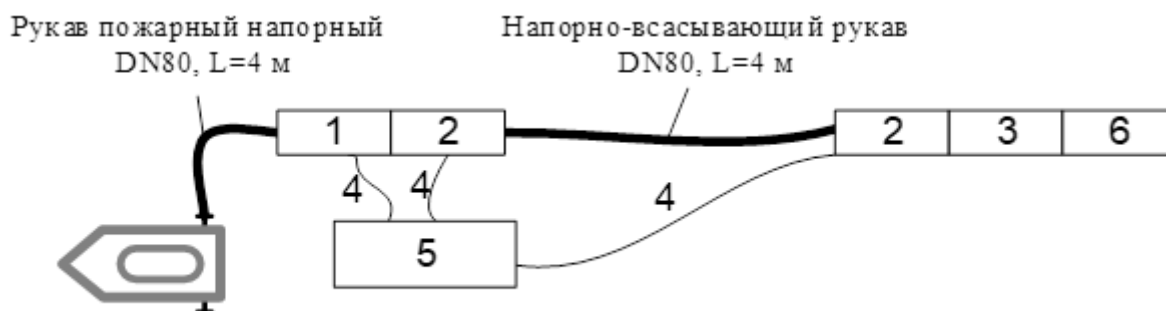


Рис. 3. Схема для определения гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах

На рис. 3 обозначено следующее оборудование, элементы, приборы:

1 – Измерительная рукавная вставка с условным проходом DN80, включающая расходомер электромагнитного типа МастерФлоу МФ-5.2.2-Б-80 (пределы допускаемой относительной погрешности $\pm 3\%$) [5];

2 – Измерительный блок с цифровым манометром для фиксации показаний давления СДВ-И-2,50-1,60-1,00-М(1,60)-4-20мА-DA427-0605-3 (пределы допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$) [5, 6];

3 – Техническое устройство, обеспечивающее защиту исследователей во время проводимых испытаний [6];

4 – Каналы передачи данных от измерительных устройств к тепловычислителю модели СПТ941.20 [5];

5 – Регистрирующее устройство СПТ941.20, предназначенное для фиксации и отображения рабочих параметров (давления,

температурных показателей, расхода среды) [5];

6 – пожарный ствол для регулировки подачи воды (РСКУ-70А).

Воду в экспериментальную схему подавали пожарным насосом НЦПК-40/100-4/400 при работе ступени нормального давления от пожарной автоцистерны АЦ-3,2-40/4. В ходе экспериментальных исследований измеряли следующие параметры: объемный расход воды в исследуемой гидравлической системе, а также избыточное давление воды непосредственно перед входом в НВР и выходом из него. Величину объемного расхода в системе регулировали пожарным стволом РСКУ-70А.

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления 4-метрового напорно-всасывающего рукава DN80, включающие измеренные параметры объемного расхода и давления при температуре воды 15°C , представлены в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментально полученные величины гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах длиной 4 метра и условным проходом DN80

Значение расходы воды в рукаве Q , л/с	Значение давления на входе в НВР P_1 , кПа	Значение давления на выходе из НВР P_2 , кПа	Разность давлений ΔP , между P_1 и P_2 , кПа	Значение перепада напора $\Delta H_{\text{НВР}}$, м	Величина гидравлического сопротивления НВР $S_{\text{НВР}}$, ($\text{с}^2/\text{л}^2$) $\times$ м
8,41	142,2	138,3	3,9	0,39	0,0055
9,96	329,5	323,6	5,9	0,59	0,0059
10,73	296,2	288,3	7,9	0,79	0,0069
11,98	471,7	462,9	8,8	0,88	0,0061
12,13	302,1	293,0	9,1	0,91	0,0062

Значение расходы воды в рукаве Q, л/с	Значение давления на входе в НВР P ₁ , кПа	Значение давления на выходе из НВР P ₂ , кПа	Разность давлений ΔP, между P ₁ и P ₂ , кПа	Значение перепада напора ΔH _{НВР} , м	Величина гидравлического сопротивления НВР S _{НВР} , (с ² /л ²) × м
13,11	799,3	786,5	12,8	1,28	0,0074
19,38	746,3	721,8	24,5	2,45	0,0065
Среднее арифметическое значение					0,0064

Величины гидравлического сопротивления 4-метрового напорно-всасывающего рукава вычислялись по уравнению для определения потерь напора в рукавных линиях при турбулентном движении жидкости [7]:

$$\Delta H_{\text{НВР}} = n \times S_{\text{НВР}} \times Q^2, \text{ м.} \quad (1)$$

где n – число НВР в исследуемой линии (в процессе испытаний применяли один пожарный рукав), шт.;

$S_{\text{НВР}}$ – величина гидравлического сопротивления в напорно-всасывающем рукаве 4-метровой длины, ((с/л)² × м);

Q – количество огнетушащих веществ, проходящих через исследуемую рукавную систему за единицу времени (объемный расход (табл. 1), л/с.

Потерю напора в НВР определяем по следующей формуле:

$$\Delta H_{\text{НВР}} = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{98066,5}{999,13 \times 9,81} = 10, (\text{м})$$

ΔP – разность давлений воды, Па, 1 (кгс/см²) = 98 066,5 Па;

ρ – значение плотности воды при 15 °С, 999,13 кг/м³;

g – величина ускорения свободного падения для территории г. Красноярск, 9,81 м/с².

Из формулы (1) получили параметрическое соотношение для косвенного расчета гидравлического сопротивления НВР, позволяющее вычислять $S_{\text{НВР}}$ по измеренным значениям потерь напора $\Delta H_{\text{НВР}}$ и объемных расходов Q :

$$S_{\text{НВР}} = \frac{\Delta H_{\text{НВР}}}{n \times Q^2}, ((\text{с/л})^2 \times \text{м}).$$

Используем t-распределение Стьюдента (малая выборка, $n = 7$), уровень доверия 95 % определяем доверительный интервал $S_{\text{НВР}} = (0,0064 \pm 0,0006)$.

По формуле (1) рассчитаем потери напора в НВР при организации бесперебойной подачи воды по схеме, представленной на рис. 1 при пропускной способности напорного

пожарного рукава диаметром 77 мм 23,3 л/с [2], с учетом скорости воды в НРС 5 м/с.

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{НВР}} &= n \times S_{\text{НВР}} \times Q^2 = \\ &= 1 \times 0,0064 \times 23,3^2 = 3,47, \text{ м.} \end{aligned}$$

Полученные в ходе исследования значения потерь напора в НВР (3,47 м) доказывают актуальность экспериментального определения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов. Представленные данные позволяют усовершенствовать существующие методики расчета бесперебойной подачи огнетушащих веществ, что напрямую повлияет на успешность выполнения задач пожарными подразделениями.

Заключение

1. В работе доказана необходимость изучения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов, поскольку это позволяет повысить точность гидравлических расчетов и увеличить надежность работы насосно-рукавных систем в условиях тушения пожаров с применением передвижной пожарной техники.

2. Разработаны методика и экспериментальная установка для измерения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов и других элементов рукавной арматуры.

3. Результаты исследований показали, что гидравлическое сопротивление напорно-всасывающих рукавов DN80 в среднем равно 0,0064 (с²/л²)×м. Это приводит к существенным потерям напора, что доказывает необходимость учета данных потерь в проводимых гидравлических расчетах.

Рекомендации

После завершения всестороннего изучения гидравлических параметров остальных компонентов применяемой рукавной арматуры [8] предлагается создание научно-подтвержденных методических указаний по их использованию в процессе пожаротушения.

Список литературы

1. Куртов С. О., Трояк А. Ю., Малый В. П. Критический анализ способов бесперебойной подачи воды к месту пожара // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 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.
2. Самохвалов Ю. П., Ермилов А. В. Перекачка. Расчет параметров // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 28–38. EDN: OOJDDR.
3. Тарасов С. В., Пигусов Д. Ю., Пустовалова Н. С. Организация подачи (транспортировки) огнетушащих веществ на тушение пожаров способом перекачки // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. № 2. С. 62–72. DOI: 10.25257/FE.2024.2.62-72. EDN: SRMTJD.
4. Малютин О. С., Васильев С. А. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 4 (11). С. 67–72.
5. Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем / В. П. Малый, С. О. Куртов, А. С. Лунев [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 2 (54). С. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
6. Куртов С. О., Малый В. П. Повышение безопасности проведения исследований на экспериментально-исследовательской установке при проведении диагностики и контроля теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.
7. Куртов С. О., Малый В. П. Метод экспериментального исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 22–27. EDN: BFKQFL.
8. Куртов С. О., Малый В. П., Макаров В. М. Аналитическое обоснование необходимости экспериментального определения гидравлических сопротивлений пожарных треххо-

довых разветвлений и переходных соединительных головок различных диаметров // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2024. № 1 (13). С. 10–13. DOI: 10.34987/ 2712-9233.2024.81.31.002. EDN: JMVKGJ.

References

1. Kurtov S. O., Troyak A. Yu., Maly`j V. P. Kriticheskij analiz sposobov besperebojnoy podachi vody` k mestu pozhara [Critical analysis of methods of uninterrupted water supply to the fire scene]. *Aktual`ny`e problemy` obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashhity` ot chrezvy`chajny`x situacij: materialy` IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Zheleznogorsk: Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Sibirskaya pozharно-spasatel`naya akademiya» Gosudarstvennoj protivopozharной sluzhby` Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony`, chrezvy`chajny`m situaciyam i likvidacii stixijny`x bedstvij», 2023, pp. 97–101. EDN: PBNWVS.
2. Samoxvalov, Yu. P., Ermilov A. V. *Perekachka. Raschet parametrov* [Pumping. Calculation of parameters]. *Sovremennyy`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 4 (53), pp. 28–38. EDN: OOJDDR.
3. Tarasov S. V., Pigusov D. Yu., Pustovalova N. S. Organizaciya podachi (transportirovki) ognetchashhix veshhestv na tushenie pozharov sposobom perekachki [Organization of supply (transportation) of fire extinguishing agents to extinguish fires by pumping method]. *Pozhary` i chrezvy`chajny`e situacii: predotvrashhenie, likvidaciya*, 2024, issue 2, pp. 62–72. DOI: 10.25257/FE.2024.2.62-72. EDN: SRMTJD.
4. Malyutin O. S., Vasil`ev S. A. Problema gidravlicheskogo rascheta nasosno-rukavny`x sistem v pozharной taktike [The problem of hydraulic calculation of pump-and-sleeve systems in fire tactics]. *Sibirskij pozharно-spasatel`ny`j vestnik*, 2018, vol. 4 (11), pp. 67–72.
5. Obosnovanie vy`bora sostava e`ksperimental`no-issledovatel`skoj ustanovki dlya izmereniya teplogidravlicheskich parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x system [Justification of the choice of the composition of the experimental and research installation for measuring the thermal-hydraulic parameters of the elements of the pump-hose systems] / V. P. Maly`j, S. O. Kurtov, A. S. Lunev [et al.]. *Yuzhno-Sibirskij nauchny`j vestnik*, 2024, vol. 2 (54), pp. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
6. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Povy`shenie bezopasnosti provedeniya issledovaniy na e`ksperimental`no-issledovatel`skoj ustanovke pri provedenii diagnostiki i kontrolya teplogidravlicheskich parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x

system [Increase of safety of carrying out researches on the experimental-research unit at diagnostics and control of thermal-hydraulic parameters of elements of pumping-sleeve systems]. *Sibirskij požarno-spatel'nyj vestnik*, 2024, vol. 2 (33), pp. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.

7. Kurtov S. O., Malyj V. P. Metod e`ksperimental'nogo issledovaniya gidravlicheskogo soprotivleniya napornyx pozhar'nyx rukavov, vy`polnennyx iz sovremennyx materialov [Method of experimental study of hydraulic resistance of pressure fire hoses made of modern materials]. *Sovremennye problemy` grazhdanskoj*

zashhity, 2024, vol. 4 (53), pp. 22–27. EDN: BFKQFL.

8. Kurtov S. O., Malyj V. P., Makarov V. M. Analiticheskoe obosnovanie neobxodimosti e`ksperimental'nogo opredeleniya gidravlicheskih soprotivlenij pozhar'nyx trekhodovyx razvetvlenij i perexodnyx soedinitel'nyx golovok razlichnyx diametrov [Analytical substantiation of the necessity of experimental determination of hydraulic resistances of fire three-way branches and transition connection heads of different diameters]. *Aktual'ny'e problemy` bezopasnosti v texnosfere*, 2024, vol. 1 (13), pp. 10–13. DOI: 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002. EDN: JMVKGJ.

Куртов Сергей Олегович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
преподаватель кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Kurtov Sergey Olegovich

FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Lecturer of the Department of Fire Tactics and Rescue Operations
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

УДК 614.844

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА

И. Н. НЕМКИН, Е. Е. РАСПОПИН

ПАО «Сургутнефтегаз»,
Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра
E-mail: nemkin.igor@yandex.ru, dollar1102@gmail.com

В статье приводится сравнительный анализ методов обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли, в частности, в резервуарных парках. Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатация установок пожаротушения различных типов, даны рекомендации по их применению. Определены оптимальные варианты защиты резервуарных парков от пожаров.

Ключевые слова: установки пожаротушения, резервуарный парк, пожарная безопасность, тушение нефтепродуктов.

RESEARCH OF FIRE SAFETY METHODS AT OIL AND GAS ENTERPRISES THE COMPLEX AND THE DEFINITION OF THEIR OPTIMAL OPTION

I. N. NEMKIN, E. E. RASPOPIN

Surgutneftegas PJSC,
Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA
E-mail: nemkin.igor@yandex.ru, dollar1102@gmail.com

The article provides a comparative analysis of fire safety methods at oil and gas industry enterprises, in particular, in tank farms. The design features and operation of fire extinguishing installations of various types are considered, recommendations on their application are given. Optimal options for protecting tank farms from fires have been identified.

Keywords: fire extinguishing installations, tank farm, fire safety, extinguishing of petroleum products.

Нефтегазовый комплекс является одной из важнейших отраслей России, вносящей значительный вклад в бюджет страны. При этом, количество пожаров на объектах нефтегазового комплекса имеет тенденцию к увеличению. Риск возникновения аварийных ситуаций, приводящих к пожарам и прочим негативным последствиям на текущий момент достаточно высок, учитывая современные вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации. Таким образом, проблема обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса приобретает особую значимость.

Цель работы – провести исследование и сравнительный анализ актуальных технологических и технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков с учетом современных вызовов и определить оптимальные варианты защиты их оборудования.

В результате анализа состояния и организации обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли на текущий момент установлено, что по частоте возникновения и сложности, на предприятиях нефтегазовой промышленности, являются пожары в резервуарных парках.

Пожары в резервуарных парках характеризуются причинением значительного экологического и материального ущерба, связанного с попаданием в окружающую среду большого количества токсичных продуктов горения, огнетушащих средств, мощным тепловым излучением, разрушением зданий, сооружений, гибелью людей, а также реальной возможностью возникновения и развития крупных техногенных аварий и катастроф (каскадного эффекта, эффекта «домино»).

Для усиления уровня пожарной безопасности и минимизации вышеуказанных ущербов на предприятиях нефтегазовой

отрасли требуется комплексно (системно) подходить и выбирать оптимальные, в том числе с экономической точки зрения, методы для обеспечения пожарной безопасности.

Необходимость организации и общие принципы комплексного, системного подхода установлены требованиями технического регламента¹.

Так, в соответствии с ч. 2, 3 ст. 5 технического регламента² целью создания системы обеспечения пожарной безопасности является:

- предотвращение пожара;
- обеспечение безопасности людей;
- обеспечение защиты имущества при пожаре.

Система обеспечения пожарной безопасности объекта должна включать в себя:

- систему предотвращения пожара;
- систему противопожарной защиты;
- комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В этой связи, для реализации комплексного, системного подхода и достижения требуемых целей первоочередным является обеспечение качественного проектирования систем пожарной безопасности, являющихся ключевым элементом обеспечения пожарной безопасности. При проектировании системы пожарной защиты для нефтегазового производства необходимо предусмотреть систему противопожарной защиты не только для своевременного обнаружения опасной ситуации, но обеспечивающую полное и своевременное тушение пожаров на источниках опасности, а также обеспечивающую блокировку переднего фронта огня.

Одним из важнейших элементов системы противопожарной защиты является обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков, достигаемое применением установок автоматического пожаротушения (АУПТ) – установок пожаротушения, автоматически срабатывающих при превышении контролируемым фактором (факторами) пожара установ-

ленных пороговых значений в защищаемой зоне³.

При проектировании системы пожарной защиты резервуарных парков проектировщик, и, при необходимости, совместно с заказчиком проектирования, должны осуществлять выбор типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества для обеспечения всего комплекса мер пожарной безопасности в резервуарном парке. При этом, критерии выбора типа автоматических установок пожаротушения требованиями законодательства РФ не установлены, что в свою очередь возлагает «груз» ответственности в части правильности выбора типа автоматических установок пожаротушения и соответствующих данным установкам огнетушащего вещества, на проектную организацию.

Так, нормативными и правовыми актами РФ в области пожарной безопасности^{4,5,6,7} определены ряд обязательных требований:

- к резервуарам для хранения ЛВЖ и ГЖ, которые подлежат защите автоматическими установками пожаротушения;
- к автоматическим установкам пожаротушения;
- к генеральному плану в части размещения резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ, а также к зданиям, сооружениям и технологическим установкам как обеспечивающим их функционирование на территории резервуарного парка, так и к находящимся в районе размещения резервуарного парка.

Защите автоматическими установками пожаротушения подлежат наземные резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ объемом 5000 м³ и более. Исключением является случай, когда таких резервуаров (объемом 5000 м³) не более двух.

Для тушения пожаров резервуаров могут применяться следующие системы пожаротушения⁸ [1, 2]:

- установки пенного пожаротушения с подачей пены в верхний пояс РВС, подслоная подача пены;
- установки газового пожаротушения;

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон Рос. Федерации от 22.07.2008 №123-ФЗ: Принят Гос. Думой 4 июля 2008 года, одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года.

² Там же.

³ Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: свод правил СП 485.1311500.2020: утвержден приказом МЧС России от 31.08.2020 № 628.

⁴ Там же

⁵ Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: свод правил СП

155.13130.2014: утвержден приказом МЧС России от 26 декабря 2013 г. № 837.

⁶ Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности: свод правил СП 231.1311500.2015: утвержден приказом МЧС России от 17.06.2015 № 302.

⁷ ГОСТ Р 58367-2019. Обустройство месторождений нефти на суше. Технологическое проектирование. М.: Стандартинформ, 2019. 121 с.

⁸ Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности: свод правил СП 231.1311500.2015: утвержден приказом МЧС России от 17.06.2015 № 302.

– установки газопорошкового пожаротушения.

Кроме того, в обязательном порядке наземные резервуары объемом 5000 м³ и более оборудуются стационарными установками охлаждения, подключенными к сети противопожарного водопровода.

Одним из основных факторов является соблюдение требований в части противопожарных расстояний от резервуаров до зданий, сооружений и технологических установок резервуарного парка и соседних производств при выполнении генерального плана товарного парка:

– расстояния от наземных резервуаров до зданий, сооружений и наружных технологических установок резервуарного парка варьируются от 10 метров до 75 метров в зависимости от назначения и категории по взрывопожарной и пожарной опасности объектов;

– расстояния от зданий, сооружений наружных технологических установок резервуарного парка до соседних производств варьируются от 30 метров до 200 метров в зависимости от назначения и категории по взрывопожарной и пожарной опасности объектов;

– в зависимости от типа резервуара, его номинального объема и вида хранимого нефтепродукта минимальное расстояние между группами резервуаров составляет от 0,5 Д (Д – диаметр резервуара) до 30 метров;

– расстояние между стенками ближайших резервуаров, расположенных в соседних группах, должно быть для наземных резервуаров номинальным объемом 20000 м³ и более – 60 метров, объемом до 20000 м³ – 40 метров;

– в пределах одной группы наземных резервуаров внутренними земляными валами или ограждающими стенами отделяются каждый резервуар объемом 20000 м³ и более или несколько меньших резервуаров суммарной вместимостью 20000 м³.

Вышеуказанные обязательные требования не являются исчерпывающими. Отсутствие методики выбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества, а также современная геополитическая ситуация и санкционное давление (экономическая составляющая вопроса) напрямую указывают на необходимость разработки соответствующей методики подбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащих веществ для защиты резервуарных парков предприятий нефтегазовой отрасли, что позволит системно подходить к реализации всех мер противопожарной защиты и выбирать оптимальные, в том числе с экономической точки зрения, способы и методы обеспечения пожарной безопасности.

Интересным в данном контексте представляется подход, изложенный в [6]. Авторы предлагают осуществлять выбор установки с помощью мультипликативного обобщенного показателя с учетом характеристик АУПТ в целом, который формируется на основе комплекса частных показателей, характеризующих интересующие проектировщика параметры. Однако, предложенный метод требует высокой квалификации проектировщиков.

Для разработки методики выбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества рассмотрим основные виды пожаротушения, огнетушащие вещества, механизмы тушения, эффективность, экономические, экологические и эксплуатационные характеристики автоматических установок пожаротушения.

Автоматические установки пожаротушения имеют следующую классификацию (рис. 1), в зависимости от применяемого огнетушащего вещества, способов тушения возгорания, конструктивного исполнения и способа запуска [2, 5]:

• по применяемым огнетушащим веществам подразделяют на:

- установки водяного типа;
- установки пенного типа;
- установки порошкового типа;
- установки газового типа;
- установки аэрозольного типа;
- установки комбинированного типа,

• в зависимости от способа тушения:

- объемными;
- поверхностными;
- локальными,

• в зависимости от конструктивного решения:

- модульными;
- агрегатными;
- дренчерного типа;
- спринклерного типа,

• по способу запуска:

- строго автоматические;
- строго ручные;
- комбинированного типа: основные

автоматические и в качестве дублирующего, ручные.

При всем многообразии факторов, влияющих на определение вида и типа автоматических установок пожаротушения, наиважнейшим фактором, влияющим на выбор системы, является тип используемого огнетушащего вещества. При этом, тип используемого огнетушащего вещества автоматических установок пожаротушения в полной мере должен соответствовать специфике защищаемых зданий, сооружений и технологических установок топливного парка [4].

Установки водяного и пенного пожаротушения

В автоматических установках водяного пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используется вода. Вода – одно из традиционных и наиболее широко распространенных огнетушащих веществ. Преимуществом данного огнетушащего вещества является дешевизна, доступность и универсальность.

Вода хорошо охлаждает поверхности при возгорании, при нормальных условиях вода обладает высокой теплоемкостью, высокая скрытая теплота испарения, а также

химическая инертность по отношению к большинству веществ и материалов.

При этом, есть и ряд ограничений при использовании воды в качестве огнетушащего вещества: нельзя применять для тушения веществ, которые могут вступить в химическую реакцию с выделением тепла, горючих, а также токсичных и коррозионно-активных газов (ряд видов металлов, металлоорганических соединений, карбиды и гидриды металлов, раскаленный уголь и железо), нельзя применять при тушении нефти и нефтепродуктов (приведет к выбросу или разбрызгиванию горящих продуктов).



Рис.1. Классификация автоматических установок пожаротушения

Установки водяного пожаротушения можно классифицировать:

- по способу воздействия на очаг воспламенения:

объемного – обеспечение создания среды, не поддерживающей процесс горения во всем пространстве и (или) объеме защищаемого здания или сооружения;

локального – действие огнетушащим составом только на некоторую часть объема защищаемого здания или сооружения, и (или) на одну технологическую установку, аппарат или комплекс оборудования,

- по типу системы:

– **спринклерные** – представляют собой сеть трубопроводов, заполненную огнетушащим веществом, они используются для локального тушения очагов возгорания. В основе технологии применяются спринклеры, специаль-

ные насадки, которые автоматически открываются при повышении температуры окружающего пространства до определенного предела;

– **дренчерные** – используются для тушения пожаров на всей территории охраняемого объекта и представляют собой комплексную систему, оборудованную оросителями с открытыми выходными отверстиями. Вода, проходя по трубопроводной противопожарной системе, попадает к дренчерам, и распыляется строго над участком с возгоранием.

Наиболее распространенное решение для обеспечения охлаждения вертикальных стальных резервуаров – применение колец орошения с дренчерными оросителями.

Применение дренчерных оросителей обеспечивает:

– подачу водяных струй на охлаждаемую стенку с равномерным распылом под

соответствующим углом к защищаемой поверхности, что исключает потери воды на орошение;

- исключается засорение отверстий орошения за счет применения фильтра в составе оросителя;

- исключается закрашивание выпускных отверстий в период эксплуатации.

Пенные установки пожаротушения – применяют для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в резервуарах, горючих веществ и нефтепродуктов, расположенных внутри и вне зданий.

В качестве огнетушащего вещества в системах и установках пенного пожаротушения используется раствор пенообразователя или смягчителя для образования пены. Пена – наиболее эффективное и широко распространенное огнетушащее вещество изолирующего действия. Она представляет собой коллоидную систему из жидких пузырьков, наполненных газом, которые позволяют эффективно изолировать горючее от окислителя и охладить очаг горения.

Установки пенного пожаротушения можно классифицировать по следующим видам:

- по способу воздействия на очаг воспламенения:

- *обще-поверхностные устройства* обеспечивают защиту от воспламенения всей имеющейся поверхности, они эффективны для защиты хранилищ с горючими жидкостями;

- *локально-поверхностные установки* рассчитаны на тушение пожара на определенных участках подконтрольных площадей, объектов, аппаратов и т.п.;

- *обще-объемные конструкции* – общий принцип действия основывается на заполнении загоревшихся объектов пожаронейтрализующей смесью;

- *локально-объемные устройства* заполняют определенную часть объема технологических конструкций, помещений;

- *комбинированные установки* объединены принципы локально-объемного и локально-поверхностного тушения пожара, при этом происходит двойное воздействие: огнетушащая смесь подается в объем объекта, а также на его поверхность, исходя из кратности применяемой пены⁹ – это безразмерная величина, равная отношению объемов пены и исходного раствора пенообразователя, содержащегося в ней:

- *противопожарные установки низкой кратности* – генерируется тяжелая пена низкой кратности от 4 до 20;

- *установки ликвидации пожара средней кратности* – производится пена среднетяжелой кратности от 20 до 200;

- *установки нейтрализации возгорания высокой кратности* – используется более легкая пена высокой кратности от 200 до 1500.

- по типу дозатора:

- с *балансирующим дозатором*;

- бак-дозатор с диафрагменным дозатором*;

- с *турбинным дозатором*,

- по продолжительности действия:

- кратковременного действия* – менее

- 10 мин;

- средней продолжительности* – менее

- 15 мин;

- длительного действия* – более 15 мин,

- по инерционности (продолжительности срабатывания):

- не более 3 сек*;

- не более 30 сек*;

- более 30 сек, не менее 180 сек.*

Независимо от предлагаемой вышеуказанной классификации установки водяного и пенного пожаротушения содержат следующие элементы (рис. 2):

- источники воды (резервуары для хранения воды);

- насосные станции (противопожарная насосная станция и насосная станция пенотушения);

- резервуары хранения и дозирования пенообразователя;

- дренчерные оросители, пенные оросители, генераторы пены;

- целевое пожарное оборудование и блочно-модульные решения (пожарные фильтры, успокоители, пенные шкафы, блок-контейнеры и др.);

- водопроводы и растворопроводы.

Механизм работы установок водяного и пенного пожаротушения основан на сочетании свойства огнетушащих веществ (вода и воздушно-механическая пена)¹⁰ эффективно охлаждать горящие материалы, соседние сооружения (резервуары), а также покрывать эти материалы и перекрывать доступ кислорода в зону горения.

Огнетушащее действие воздушно-механической пены заключается в изоляции поверхности горючего от факела пламени, снижении вследствие этого скорости испарения жидкости

⁹ ГОСТ Р 53280.1-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водоразтворимых горючих жидкостей подачей сверху.

Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.

¹⁰ Там же

и сокращении количества горючих паров, поступающих в зону горения, а также охлаждении горячей жидкости. Роль каждого из этих факторов в процессе тушения изменяется в зависимости от свойств горячей жидкости, качества пены и способа ее подачи.

При подаче пены одновременно происходит разрушение пены от факела пламени и нагретой поверхности горючего. Накапливающийся слой пены экранирует часть поверхности горючего от лучистого теплового потока

пламени, уменьшает количество паров, поступающих в зону горения, снижает интенсивность горения. Одновременно выделяющийся из пены раствор пенообразователя охлаждает горючее. Кроме того, в процессе тушения в объеме горючего происходит конвективный тепло-массообмен, в результате которого температура жидкости выравнивается по всему объему, за исключением «карманов», в которых тепло-массообмен происходит независимо от основной массы жидкости.

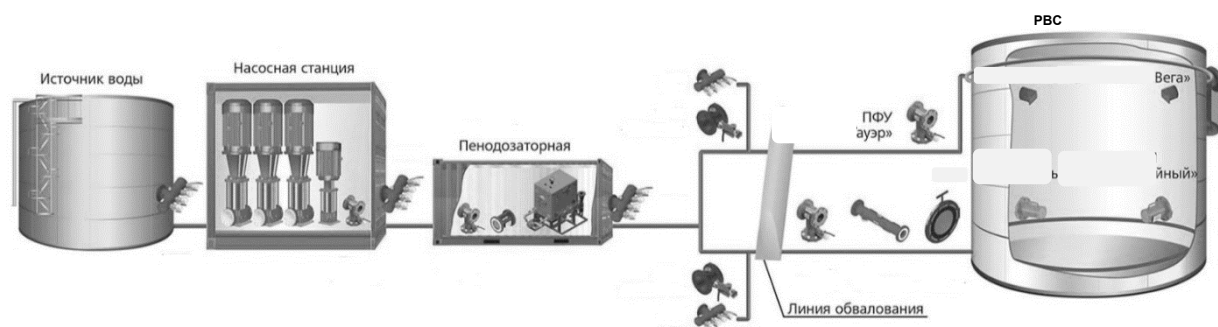


Рис. 2. Принципиальная схема установки водяного и пенного пожаротушения

Для резервуаров типа РВС выравнивание температуры по всему объему горячей жидкости при нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя происходит в течение 15 минут тушения при подаче пены сверху и в течение 10 минут при подаче под слой горючего [3]. Это время необходимо принимать в качестве расчетного при определении запаса пенообразователя для тушения нефти и нефтепродуктов воздушно-механической пеной. Нормативный запас пенообразователя следует принимать из условия обеспечения трехкратного расхода раствора пенообразователя на один пожар.

Дальность растекания пены средней кратности по поверхности горючей жидкости обычно не превышает 25 м.

При подаче пены в нижний пояс резервуара, непосредственно в слой горючей жидкости (подслойный способ тушения пожара), используются пены низкой кратности, которые получают из фторосодержащих пленкообразующих пенообразователей.

Применение фторосодержащих пенообразователей является необходимым условием, поскольку пена на их основе инертна к воздействию углеводородов в процессе длительного подъема пены на поверхность нефтепродуктов¹¹ [3]. Применение пены, получаемой на

основе обычных пенообразователей для подачи под слой горючей жидкости, недопустимо, так как при прохождении через слой горючей жидкости она насыщается парами углеводородов и теряет огнетушащую способность.

Быстрой изоляции пеной горячей поверхности способствует саморастекающаяся из пены водная пленка раствора пенообразователя, имеющая поверхностное натяжение ниже натяжения горючей жидкости, а также конвективные потоки, которые направлены от места выхода пены к стенкам резервуара. В результате конвективного тепло-массообмена снижается температура жидкости в прогретом слое до среднеобъемной. Вместе с тем интенсивные восходящие потоки жидкости приводят к образованию на поверхности локальных участков горения, в которых скорость движения жидкости достигает максимальных значений. Эти участки, приподнятые над остальной поверхностью и называемые «бурунами», играют важную роль в процессе тушения. Чем выше буруны, тем больше пены необходимо накопить для покрытия всей поверхности горячей жидкости. Для снижения высоты буруна пена подается через пенные насадки с минимальной скоростью.

Пена, всплывающая на поверхность через слой горючего, способна обтекать затонувшие конструкции и растекаться по всей

¹¹ ГОСТ Р 53280.1-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водораст-

воримых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.

поверхности горючего. Значительное снижение интенсивности горения достигается через 90-120 секунд с момента появления пены на поверхности. В это время наблюдаются отдельные очаги горения у разогретых металлических конструкций резервуара и в местах образования бурунов. В дальнейшем в течение 120-180 секунд происходит полное прекращение горения.

После полной ликвидации горения и прекращения подачи пены на всей поверхности горючей жидкости образуется устойчивый пенный слой толщиной до 10 см, который в течение 2-3 часов защищает поверхность горючей жидкости от повторного воспламенения.

Вода для приготовления раствора пенообразователя не должна содержать примесей нефтепродуктов.

Для приготовления раствора из отечественных пенообразователей в системах подслоного тушения запрещается использовать воду с жесткостью более 30 мг-экв/л.

Использование оборотной воды для приготовления раствора пенообразователя не допускается.

При тушении пожаров горючих жидкостей в обваловании допускается применение пены низкой кратности, получаемой из синтетических пенообразователей общего и специального назначения.

Стоимость оборудования: высокая – необходимо строительство капитальных инженерных сооружений: насосные станции (противопожарная насосная станция и насосная станция пенотушения), противопожарные резервуары, подземная прокладка трубопроводной системы и обеспечение дополнительной защиты под проезжей частью, дренажные системы.

Эксплуатационные расходы: периодическая замена и утилизация пенообразователя. Фторсодержащие пленкообразующие пенообразователи требуют проведения ежегодного лабораторного анализа. Поддержание положительной температуры всей системы для сохранения ее работоспособности.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: высокая коррозионная активность пены существенно увеличивает затраты на восстановление самой системы пожаротушения, защищаемого помещения и оборудования. Требуется утилизации экологически опасных продуктов.

Эффективность: установки водяного и пенного пожаротушения эффективны для тушения пожаров класса А и В, пенное пожаротушение дает возможность тушить таким способом не только твердые материалы, но и горючие жидкости, препятствуя доступу кислорода и охлаждая очаг возгорания.

Возможность подбора оптимального состава пенообразователя (кратность, химический состав, способ подачи) в соответствии с пожарной нагрузкой. Необходимо учитывать, что установки пенного пожаротушения зависят от источников водоснабжения, следовательно, имеют высокую инерционность.

Установки газового пожаротушения

В установках газового пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используются сжиженные и сжатые газы, имеющие свойство не поддерживать горение. Основным преимуществом, а в то же время недостатком, является возможность тушения локально по объему пожара. Огнетушащим веществом для тушения пожара в резервуаре является двуокись углерода.

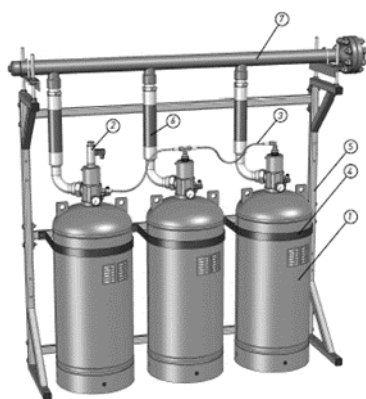
Его особенность – способность образовывать при распылении хлопья «сухого снега», который перекрывает доступ кислорода к очагу возгорания и тем самым прекращает процесс горения. При этом значительно снижается температура огнетушащего газового состава (до 72 °), за счет чего огнетушащее действие диоксида углерода дополняется охлаждением очага горения.

Установки газового пожаротушения используются преимущественно как альтернатива водяным и пенным установкам пожаротушения в тех случаях, когда необходимо обеспечить полное отсутствие ущерба при тушении пожара или при ложном срабатывании.

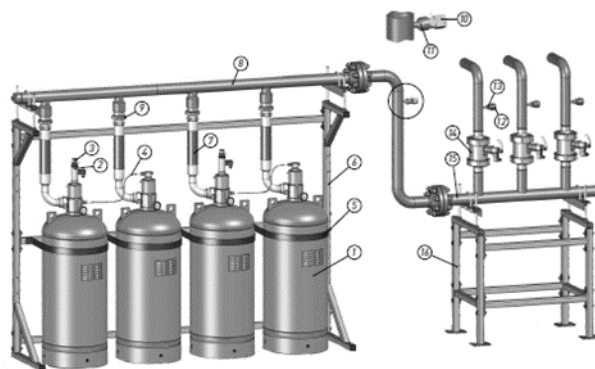
Применение установок газового пожаротушения является наиболее щадящим и эффективным в архивах, музеях, банковских хранилищах, серверных, в энергетике. При этом, в помещениях, в которых отсутствует герметичность, эффективность данных установок низкая [4].

Установки газового пожаротушения можно классифицировать:

- по условиям хранения огнетушащего вещества (рис. 3):
 - централизованные;
 - модульные;
- по компоновке:
 - батареи;
 - модули;
 - изотермические емкости;
- по схеме разводки труб:
 - трубопроводные;
 - без разводки труб;
- по способу пуска:
 - электрический;
 - пневматический;
 - механический;
 - комбинированный.



Модульная установка



Централизованная установка

Рис. 3. Типовые схемы подключения установок газового пожаротушения

Принцип действия установки газового пожаротушения основан на заполнении защищаемого помещения газовым огнетушащим веществом с вытеснением кислорода и снижением его концентрации за счет поступления в зону реакции инертного газа. При этом в случае сжиженных газов, их выпуск из баллона сопровождается снижением температуры, что ведет к уменьшению температуры и в зоне реакции.

Выпуск огнетушащего газа осуществляется на расстояние от 15 до 40 м, направление подачи струи через насадки осуществляется с отклонением от центральной оси РВС, так, как только при подаче двуокиси углерода под определенным углом обеспечивается создание вихревых потоков и рикошет боковой струи от стенок РВС. Данное конструктивное решение обеспечивает равномерное распределение огнетушащего газа над поверхностью нефтепродукта для более эффективного тушения возгорания.

Для тушения вертикальных стальных резервуаров с нефтью и нефтепродуктами емкостью до 10 000 м³ включительно допускается применять установки газового пожаротушения, оснащенные модулями изотермическими для жидкой двуокиси углерода (МИЖУ).

По способу хранения огнетушащего вещества установки подразделяются на централизованные и модульные. В централизованных установках сосуды (баллонные батареи, изотермические сосуды) с огнетушащим веществом размещены в помещении станции пожаротушения, в модульных – модули газового пожаротушения (баллоны с запорно-пусковым устройством (ЗПУ) и ОТВ) размещены в защищаемом помещении или рядом с ним.

Установка газового пожаротушения может состоять из нескольких МИЖУ, при этом выпуск двуокиси углерода из всех МИЖУ должен производиться одновременно.

Расчетное количество (масса) двуокиси углерода в установках локального по объему пожаротушения должно обеспечивать подачу не менее 13 кг на 1 м² горизонтальной поверхности (площади основания) резервуара независимо от его конструкции и не менее 6 кг/м³.

Расчетный объем при локальном по объему пожаротушении определяется произведением высоты защищаемого агрегата или оборудования на площадь проекции на поверхность основания. При этом все расчетные габариты (длина, ширина и высота) агрегата или оборудования должны быть увеличены на 1 м.

Время выпуска расчетной массы двуокиси углерода из насадков, сек:

- в резервуар не должно превышать 90 с учетом инерционности;
- при локальном по объему пожаротушении не более 60 с учетом инерционности.

Стоимость оборудования: установки газового пожаротушения находятся в верхнем ценовом сегменте. Это обусловлено высокой стоимостью модулей, большим количеством дополнительных компонентов: весовые стойки, распределительные устройства, трубная разводка и т.д. В централизованных установках сосуды следует размещать в станциях пожаротушения. При эксплуатации модулей с газом используются холодильные агрегаты и электронагреватели. Относительно высокая стоимость систем газового пожаротушения становится оправданной для тех предприятий и организаций, которым необходимо свести к минимуму воздействие огнетушащего вещества на защищаемое оборудование и материальные ценности.

Эксплуатационные расходы: оборудование необходимо устанавливать в отапливаемое помещение или блок-контейнер. Диапазон температур эксплуатации от -50 до +50 °С. Для поддержания необходимого давления в модуле

с газом его требуется постоянно охлаждать или нагревать.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: воздействие на озоновый слой атмосферы. Опасность для человека.

Эффективность тушения: установки газового пожаротушения применяются для ликвидации пожаров классов А, В, С и электрооборудования по ГОСТ 27331-87 (СТ СЭВ 5637-86) «Пожарная техника. Классификация пожаров». Газовое пожаротушение в отличие от водяного, аэрозольного, пенного и порошкового пожаротушений, не вызывает коррозии защищаемого оборудования, а последствия его применения легко устранимы. Установки газового пожаротушения не замерзают.

Установки газопорошкового пожаротушения

Комбинированные установки пожаротушения представляют собой систему, которая обеспечивает ликвидацию очага возгорания или тления с использованием двух или нескольких типов огнетушащих веществ. Комбинированные установки пожаротушения применяются в тех случаях, когда невозможно эффективно ликвидировать возгорание одним видом огнетушащего вещества.

Например, на объекте в силу особенностей технологического процесса производства или порядка хранения материальных ценностей требуется одновременно несколько видов систем пожаротушения, так как материалы на объекте защиты обладают различными физико-химическими свойствами.

Конечно, при разработке комбинированных установок пожаротушения учитывается совместимость огнетушащих веществ между собой. В расчет также принимается пожарная нагрузка в том или ином помещении, здании, сооружении, чтобы ликвидация и локализация очагов возгорания проходила наиболее эффективно.

Применение комбинированного метода тушения требует дополнительных сил и средств, поэтому комбинированный метод целесообразен в тех случаях, когда тушение одним огнетушащим веществом не достигается.

В газопорошковых автоматических установках пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используются огнетушащий порошок и огнетушащий газ. Газопорошковое огнетушащее вещество в большинстве случаев состоит из 73 % (± 1 %) огнетушащего порошка и 27 % (± 1 %) огнетушащего газа. Огнетушащий газ содержит 90 % (± 1 %) углекислоты и 10 % (± 1 %) осушенного воздуха либо азота. Тушение пожара при помощи таких установок

происходит за счет подачи в очаг возгорания газопорошковой смеси.

Наибольшее распространение газопорошковый тип пожаротушения получил на производственных объектах, а также в помещениях хранения ГСМ, транспортных объектах. При этом имеется ряд недостатков, характерных для установок газового и порошкового пожаротушения: порошок не всегда проникает в труднодоступные места (недостаточность заполняемости объема), опасность для людей.

Применение автоматических установок газопорошкового пожаротушения допускается для тушения вертикальных стальных резервуаров с нефтью и нефтепродуктами емкостью до 10 000 м³ включительно.

Автоматические установки газопорошкового пожаротушения состоят из:

- пожарной сигнализации;
- средств электроуправления установкой;
- двух батарей с газопорошковым огнетушащим веществом (основной и резервной);
- трубопроводов подачи газопорошкового огнетушащего вещества;
- распределительных устройств;
- обратных клапанов;
- системы ввода газопорошкового огнетушащего вещества в РВС;
- насадков.

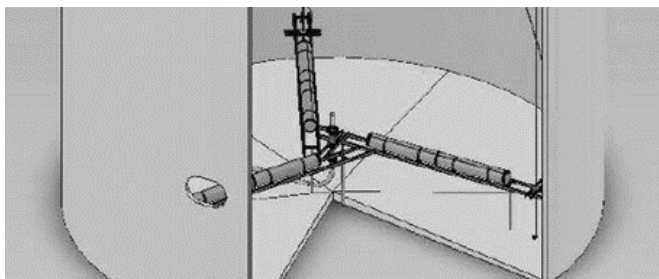
Установки газопорошкового пожаротушения можно классифицировать по расположению насадка распыления (рис.4):

- *в центре резервуара* – для резервуаров со стационарной крышей без понтона;
- *по периметру в верхнем поясе резервуара* – для всех типов резервуаров.

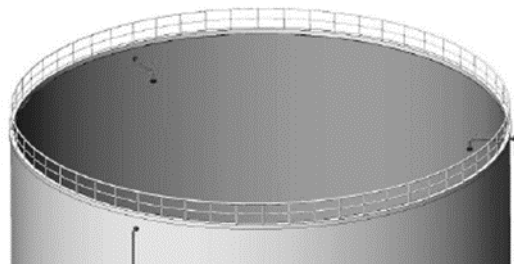
Установка газопорошкового пожаротушения позволяет ликвидировать возгорание в первые секунды, не допуская разрушения конструкции резервуара и предотвращая разлив. Основной принцип действия установок газопорошкового пожаротушения следующий.

После активации модулей газопорошковая смесь по трубопроводу поступает к распылителю и распространяется над очагом возгорания – от центра хранилища к периферии, в результате происходит механический срыв пламени и снижение температуры в зоне горения. Образуется плотная пелена из огнетушащего вещества, разделяющая зоны испарения и горения и препятствующая поступлению кислорода к поверхности ЛВЖ.

На первом этапе происходит газодинамический срыв пламени. Далее газопорошковая смесь задействует все основные механизмы тушения: охлаждение, изоляция, ингибирование и разбавление.



Расположение насадка
в центре резервуара



Расположение насадка
по периметру резервуара

Рис. 4. Типовая схема расположения насадка

Открытие распределительного устройства и запуск запорно-пускового устройства газовых баллонов основной батареи (приведение системы автоматического пожаротушения в действие) производится при одновременном сигнале «Пожар» не менее чем от двух пожарных извещателей.

Командный импульс на пуск запорно-пускового устройства газовых баллонов основной батареи подается после получения от распределительного устройства сигнала, соответствующего его положению «Открыто».

Резервная батарея запускается в ручном режиме в случае необходимости.

Промежуток времени между запуском первого и последнего газового баллона каждой батареи не должен превышать 1 сек.

Отключение автоматического пуска основной батареи допускается только при проведении регламентных и ремонтных работ внутри резервуара.

В качестве распределительных устройств следует использовать прямооточную, полнопроходную, нормально закрытую трубопроводную арматуру с классом герметичности по ГОСТ 9544-2015 «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов» не ниже D, с электромагнитным приводом с инерционностью не более 2 сек, способную обеспечивать выдачу сигнала о своем состоянии (закрыто/открыто) по запросу аппаратуры управления пожаротушением.

Установки должны обеспечивать инерционность не более 30 сек.

Насадок должен постоянно находиться на оси резервуара на расстоянии $0,35 \pm 0,05$ м над поверхностью горючего в резервуаре. Максимально допустимое отклонение осей сопел насадка от горизонтали не должно превышать 1° .

Тушение возгорания в резервуаре достигается за счет образования в пограничном слое над поверхностью горючего сплошного огнетушащего слоя из газопорошкового огнетушащего вещества, блокирующего тепловой

поток от пламени к поверхности горючего, доступ воздуха к поверхности горючего, охлаждающего поверхность горючего и гасящего пламя в зоне своего распространения.

Огнетушащий слой формируется за счет истечения струй газопорошкового огнетушащего вещества из насадка, расположенного на оси резервуара над поверхностью горючего. Общее количество сопел в распылителе должно составлять 18 шт. Сопла должны быть расположены равномерно по окружности распылителя (через 20° друг от друга).

Количество газовых баллонов определяется из условия обеспечения заданного расхода огнетушащего газа.

Стоимость оборудования: верхний ценовой сегмент.

Эксплуатационные расходы: не нуждается в водоснабжении, не требует отапливаемых помещений для размещения – диапазон температур эксплуатации от -50 до $+50^\circ\text{C}$. Срок службы модулей до 20 лет. Возможна многократная перезарядка.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: газопорошковый состав не оказывает воздействия на защищаемые изделия, материалы, оборудование и нефтепродукты. Безопасен для окружающей среды. Обладает прямым ингаляционным воздействием на человека, резко уменьшается видимость в защищаемых помещениях.

Эффективность тушения: применяются для тушения объемным способом или локально по объему пожаров классов А, В, С и электрооборудования без ограничения по пробивному напряжению. Минимальная инерционность срабатывания и высокая интенсивность подачи огнетушащего вещества позволяет ликвидировать возгорание в начальной стадии. Порошок движется в газовой смеси, быстро и равномерно заполняя весь объем.

В качестве критериев для анализа технологий и систем пожаротушения воспользуемся требованиями, предъявляемыми к

автоматическим установкам пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» (таблица 2).

Автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать:

- срабатывание в течение времени менее начальной стадии развития пожара и одновременно выполнять функцию пожарной сигнализации;
- локализацию пожара в течение времени, необходимого для введения в действие оперативных сил и средств, в том числе подразделений пожарной охраны;
- тушение пожара с целью его ликвидации;
- интенсивность подачи и концентрация огнетушащего вещества;
- требуемую надежность функционирования.

Дополнительно, при выборе того или иного типа автоматической установки пожаротушения, следует обращать внимание на следующие факторы:

- безопасность установки – безопасность систем пожаротушения по отношению к персоналу на защищаемом объекте, и к

оборудованию и материальным ценностям, которые там находятся;

- эффективность борьбы с пожаром – сюда относится эффективность борьбы с пожаром определенного класса на конкретном объекте, а также скорость нейтрализации очагов возгорания того или иного вида;

- эксплуатационные характеристики автоматических установок пожаротушения – простота монтажа, техническое обслуживание и поддержание в рабочем состоянии;

- экономическая эффективность – сюда относится эффективность от снижения затрат на строительство и эксплуатацию защищаемых объектов, в случае реализации того или иного типа автоматической установки пожаротушения.

В таблице представлена сводная информация оценки автоматических установок пожаротушения по ключевым характеристикам.

По причине невозможности и (или) неэффективности применения для тушения резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ в сводной информации (таблица) не рассматриваются такие типы автоматических установок пожаротушения: водяной, аэрозольный, порошковый.

Таблица. Информация оценки автоматических установок пожаротушения по ключевым характеристикам

№ п/п	Значимые характеристики	Ед. изм.	Тип автоматической установки пожаротушения				
			Пенное			Газовое	Комбинированное газопорошковое
			комбинированное (подслойное (нижний пояс РВС) и верхний пояс РВС)	Подслойное (нижний пояс РВС)	Верхний пояс РВС		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Времени срабатывания	сек.	не более 3			не более 15	не более 20
2.	Инерционность	сек.	от 30 до 180			до 30	
3.	Выполнение функции пожарной сигнализации	-	да	да	да	да	да
4.	Время локализации пожара	мин.	до 10	до 10	до 15	до 0,7	до 2
5.	Эффективность огнетушащего вещества	-	высокая, используются вода и пенообразователь			высокая, используются сжиженные и сжатые газы	высокая, используются огнетушащий порошок и огнетушащий газ

№ п/п	Значимые характеристики	Ед. изм.	Тип автоматической установки пожаротушения				
			Пенное			Газовое	Комбиниро- ванное газо- порошковое
			комбиниро- ванное (под- слойное (нижний пояс РВС) и верхний пояс РВС)	Подслойное (нижний пояс РВС)	Верхний пояс РВС		
1	2	3	4	5	6	7	8
6.	Эффективность ту- шения с целью лик- видации пожара	-	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, РВС до 10000 м³	высокая, РВС до 10000 м³
7.	Надежность функ- ционирования: – возможность мно- гообразного исполь- зования, – температурный диапазон эксплуа- тации	- °C	Да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50
8.	Экологическая без- опасность	-	негативное влияние на растительный и животный мир			оказывает влияние на озоновый слой	загрязнение атмосфер- ного воздуха, негативное влияние на растительный и животный мир
9.	Эксплуатационные расходы	-	закупка огнетушащего вещества, испытание огнетушащего вещества, отсутствие необходимости отправки оборудования для проведения перио- дических испытаний в сертификацион- ных центрах, минимальный штат ква- лифицированных работников			обслуживание системы (штат квалифицированных работников по нескольким направлениям (газобалон- ное оборудование (ГБО), трубопроводы, КИПиА), за- правка ГБО огнетушащим веществом, запасные ча- сти КИПиА, испытание и подтверждение соответ- ствия ГБО сертификацион- ными центрами	
10.	Экономическая со- ставляющая	-	высокая стоимость строительства, простота в обслуживании, возможность замены оборудования в пределах объ- екта, доступность запасных деталей отечественного производства			высокая стоимость моду- лей и дополнительного оборудования, большое ко- личество приборов элект- роуправления, отсутствие возможности заправки ГБО в пределах объекта, при- боры контроля и пуска в большей части импортного производства, незначи- тельное количество серти- фикационных центров за- правки ГБО – в основном расположены в крупных ад- министративных городах	

В результате анализа сводной информации (таблица) можно сделать выводы о том, что технические и эксплуатационные характеристики, влияющие на эффективность локализации и тушения пожара по всем рассматриваемым установкам автоматического пожаротушения, в той или иной степени аналогичным, не отклоняются от нормативных требований пожарной безопасности.

Отметим ряд особенностей, которые значительно влияют на выбор установок автоматического пожаротушения для защиты резервуаров хранения ГЖ, ЛВЖ:

– независимо от применяемого огнетушащего вещества в установках автоматического пожаротушения товарного парка, согласно требованиям СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», наземные резервуары объемом 5000 м³ и более оборудуются стационарными установками охлаждения, подключенными к сети противопожарного водопровода. Соответственно, неизбежны капитальные затраты на строительство и эксплуатацию капитальных инженерных сооружений (противопожарная насосная станция, сети противопожарного водопровода, резервуары запаса воды на пожарные нужды и т.д.). Учитывая обязательность применения такого огнетушащего вещества как вода для защиты резервуаров товарного парка, соответственно, экономически выгодным выбором типа установки пожаротушения станут установки пенного пожаротушения;

– установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения эффективны только на резервуарах объемом 10 000 м³. Данные обстоятельства повлекут определенные ограничения и дополнительные затраты на модернизацию системы пожаротушения товарного парка при необходимости защиты резервуаров более 10 000 м³ – потребуются капитальные затраты на строительство и эксплуатацию капитальных инженерных сооружений для монтажа дополнительной установки автоматического пожаротушения;

– эксплуатационные расходы на установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения значительно превышают эксплуатационные расходы на установки пенного пожаротушения. Так, для их обслуживания требуется больший штат квалифицированных работников (газобаллонное оборудование, трубопроводы, КИПиА), газобаллонное оборудование требует периодических испытаний в сертификационных центрах с выпуском и заправкой огнетушащего вещества. Сертификационные центры в основной своей массе располагаются в крупных городах, что дополнительно приводит к значительным транспортным расходам, необходимости наличия резервного запаса модулей пожаротушения, либо организации собственного сертифицированного центра. Немаловажный фактор – приборы контроля и пуска установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения в большей части импортного производства. В зависимости от огнетушащего вещества его стоимость может превышать 3–5 раз стоимость пенообразователей для тушения пожаров, используемых в автоматических установках пенного пожаротушения.

Заключение

Анализ экономических, экологических, технических и эксплуатационных характеристик автоматических установок пожаротушения показал, что наибольшее количество положительных факторов, влияющих на эффективность обеспечения пожарной безопасности резервуарных парков, имеют автоматические установки пенного пожаротушения.

Ограниченность обязательных требований к выбору типа автоматических установок пожаротушения и отсутствие методики выбора типа автоматических установок пожаротушения указывают на необходимость разработки соответствующей методики подбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащих веществ для защиты резервуарных парков предприятий нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Бабуров В. П., Бабуринов В. В., Фомин В. И. Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра. – М.: Пожнаука, 2007. – 294 с.
2. Смирнов Н. В. Установки пожаротушения: проектирование, монтаж, техническая эксплуатация. Сборник учебно-методических материалов. – М.: НОУ «Такир», 1998. – 104 с.
3. Котляревский В. А., Шаталов А. А., Ханухов Х. М. Безопасность резервуаров и

трубопроводов. – М.: Экономика и информатика, 2000. – 553 с.

4. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 397 с.

5. Смирнов Н. В., Цариченко С. Г., Копылов Н. П. Нормативно-техническая документация о проектировании, монтаже и эксплуатации автоматических установок пожаротушения. Учебно-методическое пособие. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2000. – 171 с.

6. Буцынская Т. А., Членов А. Н. Выбор вида автоматической установки пожаротушения на основе функции полезности Харрингтона-Менчера // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1 (50). С. 57-64. EDN: QXXRWA.

References

1. Baburov V. P., Baburin V. V., Fomin V. I. *Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya. Vchera. Segodnya. Zavtra* [Automatic Fire Extinguishing Systems. Yesterday. Today. Tomorrow]. – Moscow: Pozhnauka, 2007. – 294 p.
2. Smirnov, N. V. *Ustanovki pozharotusheniya: proektirovanie, montazh, tekhnicheskaya ekspluatsiya. Sbornik uchebno-metodicheskikh materialov* [Fire extinguishing installations: design, installation, technical operation. Collection of educational and methodological materials.]. – Moscow: NOU «Takir», 1998. – 104 p.
3. Kotlyarevskij V. A., Shatalov A. A., Hanuhov N. M. *Bezopasnost' rezervuarov i*

truboprovodov [Tank and pipeline safety]. – Moscow: Ekonomika i informatika, 2000. – 553 p.

4. Volkov O. M. *Pozharnaya bezopasnost' rezervuarov s nefteproduktami* [Fire safety of oil product tanks]. – SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2010. – 397 p.

5. Smirnov N. V., Carichenko S. G., Kopylov N. P. *Normativno-tekhnicheskaya dokumentatsiya o proektirovanii, montazhe i ekspluatsii avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya. Uchebno-metodicheskoe posobie* [Regulatory and technical documentation on the design, installation and operation of automatic fire extinguishing systems. Educational and methodological manual]. – Moscow: VNIPO MChS Rossii, 2000. – 171 p.

6. Bucynskaya T. A., Chlenov A. N. *Vy`bor vida avtomaticheskoy ustanovki pozharotusheniya na osnove funktsii poleznosti Xarringtona-Menchera* [Selection of the type of automatic fire extinguishing system based on the Harrington-Mencher utility function]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 1 (50), pp. 57-64. EDN: QXXRWA.

Немкин Игорь Николаевич

ПАО «Сургутнефтегаз»,

Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра,

Заместитель главного инженера ПАО «Сургутнефтегаз» – начальник управления промышленной безопасности и охраны труда

E-mail: nemkin.igor@yandex.ru

Nemkin Igor Nikolaevich

Surgutneftegas PJSC,

Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA

Deputy Chief Engineer – Division Head, Occupational Health and Safety Division of Surgutneftegas PJSC

E-mail: nemkin.igor@yandex.ru

Распопин Егор Евгеньевич

ПАО «Сургутнефтегаз»,

Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра,

Заместитель директора научно-исследовательского института «СургутНИПИнефть» по проектированию

E-mail: dollar1102@gmail.com

Raspopin Egor Evgenievich

Surgutneftegas PJSC,

Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA

Deputy Director for Design of Surgut Research & Designing Institute «SurgutNIPIneft» Surgutneftegas PJSC

E-mail: dollar1102@gmail.com

УДК 614.842.847

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЫМОХОДОВ ПЕЧЕЙ

И. В. ПЕНЬКОВ, А. А. ЛАЗАРЕВ, О. Е. СТОРОНКИНА, А. А. ОСМОЛОВСКАЯ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru, oleg1968@mail.ru

Решение проблемы недопущения перекала печей при их топке является одним из направлений предупреждения пожара в малоэтажных жилых домах. Разработка и совершенствование средств пожарной автоматики необходимо осуществлять после проведения оценочных расчетов. Отсутствие формул, позволяющих рассчитывать температуру в технических средствах для мониторинга пожарной безопасности дымоходов печей, вынуждает проводить детальные расчеты. Вместе с тем, необходимо определить зависимости температуры от продолжительности теплового воздействия в различных точках опытных образцов, с учетом мест установки в них термодатчиков. Это будет влиять на время обнаружения перекала печи и реагирования для предотвращения возможного пожара. Такой подход позволит в перспективе включать улучшенное техническое средство в систему «умный дом».

Для проведения испытаний был собран стенд на базе установки для определения группы воспламеняемости строительных материалов. После измерения в четырех точках температуры устройства для определения пожарной опасности печных труб описаны эмпирические данные, которые позволяют проводить оценочный расчет при конструировании рассматриваемых устройств.

Полученные приближенные уравнения могут быть использованы для расчета температуры срабатывания устройств в зависимости от времени теплового воздействия на них. Полученные эмпирические зависимости обладают элементами научной новизны.

Ключевые слова: нагрев шамотного кирпича, устройство для определения пожарной опасности печных труб, перекал печей, уравнение, аппроксимация.

TEST RESULTS OF TECHNICAL MEANS FOR MONITORING FIRE SAFETY OF FURNACE CHIMNEYS

I. V. PENKOV, A. A. LAZAREV, O. E. STORONKINA, A. A. OSMOLOVSKAYA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru, oleg1968@mail.ru

Solving the problem of preventing furnaces from overflowing during their heating is one of the ways to prevent fires in low-rise residential buildings. The development and improvement of fire automation equipment must be carried out after carrying out estimated calculations. The lack of formulas for calculating temperature in technical means for monitoring the fire safety of furnace chimneys forces detailed calculations. It is required to obtain temperature dependences at various points for installing a thermocouple in the device on the duration of thermal exposure. This will affect the time it takes for the furnace to detect a fire and respond to prevent a possible fire. This approach will allow for the future inclusion of improved hardware in the smart home system.

For testing, a stand was assembled on the basis of an installation for determining the flammability group of building materials. After measuring the temperature of the device at four points to determine the fire hazard of the chimneys, empirical data are described. These data allow for an estimated calculation when designing the devices in question.

The obtained approximate equations can be used to calculate the operating temperature of the devices depending on the time of thermal exposure to them. The empirical dependences obtained have elements of scientific novelty.

Keywords: fireclay brick heating, a device for determining the fire hazard of chimneys, furnace rolling, equation, approximation.

Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации дымоходов (дымовых каналов, дымовых труб) во многом обусловлено недопущением перегрева печей. Запрет на данный перегрев установлен в пункте 80 Правил противопожарного режима¹ без каких-либо указаний на то, как его соблюсти. Возможным решением по выполнению данного пункта правил может быть установка устройства [1], предложенного для определения пожарной опасности печных труб. Однако возникает вопрос о необходимости определения момента времени, когда требуется прекратить топку печи в целях предотвращения её перегрева. Для подготовки ответа на данный вопрос требуется провести серию стендовых испытаний устройства [1].

Анализ публикаций показывает, что внимание исследователей неоднократно обращалось к средствам контроля температуры печей. Самойлов В. М., Овсянников Н. Е., Бубненко И. А., Степарёва Н. Н., Гареев А. Р., Фатеева М. А., Шило Д. В., Находнова А. В., Осмова М. А., Вербец Д. Б. определяли эффективную температуру работы высокотемпературных печей [2]. Гнездов Е. Н., Нагорная О. Ю., Ракутина Д. В., Журакова Т. Н., Корнев А. В. в рамках экспериментов измеряли температуру в блоке для укладки керамических изделий туннельной печи [3]. Нестеровым С. В. и Нестеровым А. В. изучались характеристики работы хлебопекарной печи ФТЛ-2 [4]. Сибгатуллин С. К., Харченко А. С., Девятченко Л. Д. оценивали условия использования доменной печи [5]. Шевяков В. В. занимался определением температур в топке бытовой печи [6]. Фогель Д. Ю. была предложена беспроводная

система измерения температуры трехзонной проходной печи [7]. Авторскими коллективами Академии ГПС МЧС России разрабатывались средства противопожарной защиты печей для промышленности [8, 9]. В Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России также изучались проблемы обеспечения пожарной безопасности печей [10, 11]. Однако, вопрос определения момента времени, когда требуется прекратить топку печи в целях предотвращения её перегрева, изучен не был.

Целью проведенного исследования являлось определение в рамках стендовых испытаний времени и температуры нагрева устройства [1] в зависимости от места установки термодатчиков внутри него.

Задачи исследования:

1. Определить составные элементы стенда и порядок проведения экспериментов для испытания опытных образцов устройства [1] из шамотного кирпича.

2. Установить закономерность изменения температуры внутри опытных образцов устройства [1] от времени нагрева и места установки термодатчиков внутри образца.

3. Определить универсальные уравнения для описания зависимости температуры внутри опытных образцов устройства [1] от времени нагрева и места установки термодатчиков внутри образца.

Методы исследования. Для проведения испытаний были созданы опытные образцы устройства [1], которые представлены на рис. 1. На рис. 1б) обозначена передняя сторона (1) образца устройства [1] и технологические отверстия (2) в нем.

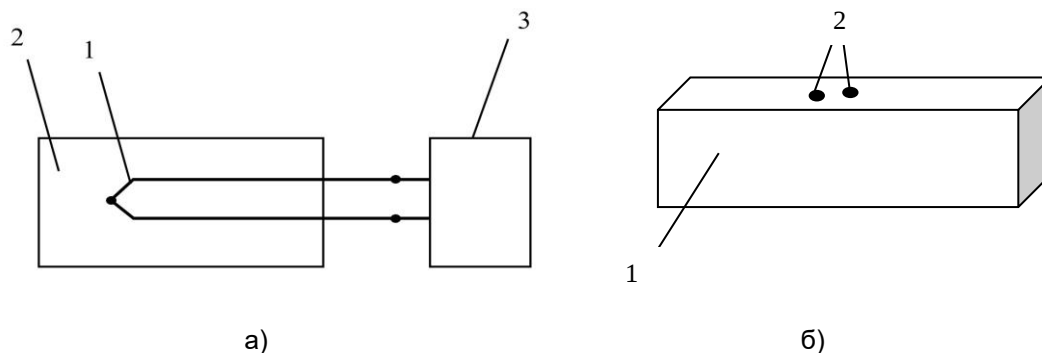


Рис. 1. Устройство для определения пожарной опасности печных труб [1]: а) схема: 1 – термопара, 2 – шамотный кирпич, 3 – блок автоматического управления, снабжённый интерфейсом; б) вид: 1 – передняя сторона, 2 – технологические отверстия.

¹Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 №1479.

Испытания проводились в 2 этапа. Нагрев осуществлялся передней стороны образцов. На первом этапе измерения температуры внутри образцов осуществлялись на расстоянии 2,5 (первая точка) и 5 см (вторая точка) от нагреваемой передней стороны. На втором этапе – на расстоянии 7,5 (третья точка) и 10 см (четвертая точка) от передней стороны.

Для проведения экспериментов использовалась установка для определения воспламеняемости строительных конструкций (рис. 2) с учетом стандартной методики². Перед началом проведения исследований данная установка была откалибрована.

В ходе проведения экспериментов проводился нагрев опытных образцов устройства [1] до температуры 800 °С на установке для проведения стендовых испытаний. Данная температура была принята в соответствии с учетом результатов исследования [12]. Время достижения температуры нагревательного элемента

800 °С для всех образцов составляло 15 минут. По условиям эксперимента после начала нагрева каждого из образцов на первом этапе через 26 мин установка отключалась. В этот момент среднее значение температуры для первой точки была равна 98 °С, для второй: 40 °С, но температура некоторое время продолжала повышаться и ее среднее максимальное значение для первой точки составило 140 °С через 14 мин после отключения, а для второй точки – 72 °С через 28 мин.

На втором этапе после начала нагрева образцов через 60 мин установка отключалась. В этот момент среднее значение температуры для третьей точки была равна 103 °С, для четвертой точки – 72 °С. Температура продолжала расти и ее среднее максимальное значение для третьей точки составило 126 °С через 25 мин после отключения, а для четвертой точки – 72 °С через 33 мин.

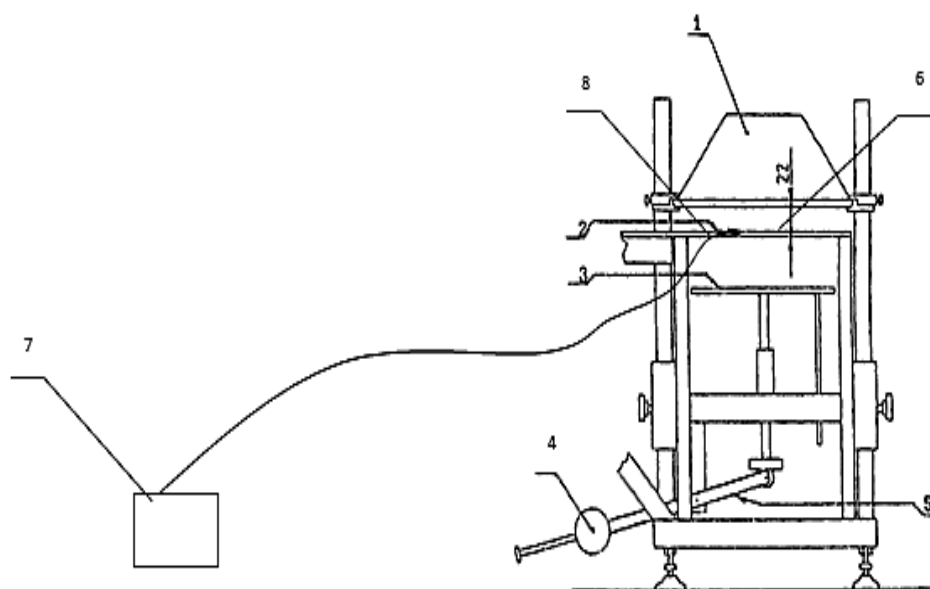


Рис. 2. Установка для проведения стендовых испытаний образца устройства [1]:
1 – радиационная панель, 2 – защитная плита, 3 – подвижная платформа для образца,
4 – противовес, 5 – рычаг, 6 – испытуемый образец, 7 – ТРИД ИСУ 144, 8 – термопара

Измерения температур внутри устройства [1] проводились через технологические отверстия при помощи термопар, подключенных к измерителю-сигнализатору четырехканальному ТРИД ИСУ 144. Результаты измерения представлены на рис. 3.

На рис. 3 видно, что зависимость $T = f(\tau)$ для обеих точек измерения носит полиномиальный (параболический) характер. После аппроксимации получены следующие уравне-

ния для расчета температуры в первой (T_1) и во второй (T_2) точках:

$$T_1 = -0,002 \tau_1^3 + 0,086 \tau_1^2 + 2,042 \tau_1 + 10,291 \quad (1)$$

$$T_2 = -0,001 \tau_1^3 + 0,083 \tau_1^2 - 1,102 \tau_1 + 28,166 \quad (2)$$

где τ_1 – время воздействия установки на устройство [1] на первом этапе проведения испытаний, мин. Коэффициент детерминации для уравнения (1) равен 0,959, для уравнения (2) $R^2 = 0,996$.

² ГОСТ 30402-96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.

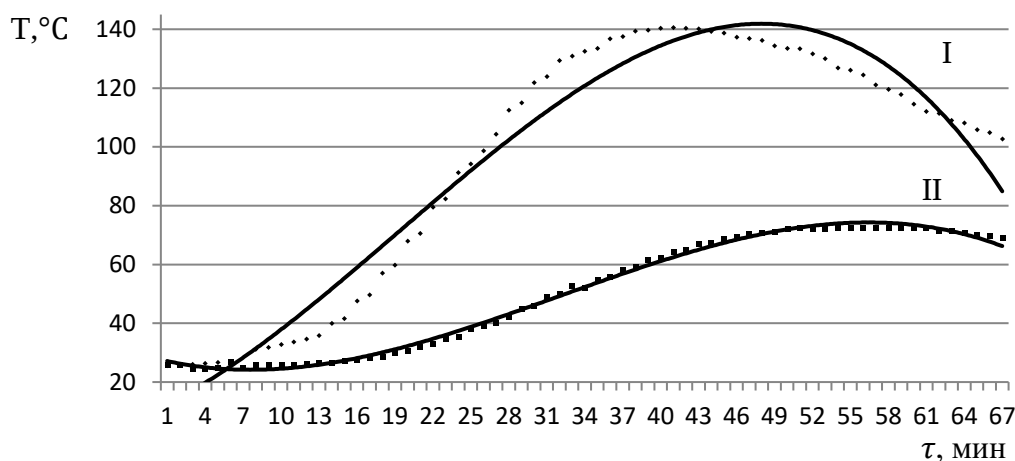


Рис. 3. Результаты стендовых испытаний устройства [1].

Зависимость температуры от времени нагрева (τ_1): I – в первой точке (T_1); II – во второй точке (T_2).

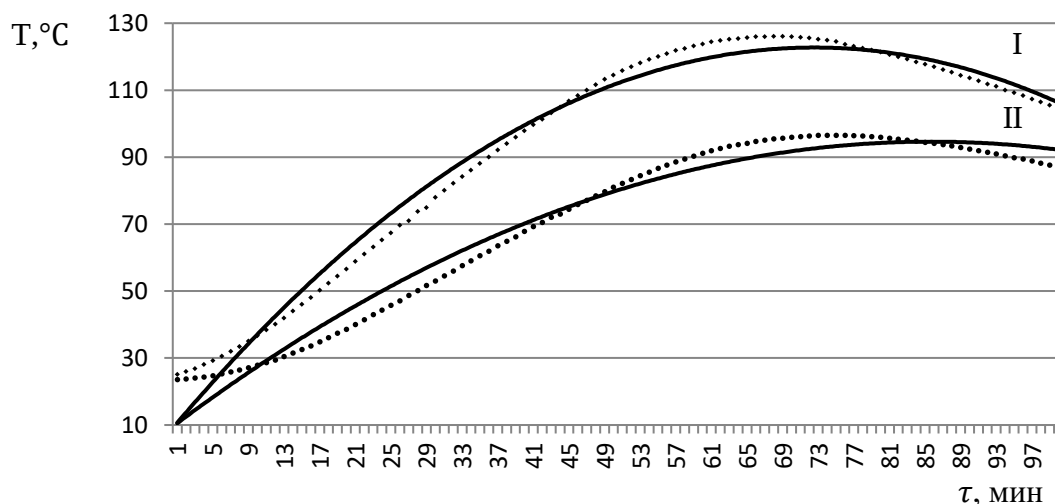


Рис. 4. Результаты стендовых испытаний устройства [1].

Зависимость температуры от времени нагрева (τ_2): I – в третьей точке (T_3); II – в четвертой точке (T_4).

На рис. 4 также видно, что зависимость $T = f(\tau)$ для обеих точек измерения носит полиномиальный (параболический) характер. После аппроксимации были получены следующие уравнения для расчета температуры в третьей (T_3) и в четвертой (T_4) точках:

$$T_3 = -0,022 \tau_2^2 + 3,176 \tau_2 + 7,5 \quad (3)$$

$$T_4 = -0,012 \tau_2^2 + 2,010 \tau_2 + 8,524 \quad (4)$$

где τ_2 – время воздействия установки на устройство [1] на втором этапе проведения испытаний, мин. Коэффициент детерминации для уравнения (3) равен 0,984, для уравнения (4) $R^2 = 0,974$.

Выводы:

1) установлены значения температур устройства [1] в четырех точках, где может быть смонтирована термопара на период его эксплуатации;

2) получены полиномиальные уравнения, которые позволяют показать зависимость изменения температуры от продолжительности теплового воздействия (погрешность аппроксимации не превышала 6 %), а также проводить оценочный расчет при конструировании устройств [1] различной модификации, в том числе при определении мест установки термопары внутри них;

3) установлено соответствие результатов экспериментов при сравнении с аналогичными эмпирическими данными в зарубежном исследовании [13].

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 230796 U1 Российская Федерация МПК А 62 С 37/00, А 62 С 99/00, F 27 D 1/00. Устройство для определения пожарной опасности печных труб / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, А. А. Лазарев [и др.]; опубл. 19.12.2024, Бюл. № 35. EDN: FDGQXU
2. Определение эффективной температуры обработки углеродных материалов в высокотемпературных печах по параметрам спектроскопии комбинационного рассеяния образцов-свидетелей / В. М. Самойлов, А. В. Находнова, М. А. Осмова [и др.] // Перспективные материалы. 2021. № 1. С. 67–84. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-1-67-84. EDN: SMNJAW.
3. Экспериментальное определение температур в кирпичной садке туннельной печи / Е. Н. Гнездов, О. Ю. Нагорная, Д. В. Ракутина [и др.] // Вопросы тепломассообмена, энергосбережения и экологии в тепло-технологических процессах: сборник статей. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2003. С. 98–100. EDN: JAFYKC.
4. Нестеров С. В., Нестеров А. В. Определение динамических характеристик хлебопекарной печи ФТЛ-2 по каналу «расход топлива – температура основной зоны выпечки» по ее экспериментальной амплитудно-частотной характеристике // Инновации в индустрии питания и сервисе: электронный сборник материалов I Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технологии и организации питания. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2014. С. 186–187. EDN TLWCRX.
5. Оценка неравномерности распределения шихтовых материалов в доменной печи / С. К. Сибагатуллин, А. С. Харченко, Л. Д. Девятченко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61, № 10. С. 766–773. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-766-773. EDN: YNDMIH.
6. Шевяков В. В. Определение температур в топке бытовой печи // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2016. № 7 (28). С. 14. EDN: WFBPPP.
7. Фогель Д. Ю. Реализация беспробудной системы измерения температуры трехзонной проходной печи // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. № 11 (88). С. 202–205.
8. Федоров А. В., Рубцов Д. Н., Оспанов К. К. Контроль и поддержание параметров эффективного использования паровой завесы трубчатой печи // Пожары и возникновение ситуаций: предотвращение, ликвидация. 2023. № 2. С. 73–80. DOI: 10.25257/ФЗ.2023.2.73-80. EDN: CFLUSF.
9. Оспанов К. К., Федоров А. В., Кулькин Д. В. Автоматизация дистанционного контроля давления пара в системе паровой завесы технологической печи // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2023. № 12. С. 190–195. EDN: BUMBJB.
10. Меликян М. Л., Пеньков И. В., Лазарев А. А. Модель совершенствования специальных технических условий по пожарной безопасности // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2(51). С. 65–73. EDN: MEDQMT.
11. Лазарев А. А., Пеньков И. В. О проблеме регулирования отношений в целях обеспечения пожарной безопасности печей и дымоходов при строительстве зданий // Наука и инновации в строительстве: сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В. Г. Шухова. Том 2. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 94–98. EDN: JTLUXY.
12. Пожарная опасность нетеплоемких дымовых каналов / В. А. Зуйков, Г. Т. Земский, Н. В. Кондратюк [и др.] // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 92–95. EDN: YZZZLV.
13. A smart device of data acquisition with emergency safety features for laboratory furnaces M. Hassan, A. Bhattacharjee, Md. S. Azam [et al.]. Results in Engineering, 2023, vol. 19, p. 101357. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101357.

References

1. I. A. Maly, I. Yu. Sharabanova, A. A. Lazarev [et al.] Ustrojstvo dlya opredeleniya pozharnoy opasnosti pechnykh trub [Device for determining the fire hazard of stove pipes], Patent 230796 U1 (RU), Rossiyskaya Federatsiya IPC A 62 C 37/00, A 62 C 99/00, F 27 D 1/00. opubl. 19.12.2024, Byul. № 35. EDN: FDGQXU.
2. Opredeleniye effektivnoy temperatury obrabotki uglerodnykh materialov v vysokotemperaturnykh pechakh po parametram spektroskopii kombinatsionnogo rasseyaniya obraztsov-svideteley [Determination of the effective processing temperature of carbon materials in high-temperature furnaces based on the parameters of Raman spectroscopy of witness samples] / V. M. Samoilov, A. V. Nakhodnova, M. A. Osmova [et al.]. Perspektivnyye materialy, 2021, issue 1, pp. 67–84. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-1-67-84. EDN: SMNJAW.
3. Eksperimental'noye opredeleniye temperatur v kirpichnoy sadke tunnel'noy pechi

[Experimental determination of temperatures in the brick load of a tunnel kiln] / E. N. Gnezdov, O. Yu. Nagornaya, D. V. Rakutina [et al.]. *Voprosy teplomassoobmena, energosberezheniya i ekologii v teplotekhnologicheskikh protsessakh: sbornik statey*. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet im. V. I. Lenina, 2003, pp. 98–100. EDN: JAFYKC.

4. Nesterov S. V., Nesterov A. V. *Opredeleniye dinamicheskikh kharakteristik khlebopekarnoy pechi FTL-2 po kanalu «raskhod topliva – temperatura osnovnoy zony vypechki» po yeye eksperimental'noy amplitudno-chastotnoy kharakteristike* [Determination of dynamic characteristics of the FTL-2 bread oven by the channel «fuel consumption – temperature of the main baking zone» according to its experimental amplitude-frequency characteristic]. *Innovatsii v industrii pitaniya i servise: elektronnyy sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 30-letiyu kafedry tekhnologii i organizatsii pitaniya*. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2014, pp. 186–187. EDN: TLWCRX.

5. Sibagatullin S. K., Kharchenko A. S., Devyatchenko L. D. *Otsenka neravnomernosti raspredeleniya shikhtovykh materialov v domennoy pechi* [Evaluation of uneven distribution of charge materials in a blast furnace]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 2018, vol. 61, issue 10, pp. 766–773. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-766-773. EDN: YNDMIH.

6. Shevyakov V. V. *Opredeleniye temperatur v topke bytovoy pechi* [Determination of temperatures in the firebox of a household stove]. *Universum: tekhnicheskiye nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2016, vol. 7 (28), p. 14. EDN: WFBPPB

7. Fogel D. Yu. *Realizatsiya besprovodnoy sistemy izmereniya temperatury trekhzonnoy prokhodnoy pechi* [Implementation of a wireless temperature measurement system for a three-zone continuous furnace]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki*, 2008, vol. 11 (88), pp. 202–205

8. Fedorov A. V., Rubtsov D. N., Ospanov K. K. *Kontrol' i podderzhaniye parametrov effektivnogo ispol'zovaniya parovoy zavesy*

trubchatoy pechi [Control and maintenance of parameters for the effective use of the steam curtain of a tubular furnace]. *Pozhary i vozniknoveniye situatsiy: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2023, issue 2, pp. 73–80. DOI: 10.25257/FE.2023.2.73-80. EDN: CFLUSF.

9. Ospanov K. K., Fedorov A. V., Kulkin D. V. *Avtomatizatsiya distantsionnogo kontrolya davleniya para v sisteme paro-voy zavesy tekhnologicheskoy pechi* [Automation of remote control of steam pressure in the steam curtain system of a process furnace]. *Problemy tekhnno-sfernoy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh ucho-nykh i spetsialistov*, 2023, issue 12, pp. 190–195. EDN: BUMBJB.

10. Melikyan M. L., Penkov I. V., Lazarev A. A. *Model' sovershenstvovaniya spetsial'nykh tekhnicheskikh usloviy po po-zharnoy bezopasnosti* [Model for improving special technical conditions for fire safety]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 65–733. EDN: MEDQMT.

11. Lazarev A. A., Penkov I. V. *O probleme regulirovaniya otnosheniy v tselyakh obespecheniya pozharnoy bezopasnosti pechey i dymokhodov pri stroitel'stve zdaniy* [On the problem of regulating relations in order to ensure fire safety of furnaces and chimneys during the construction of buildings]. *Nauka i innovatsii v stroitel'stve: sbornik dokladov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 170-letiyu V. G. Shukhova*, vol. 2. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V. G. Shukhova, 2023, pp. 94–98. EDN: JTLUXY.

12. *Pozharnaya opasnost' neteployemkikh dymovykh kanalov* [Fire hazard of non-heat-intensive smoke channels] / V. A. Zuikov, G. T. Zemsky, N. V. Kondratyuk [et al.]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2019, issue 1, pp. 92–95. EDN: YZZZLV.

13. *A smart device of data acquisition with emergency safety features for laboratory furnaces* M. Hassan, A. Bhattacharjee, Md. S. Azam [et al.]. *Results in Engineering*, 2023, vol. 19, p. 101357. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101357.

Пеньков Иван Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт адъюнктуры
E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Penkov Ivan Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
adjunct of the adjunct
E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Лазарев Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры
E-mail: kpond@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department
E-mail: kpond@edufire37.ru

Сторонкина Ольга Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры
E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Ol'ga Evgen'evna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, associate professor, associate professor at the department
E-mail: oleg1968@mail.ru

Осмоловская Анастасия Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель кафедры
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Osmolovskaya Anastasia Aleksandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
lecturer at the department
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

УДК 66.091.2/614.841.41

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОГНЕЗАЩИТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ СМЕШАННОГО ВОЛОКНИСТОГО СОСТАВА

А. Х. САЛИХОВА, О. Г. ЦИРКИНА, С. А. СЫРБУ, Е. В. БАРИНОВА, А. Н. КЛУШИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: salina_77@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru, lenok-ch@list.ru, gpn-obninsk@mail.ru

Современное текстильное производство выпускает большой ассортимент тканей различного функционального назначения с заданными свойствами. Доля технических материалов в общем выпуске текстильной продукции превышает 50 %. Немалая часть требующихся материалов предназначена для обеспечения безопасности работников предприятий, автотехники, технологического оборудования и для возведения некапитальных объектов строительства. Данные текстильные материалы должны удовлетворять требованиям пожарной безопасности и характеризоваться пониженными показателями пожарной опасности в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

В работе изложены научно обоснованные решения по разработке огнезащищенных материалов и изделий легкой промышленности, обеспечивающих пожарную безопасность работников пожароопасных цехов и объектов, связанных с применением текстильных материалов. Разработан новый эффективный способ придания огнезащитных свойств хлопко-полиэфирным материалам технического назначения за счет их обработки составом, включающим в качестве основных компонентов Пироватекс и кремнийорганическую смолу в смеси с органическим растворителем. Исследования текстильных материалов на способность к воспламенению и распространению пламени проведены в соответствии со стандартными методиками испытаний для специальной одежды и палаток. Полученные данные показывают, что нанесенный на ткань антипирлирующий состав исключает возможность загорания смесовой ткани при воздействии пламени, прогорание до кромки отсутствует, длина обугленного участка не превышает 30 мм, время самостоятельного горения не более 5 с, что позволяет сделать вывод об эффективности огнезащиты, об устойчивости к воспламенению и распространению пламени обработанной ткани, что соответствует требованиям национальных стандартов.

Ключевые слова: техническая ткань, хлопко-полиэфирная ткань, специальная одежда, текстильный материал, огнезащитный состав, кремнийорганическая смола, воспламенение, огнезащитные свойства.

DEVELOPMENT OF A METHOD OF FIRE PROTECTION OF TECHNICAL FABRICS OF MIXED FIBROUS COMPOSITION

A. Kh. SALIKHOVA, O. G. TSIRKINA, S. A. SYRBU, E. V. BARINOVA, A. N. KLUSHIN

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: salina_77@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru, lenok-ch@list.ru, gpn-obninsk@mail.ru

Modern textile production produces a wide range of fabrics for various functional purposes with specified properties. The share of technical materials in the total output of textile products exceeds 50 %. A considerable part of the required materials is intended to ensure the safety of workers at enterprises, motor vehicles, technological equipment and for the construction of non-capital construction projects. These textile materials must meet fire safety requirements and be characterized by reduced fire hazard rates in accordance with the current legislation of the Russian Federation.

The paper presents scientifically substantiated solutions for the development of fire-protected materials and products for light industry that ensure fire safety for workers in fire-hazardous workshops and facilities associated with the use of textile materials. A new effective method has been developed for imparting fire protection properties to cotton-polyester materials for technical purposes by treating them with a composition that includes Pyrovatex and organosilicon resin mixed with an organic solvent as the main components.

Studies of textile materials for the ability to ignite and spread flame were carried out in accordance with standard testing methods for special clothing and tents. The obtained data show that the fire-retardant composition applied to the fabric eliminates the possibility of the blended fabric catching fire when exposed to flame, there is no burning to the edge, the length of the charred area does not exceed 30 mm, the time of independent combustion is no more than 5 s, which allows us to draw a conclusion about the effectiveness of fire protection, about the resistance to ignition and flame spread of the treated fabric, which meets the requirements of national standards.

Key words: technical fabric, cotton-polyester fabric, special clothing, textile material, fire-retardant composition, organosilicon resin, ignition, fire-retardant properties.

Введение

Ткани технического назначения – это материалы, применяемые преимущественно в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, медицине и иных сферах. Они обладают определенными физико-механическими свойствами, позволяющими эффективно справляться с возложенными на них функциями. Текстильные материалы этой группы используются для пошива специальной одежды работников, задействованных в отраслях промышленности с опасными факторами производственной среды (искры, раскаленные продукты, контакт с высокотемпературным оборудованием и агрессивными средами и др.)

Актуальность исследований в области разработки новых составов заключается в потребности создания инновационных текстильных материалов технического назначения отечественного производства, которые обеспечивали бы функцию защиты технологического оборудования от распространения пламени, безопасность работников опасных производственных объектов и пожарную безопасность техники при нахождении в сложных условиях (лесные пожары, зоны ЧС, зоны боевых действий), пожарную безопасность конструкций палаточных лагерей и кемпингов. Примеры объектов применения приведены на рис. 1.

В зависимости от области назначения и применения к техническим тканям предъявляются требования, обеспечивающие общие показатели (прочность, разрывная нагрузка,

гигроскопичность и др.) и параметры безопасности. На основе изучения национальных стандартов для тканей, которые используются для тентов, укрывных материалов и специальной защитной одежды, нами определен ряд общих критериев, определяющих соответствия полотен нормативным документам.

Целью работы является разработка способа огнезащиты для технической ткани смешанного состава (хлопковое волокно + полиэфирное волокно), которая может использоваться и для изготовления специальной одежды, и в качестве внутреннего и наружного тента палаток.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать и систематизировать имеющиеся в литературе данные об области применения материалов из полиэфирных волокон и их смесей с натуральными, особенностях поведения указанных материалов при воздействии пламени и способах их защиты;
- разработать рецептуру состава на основе широко применяемых антипиренов и кремнийсодержащих соединений;
- разработать способ огнезащиты хлопка-полиэфирной ткани;
- провести испытания материала, обработанного предложенным способом, на наличие огнезащитных свойств и соответствие требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности текстильных материалов.



Рис. 1. Примеры объектов применения текстильных материалов технического назначения



Рис. 2. Показатели соответствия текстильных материалов технического назначения требованиям стандартов



Рис. 3. Свойства, определяющие преимущества использования полиэфирных тканей для специальной защиты

Полиэфирное волокно широко применяется в производстве тканей для специальной одежды благодаря своим уникальным свойствам, которые указаны на схеме рис. 3.

Однако, использование чистого полиэфира в ткани защитной одежды имеет ряд ограничений. Чистая полиэфирная ткань быстро воспламеняется и плавится при воздействии открытого пламени или раскаленных частиц. Для устранения этого недостатка используют специальные покрытия и добавки, которые замедляют горение материала; применяют смешанные материалы – комбинации поли-

эфирных волокон с натуральными материалами, с синтетическими термостойкими волокнами типа арамидов (например, номекса). Это позволяет достичь оптимального баланса между舒适ностью, долговечностью и защитными свойствами одежды.

Существует множество антипиряющих композиций, которые уже применяются при обработке тканей из полиэфирного волокна или смесового состава в отделочном производстве текстильной промышленности, или которые находятся на этапе научных разработок¹ (рис. 4)².

¹ Рассматриваются только объемный и поверхностный способы придания текстильным материалам огнезащитных свойств.

² <https://www1.fips.ru/elektronnyye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/>

Состав для огнезащитной отделки химических волокон на основе 5-7 % водного раствора фосфорсодержащего мономера (Факрил-М) с использованием окислительно-восстановительной системы $\text{Fe}^{2+}\text{-H}_2\text{O}_2$. Однако данный состав необходимо прививать на волокна длительное время и при высокой температуре.
Двухстадийный способ обработки полиэфирных тканей, включающий пропитку составом Пробан, затем гексабромциклододеканом или циклическим фосфонатом: обработанную ткань термофиксируют, причем в случае использования гексабромциклододекана ее нагревают выше 182 °С для плавления антипирена. Двухстадийность процесса и необходимость термофиксации при высоких температурах значительно затрудняют возможность практического применения предлагаемого способа.
Антипирен Т-2 - состав на основе азотсодержащего производного фосфоновой кислоты. Полученные ткани из смеси полиэфирных и целлюлозных волокон (в соотношении масс. % 67:33) характеризовались значением кислородного индекса 28-30 % при содержании антипирена не более 10-12 %. Однако, огнезащитный эффект оказался неустойчивым к многократным стиркам.
Жидкий препарат Fyrol PBP, представляющий смесь пентабромдифенилоксида и арилфосфатов, содержащий около 50 % брома, рекомендуется для снижения горючести полиэфирных тканей. Отмечается, что огнезащитный эффект сохраняется в процессе многократных стирок. Но предлагаемым составом могут быть модифицированы только декоративно-отделочные материалы.
Пироватекс-ЦП – применяется для отделки полиэфирных тканей и тканей из смеси целлюлозных и полиэфирных волокон. Однако, эффективность его огнезащитного действия для тканей, содержащих более 15 % полиэфирного волокна, достаточно низка, так как данный огнезащитный состав разлагается при более низкой температуре в сравнении с полиэфиром.

Рис. 4. Составы и способы огнезащиты текстильных материалов с полиэфирными волокнами

В России длительное время для пошива костюмов спецодежды использовались импортные материалы, а для придания материалам свойств устойчивости к пламени использовались импортные препараты. Эти композиции и их коммерческие аналоги имеют высокую стоимость и не всегда гарантируют, что обработанные ими ткани будут отвечать всем необходимым требованиям, как специальным, так и гигиеническим, установленным законодательством Российской Федерации. Обзор исследований позволил сделать вывод еще и о том, что существует проблема сохранения огнезащитного эффекта от обработки смесовых тканей

существующими составами в процессе многократных стирок. Поиск и создание альтернативных вариантов огнезащиты и трудновоспламеняемых материалов в современных условиях развития науки и промышленности является приоритетным направлением научно-технической деятельности.

В статьях [1, 2] были описаны исследования разработанных огнезащитных композиций на основе кремнийорганической смолы для тканей с содержанием полиэфира 20 %: материал для спецодежды и мебельная ткань голен. Состав композиций приведен на рис. 5.

Ткань «Контакт-250А» для спецодежды	Мебельно-декоративная ткань "Гобелен"
• вода – 100 мл/л; • раствор Пироватекс – 30 мл/л; • кремнийорганическая смола марки RUT 3010 – 5 мл/л; • раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10 % – 0,5 мл/л; • ПВА – 1 мл/л.	• Пекофлам – 300 мл/л; • кремнийорганическая смола марки RUT 3010 – 50 мл/л; • раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10 % – 5 мл/л; • ПВА – 10 мл/л.

Рис. 5. Огнезащитные составы с добавлением кремнийорганической смолы для тканей специального и декоративного назначения [1, 2]

Обработка данными композициями согласно результатам испытаний, описанным в [1, 2], позволила получить материалы, относящиеся к группе «трудновоспламеняемые».

Применение кремнийорганических соединений в качестве активного агента в антипиренах является перспективным направлением, что подтверждается множеством исследований. Например, за рубежом широко применяются препараты на основе жидких силоксановых каучуков холодного отверждения производства фирмы DowCorning (США), что позволяет получить текстильные материалы технического назначения пониженной горючести [3]. Авторы [4] приводят результаты исследования огнезащитного состава для хлопчатобумажной ткани, полученного на основе жидкого силоксанового каучука холодного отверждения и подтверждают его эффективность.

Обработка огнезащитным составом не должна ухудшать потребительские и физико-химические свойства ткани. В работах [1, 2] отмечалось, что привес ткани после обработки составляет около 30-40 % из-за способности кремнийорганической смолы к пленкообразованию и последующему увеличению поверхностной плотности материала, что ухудшает эргономические показатели специальной одежды. Поэтому при определении рецептуры состава огнезащиты следует не допустить последующего значительного привеса.

Объекты и методы исследования

Для исследования выбрана техническая ткань: назначение – специальная одежда, палаточный тент; состав: хлопковое волокно – 65 %, полиэфирное волокно – 35 %; поверхностная плотность ткани 240 г/м²; переплетение ткани – рогожка.

На рис. 6 схематично представлен разработанный способ огнезащиты хлопко-полиэфирной ткани.



Рис. 6. Способ огнезащиты хлопко-полиэфирной ткани на основе Пироватекса и кремнийорганической смолы, растворенной в толуоле

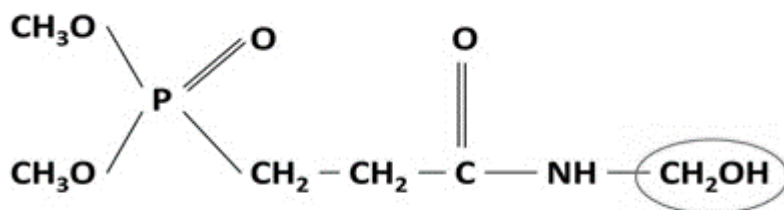


Рис. 7. Химическая формула Пироватекса

Нанесение огнезащитного состава на хлопко-полиэфирную ткань было проведено путем двухстадийной обработки с использованием в качестве антипирена Пироватекса, формула которого приведена на рис. 7.

Наличие в составе молекулы Пироватекса метилольной группы – CH_2OH позволяет на первой стадии осуществить «пришивку» молекул антипирена за счет прочных ковалентных связей к гидроксильным группам целлюлозной составляющей ткани. При этом на полиэфирной составляющей Пироватекс также будет фиксироваться, но за счет более слабых водородных связей.

На второй стадии обработка КОС, растворенной в толуоле, с последующей сушкой при 60°C , термофиксацией при 140°C в течение 3 мин [5, 6] позволила обеспечить лучший эффект проникновения в структуру ткани и снижения горючести полиэфирной составляющей материала. Такой способ приводит также к исключению образования пленки на поверхности, которая влияет непосредственно на увеличение поверхностной плотности.

После обработки образцы ткани были подвергнуты испытаниям. Основными характеристиками огнезащищенных тканей технического назначения являются устойчивость материала к воспламенению и распространению пламени, огнестойкость. Но, как было отмечено в работе [7], существуют проблемы нормирования показателей пожарной опасности текстильных материалов и установления требований к применению пожаробезопасных материалов. Это влияет непосредственно на выбор метода исследования для выявления эффективности огнезащитной обработки и на формулировку выводов о пожарной опасности текстильных полотен и изделий из них в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Испытания обработанных новым составом образцов ткани и оценка огнезащитных свойств проводились по требованиям стандартов, приведенных на рис. 8.

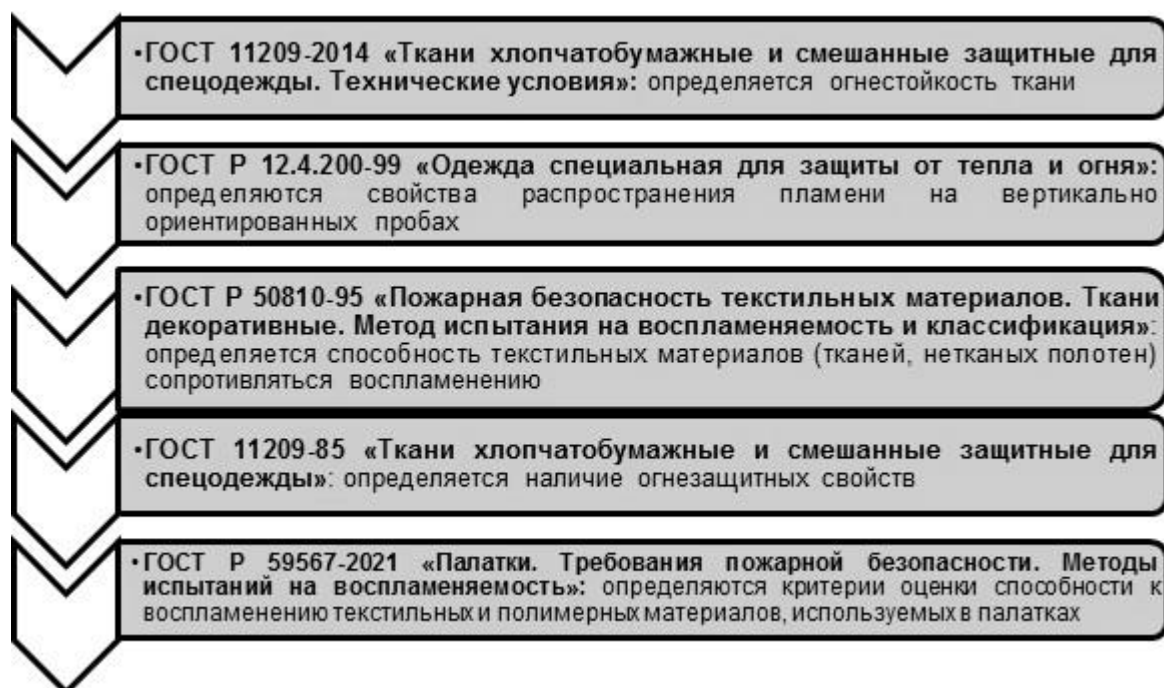


Рис. 8. Перечень нормативных документов для исследования пожароопасных свойств текстильных материалов

Важным условием возможности отнесения текстильных материалов к пожаробезопасным является сохранение свойств огнезащиты после многократного воздействия водой. Поэтому в начале были проведены испытания по ГОСТ 12.4.049-78 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные для спецодежды. Метод определения устойчивости к мокрой обработке», так как необходимо оценить сохранение антипирлирующих свойств после стирок.

По ГОСТ 11209-2014 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия» оценивается огнестойкость материала. По результатам испытаний дается заключение: «огнестойкая ткань» или «не огнестойкая ткань». По ГОСТ Р 11209-2014 материал считается выдержавшим испытания и оценивается как «огнестойкий», если:

- время остаточного горения, с, не более – 0;
- время остаточного тления, с, не более – 0;
- длина обугленного участка, см, не более – 10.

ГОСТ Р 12.4.200-99 «Одежда специальная для защиты от тепла и огня» приводит метод испытаний материалов при ограниченном распространении пламени и определения свойств распространения пламени на вертикально ориентированных пробах. Отмечаются следующие характеристики: горение пробы, распространяющееся к краям; послесвечение; наличие расплавленных, светящихся остатков и образование дыр. По стандарту определяются свойства распространения пламени на вертикально ориентированных пробах.

В соответствии с таблицей 30 и требованиями Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» нами дополнительно проведены испытания на воспламеняемость. Ввиду отсутствия стандартной методики оценки воспламеняемости для тканей спец-

одежды определение группы образцов ткани по воспламеняемости проводились в соответствии с ГОСТ Р 50810-95 «Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация».

В соответствии с ГОСТ 11209-85 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды» выпускаемые текстильным производством защитные ткани должны обладать огнезащитными свойствами. Огнезащитной считают ткань, которая после удаления из пламени не горит и не тлеет. Условия проведения испытаний идентичны приведенным в ГОСТ 11209-2014 при определении огнестойкости.

Хлопко-полиэфирная ткань с поверхностью 240 г/м² применяется не только для пошива специальной одежды, но и для изготовления туристических палаток. Требования пожарной безопасности распространяются на палатки для детских лагерей палаточного типа. ГОСТ Р 59567-2021 «Палатки. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на воспламеняемость» определяет критерии оценки способности к воспламенению текстильных и полимерных материалов, используемых в палатках, при воздействии маломощных источников возгорания. В рамках этих требований были проведены дополнительные испытания на воспламеняемость, чтобы проверить возможность использования хлопко-полиэфирной ткани, обработанной предложенной огнезащитной композицией, в качестве тентов для палаток. Оцениваемые критерии приведены на схеме рис. 9. В методике учитывается область применения материала: наружный тент палаток, внутренний тент палаток и их основные элементы, покрытие пола.

Критерии отнесения материалов к устойчивым к воспламенению		
Наружные тенты палаток	Внутренние тенты палаток и их основные элементы (в частности, противомоскитные сетки)	Материалы пола (покрытия пола) палаток
- отсутствует прогорание до кромок; - отсутствует воспламенение хлопчатобумажной ваты; - время остаточного пламенного горения составляет не более 5 с у любого из образцов, испытанных при поверхностном зажигании.	- отсутствует прогорание до кромок; - отсутствует воспламенение хлопчатобумажной ваты; - время остаточного пламенного горения составляет не более 5 с у любого из образцов, испытанных при зажигании с поверхности или кромок.	- время остаточного горения (тления) составляет не более 20 с; - максимальная длина поврежденной части образца не превышает 30 мм.

Рис. 9. Критерии, при выполнении которых материалы для палаток относятся к устойчивым к воспламенению

Испытания хлопко-полиэфирной ткани проводились согласно методикам, описанным в нормативно-технической литературе (рис. 8) на лабораторной установке компании GIBITRE Instruments S.r.l. Прибор для испытания на воспламеняемость представлен на рис. 10.

Для данного прибора также была изготовлена держатель-рамка, на которой

установлены шпильки для крепления образца с размерами в соответствии с методиками. Перед началом испытаний на основание прибора под образцом укладывали слой хлопчатобумажной ваты толщиной 10 мм. Параметры работы и установки газовой горелки регулировали в соответствии с требованиями методик.



Рис. 10. Лабораторная установка для испытаний на воспламеняемость материалов компании Gibitre Instruments S.r.l.

Результаты и обсуждение

Обработка ткани предложенным способом приводит к относительному привесу испытуемых образцов из хлопко-полиэфира до 20 % при исходной поверхностной плотности ткани 240 г/м². Следует отметить, что это мало отражается на грифе жесткости ткани, а, следовательно, не мешает дальнейшему пошиву изделий, не ухудшаются потребительские свойства.

При испытаниях образцов ткани с огнезащитой по ГОСТ 11209-2014 остаточного горения и тления не наблюдалось. В отличие от

этого, контрольный образец, не подвергнутый специальной обработке, полностью сгорел. При этом в процессе горения наблюдалось значительное распространение пепла внутри испытательной установки.

Результаты оценки показателей по ГОСТ 11209-2014 и ГОСТ Р 12.4.200-99 сведены в табл. 1. На рис. 11 приведена фотография образца ткани после оценки распространения пламени согласно ГОСТ Р 12.4.200-99 «Одежда специальная для защиты от тепла и огня».

Таблица 1. Результаты испытаний при ограниченном распространении пламени и определения свойств распространения пламени

Регистрируемые параметры	Испытания (средние показатели)*	
	Необработанный образец ткани	Обработанный образец ткани
Время остаточного горения, с	80	0
Время остаточного тления, с	120	0
Достигла ли нижняя граница пламени верхнего или вертикального (бокового) края при испытаниях пробы	Да	Нет
Образовалась ли дыры при испытаниях	Да	Нет
Наблюдалось ли горение пробы или появление расплавленных остатков	Наличие пепла	Нет
Время послесвечения с точностью до целых чисел, с	—	—
Длина обугленного участка, мм	200 (сгорел полностью)	30

* – погрешность полученных результатов не превышает 5 %.

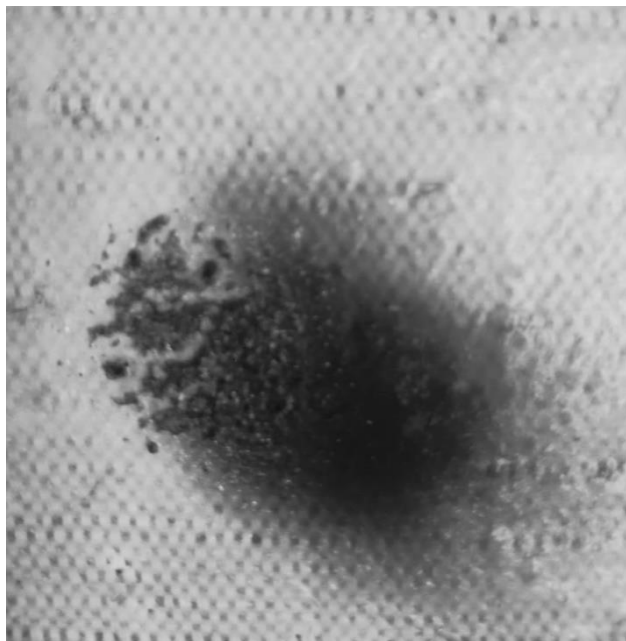
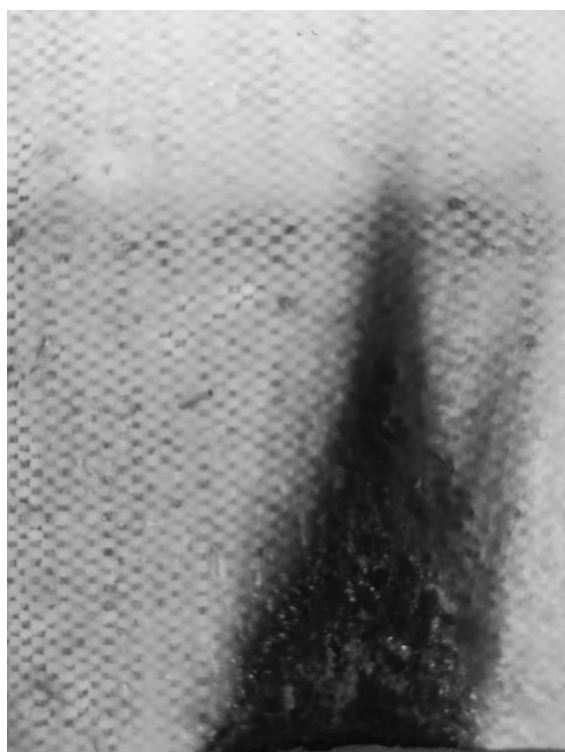


Рис. 11. Фотография результата испытания образца ткани, обработанного предложенным способом (прогорание отсутствует)

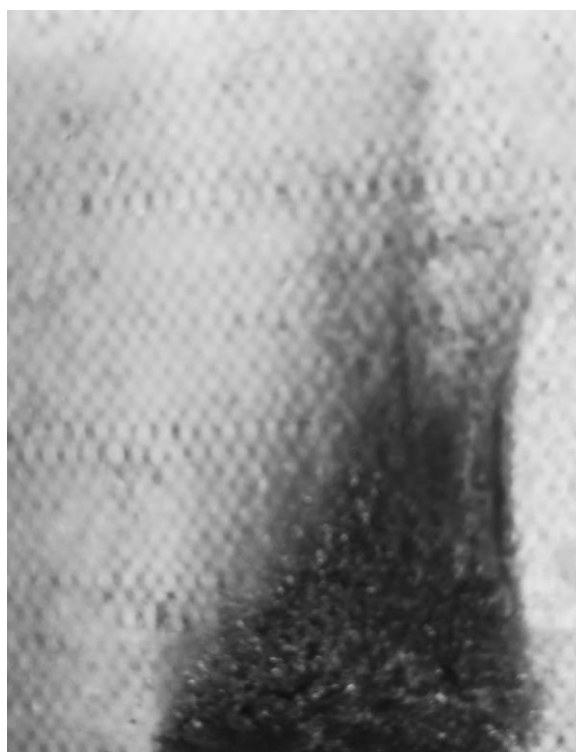
Соответственно ткань, обработанную предложенным способом, можно отнести к группе «огнестойкая» по ГОСТ 11209-2014 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия». В соответствии с ГОСТ Р 12.4.200-99 можно сделать заключение о способности не распространять пламя по поверхности.

Проведенные испытания на воспламеняемость в соответствии с ГОСТ Р 50810-95 «Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация» показали, что образцы ткани, подвергшиеся обработке, после удаления из зоны пламени не поддерживали горения и тления. На рисунке 12 представлены фотографии образцов после испытаний (поджигание производилось с кромки). В табл. 2 приведены результаты испытаний.

Анализ данных табл. 2 показал, что образцы, обработанные предложенным составом по всем регистрируемым параметрам соответствуют значениям, при которых материал не поддерживает горение. В соответствии с нормативным документом этот материал относится к трудновоспламеняемым.



а – по основе



б – по утку

Рис. 12. Фотографии результатов испытания на воспламеняемость с кромки образца после обработки предложенным способом огнезащиты

Таблица 2. Результаты испытаний на воспламеняемость по ГОСТ 50810-95

Регистрируемые параметры	Испытания (средние показатели)*	
	основа	уток
Время зажигания с кромки, с	2	3
Время самостоятельного горения, с	3	5
Прогорание до кромки	-	-
Воспламенение хлопчатобумажной ваты	-	-
Длина обугленного участка, мм	30	25

* – погрешность полученных результатов не превышает 5 %.

В соответствии с ГОСТ 11209-85 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды» выпускаемые текстильным производством защитные ткани должны обладать огнезащитными свойствами. Наличие этих свойств подтверждается отсутствием горения и тления образцов после удаления из пламени. Результаты испытаний, приведенные в табл. 1 и содержащиеся в ней сведения о горении и тлении, позволили сделать выводы о том, что ткань обладает огнезащитными свойствами.

При испытании на устойчивость к воспламенению по ГОСТ Р 59567-2021 «Палатки. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на воспламеняемость» фиксируемыми результатами являлись время остаточного горения, наличие воспламенения или тления хлопчатобумажной ваты от падающих

частей или горящих капель испытуемого образца, прогорание до кромки. При проведении испытаний прогорание образцов до кромок и воспламенение ваты отсутствовало. Время остаточного пламенного горения не превышало 5 с (по основе – 4 с, по утку – 3 с). Следовательно, материал можно считать устойчивым к воспламенению.

Выводы

1. Проведен анализ и систематизированы имеющиеся в литературе данные об области применения материалов из полиэфирных волокон и их смесей с натуральными, особенностях поведения указанных материалов при воздействии пламени и способах их защиты. Выявлены существующие проблемы в области огнезащиты смесовых тканей.

2. Разработана рецептура состава на основе водного раствора Пироватекса и кремнийорганической смолы марки RUT 3010, растворенной в толуоле.

3. Разработан способ огнезащиты ткани технического назначения смесового состава (хлопок – 65 %, полиэфир – 35 %), реализуемый путем двухстадийной обработки: первая стадия – пропитка водным раствором коммерческого препарата Пироватекс, вторая стадия – обработка кремнийорганической смолой, растворенной в толуоле.

4. Проведены испытания на огнестойкость, на способность к распространению пламени, на определение группы воспламеняемости, на наличие огнезащитных свойств, на устойчивость ткани к воспламенению. В рамках данного исследования испытаниям были подвергнуты образцы, предварительно прошедшие пятикратную стирку в соответствии с установленными методиками.

5. Ткань, обработанная предложенным способом, характеризуется огнестойкостью, относится к группе текстильных материалов «трудновоспламеняемые», не способна распространять пламя по вертикали. Ввиду наличия огнезащитных свойств может применяться для изготовления специальной одежды в соответствии с ГОСТ 11209-85 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецод одежды». Согласно ГОСТ Р 59567-2021

«Палатки. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на воспламеняемость» характеризуется устойчивостью к воспламенению и может применяться для внутренних и наружных тентов палаток.

6. Полученная хлопко-полиэфирная ткань с огнезащитными свойствами может использоваться в технических целях и сохранять огнезащитный эффект после пятикратной стирки. Полученные образцы ткани соответствуют национальным стандартам, предъявляющим требования к материалам для специальной одежды для защиты от тепла и огня, раскаленных частиц, а также для палаток, в части, касающейся показателей огнестойкости и воспламенения.

Работа выполнена в рамках государственного задания на НИР «Разработка базы данных «Пожарная опасность текстильных материалов» в целях судебной пожарно-технической экспертизы» (НИР «Текстиль») (подпункт 9.1 пункта 9 раздела I Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности, преодоления последствий радиационных аварий и катастроф на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов, утвержденного приказом МЧС России от 17.07.2024 г. № 592).

Список литературы

1. Влияние кремнийсодержащих добавок на эффективность огнезащитной обработки текстильных материалов / А. Х. Салихова, С. А. Сырбу, О. Г. Циркина [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 91–99.

2. Разработка огнезащитных композиций для обивочных мебельных тканей / О. Г. Циркина, А. Х. Салихова, С. А. Сырбу [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 122–130.

3. Тимофеева С. В., Малясова А. С., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности с покрытием на основе жидких силиконовых каучуков, отвержденным методом полиприсоединения // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 9. С. 22–25.

4. Study the kinetics of thermolysis of textile materials modified by polyorganosiloxanes / A. S. Fedorinov, M. V. Vinokurov, S. V. Timofeeva [et al.]. Russian Journal of General Chemistry, 2016, vol. 86, issue 2, pp. 484–487; 2014, vol. 58, issue 2, pp. 74–78.

5. Кулик В. И., Нилов А. С. Связующие

для полимерных композиционных материалов: учебное пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2019. – 52 с.

6. Разработка огнезащитных составов для текстильных материалов / С. А. Сырбу, В. А. Бурмистров, Д. Б. Самойлов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2011. № 5 (39). С. 13.

7. Проблемные вопросы нормирования показателей пожарной опасности текстильных материалов / А. Х. Салихова, О. Г. Циркина, С. А. Сырбу [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 62–70.

References

1. Vliyaniye kremniysoderzhashchikh dobavok na effektivnost' ognezashchitnoy obrabotki tekstil'nykh materialov [Influence of silicon-containing additives on the efficiency of fire protection treatment of textile materials] / A. Kh. Salikhova, S. A. Syrbu, O. G. Tsirkina [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 91–99.

2. Razrabotka ognezashchitnykh kompozitsiy dlya obivochnykh mebel'nykh tkaney [Development of fire retardant compositions for

upholstery furniture fabrics] / O. G. Tsirkina, A. Kh. Salikhova, S. A. Syrбу [et al.]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (409), pp. 122–130.

3. Timofeeva S. V., Malyasova A. S., Khelevina O. G. Materialy ponizhennoy pozharnoy opasnosti s pokrytiyem na osnove zhidkikh siloksanovykh kauchukov, otverzhdennym metodom poliprisoyedineniya [Low-fire-hazard materials with a coating based on liquid siloxane rubbers cured by the polyaddition method]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2011, Vol. 20, issue 9, pp. 22–25.

4. Study the kinetics of thermolysis of textile materials modified by polyorganosiloxanes / A. S. Fedorinov, M. V. Vinokurov, S. V. Timofeeva [et al.]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2016, vol. 86, issue 2, pp. 484–487; 2014, vol. 58, issue 2, pp. 74–78.

5. Kulik V. I., Nilov A. S. Svyazuyushchiye dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov: uchebnoye posobiye [Binders for polymer composite materials: a tutorial]. SPb.: Balt. gos. tekhn. un-t, 2019. 52 p.

6. Razrabotka ognезashchitnykh sostavov dlya tekstil'nykh materialov [Development of fire retardant compositions for textile materials] / S. A. Syrбу, V. A. Burmistrov, D. B. Samoilov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2011, vol. 5 (39), p. 13.

7. Problemnyye voprosy normirovaniya pokazateley pozharnoy opasnosti tekstil'nykh materialov [Problematic issues of standardization of fire hazard indicators of textile materials] / A. Kh. Salikhova, O. G. Tsirkina, S. A. Syrбу [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 62–70.

Салихова Ани́са Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: salina_77@mail.ru

Циркина О́льга Германовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор, доцент
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Tsirkina Ol'ga Germanovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of technical sciences, professor, associate professor
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Сырбу́ Светла́на Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, профессор
E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrбу Svetlana Alexandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of chemistry sciences, professor
E-mail: syrbue@yandex.ru

Баринова Елена Васильевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: lenok-ch@list.ru

Barinova Elena Vasilievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemistry sciences

E-mail: lenok-ch@list.ru

Клушин Алексей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

Klushin Alexey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

УДК 614.835.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Э. Ф. РАХМАТУЛЛИНА, А. В. ПЕРМЯКОВ, И. Ф. ХАФИЗОВ, Ф. Ш. ХАФИЗОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Российская Федерация, г. Уфа

E-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, fanil150656@mail.ru, ildar.hafizov@mail.ru, senya2512@yandex.ru

Статья посвящена исследованию механизмов ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на нефтегазовых объектах. Рассматривается значимость адаптивных методов проектирования и мониторинга систем противопожарной защиты, позволяющих повысить помехоустойчивость и снизить вероятность ошибочных сигналов. Предлагается анализ возможных факторов, способных провоцировать неправильное функционирование детекторов, включая электромагнитные импульсы, дефицит технического обслуживания и недостатки проектирования. Изучены публикации А. В. Александровой, Я. Андрианова и других исследователей, освещающих модернизацию противопожарных систем в разных условиях эксплуатации. Внимание уделено способам адресного контроля и принципам корректной расстановки извещателей с учетом помех, возникающих при взаимодействии с технологическим оборудованием. Работа ставит цель расширить представление о влиянии человеческого фактора, вдобавок сформулировать подходы к улучшению технических решений. Для достижения поставленной задачи применены сравнительный анализ, критический обзор и систематизация сведений. В работе рассматриваются пути координации решений на этапе проектирования и последующего обслуживания. В заключительной части приводятся выводы о путях оптимизации пожарных систем. Предлагаемый материал ориентирован на специалистов в области пожарной безопасности и инженеров-проектировщиков.

Ключевые слова: ложные срабатывания, пожарная сигнализация, нефтегазовые объекты, помехоустойчивость, автоматические извещатели, беспроводные системы.

STUDY OF FALSE ALARMS OF AUTOMATIC FIRE ALARM SYSTEMS AT OIL AND GAS SITES

E. F. RAKHMATULLINA, A. V. PERMYAKOV, I. F. KHAFIZOV, F. Sh. KHAFIZOV

Ufa State Petroleum Technological University,

Russian Federation, Ufa

E-mail: rahmatullina_elina@mail.ru, fanil150656@mail.ru, ildar.hafizov@mail.ru, senya2512@yandex.ru

The article is devoted to the study of mechanisms of false responses of automatic fire alarm systems at oil and gas facilities. The importance of adaptive methods for designing and monitoring fire protection systems, which improve noise immunity and reduce the probability of erroneous signals, is considered. An analysis of possible factors that can provoke incorrect functioning of detectors, including electromagnetic pulses, lack of maintenance and design flaws is proposed. The publications of A. V. Alexandrova, Ya. Andrianov and other researchers covering the modernization of fire protection systems in different operating conditions are studied. Attention is paid to the methods of address control and the principles of correct placement of detectors taking into account the interference that occurs during interaction with process equipment. The work aims to expand the understanding of the influence of the human factor, in addition to formulating approaches to improving technical solutions. To achieve this goal, comparative analysis, critical review and systematization of information are used. The work considers ways to coordinate decisions at the design stage and subsequent maintenance. The final part provides conclusions on ways to optimize fire systems. The proposed material is intended for fire safety specialists and design engineers.

Keywords: false alarms, fire alarm, oil and gas facilities, noise immunity, automatic detectors, wireless systems.

Введение

Развитие нефтегазовой отрасли сопровождается повышенными требованиями к пожарной безопасности, поскольку любые непредвиденные отклонения в работе противопожарных систем приводят к угрожающим последствиям. Восприимчивость автоматических установок к внешним помехам и недостаткам проектирования порождает повышенное число ошибочных тревог, ослабляющих готовность персонала реагировать на реальные опасности.

Цель работы состоит в обосновании подходов к снижению вероятности ложных срабатываний пожарной сигнализации на указанных объектах. Задачи включают:

- 1) выявление основных факторов, провоцирующих ложные тревоги;
- 2) анализ недоработок при установке извещателей и обслуживании систем;
- 3) предложение методических рекомендаций для оптимизации технической и организационной структуры противопожарной защиты.

Новизна исследования состоит в рассмотрении уязвимостей проводных и беспроводных решений, совместно с анализом влияния человеческого фактора на итоговую надежность. Синтез полученных результатов предоставляет возможность целенаправленно менять проектные схемы и процедуры эксплуатации с учетом условий деятельности предприятий нефтегазовой сферы.

Материалы и методы

Для формирования теоретической базы были проанализированы работы С. В. Юртаева [19], где описаны частые сбои проводных извещателей при первом запуске, и Я. Андрианова [2], рассматривающего специфику противопожарной защиты на масштабных нефтегазовых площадках. В исследованиях М. О. Горячевой [5] приводится упоминание о влиянии неверной настройки порогов газоанализаторов, что вызывает ложные сигналы на объектах водородной энергетики и нефтегазового сектора. Д. А. Пасечник [10] акцентирует внимание на связке пожарных извещателей с установками тушения, а А. В. Александрова [1] указывает на повышенную частоту технических ошибок при интенсивном воздействии вибраций и электромагнитных наводок. Труды В. С. Бутко [3] и В. С. Глушко [4] затрагивают беспроводные решения, обладающие лучшей устойчивостью к внешним помехам, хотя условия связи требуют контроля. Исследования Д. С. Иванкова [6] отражают проблему совместного использования ручных и автоматических извещателей, а публикации Д. В. Шихалева [17; 18] и Рахматуллиной [12-16]

демонстрируют зависимость ложных срабатываний от уровня организационной координации.

Методы исследования включали сравнительный подход, анализ источников и обобщение материалов, позволяющее структурировать сведения по проблеме сбоев в пожарной сигнализации.

Результаты

Собранные сведения указывают, что ложное срабатывание автоматических установок пожарной сигнализации на объектах нефтегазовой сферы нередко связано с особенностями монтажа и последующей эксплуатации систем обнаружения, а также с внешними возмущающими воздействиями. В работе В. С. Бутко [3] указывается, что одной из основных проблем при использовании проводных систем обнаружения пожаров на КВО нефтегазовой отрасли являются ложные срабатывания, которые чаще всего возникают в результате воздействия электромагнитных импульсов от энергетических установок и грозовых разрядов на шлейфы проводных систем пожарной сигнализации. Здесь наблюдается зависимость возникновения ошибочных сигналов от протяженности проводных линий, которые способны воспринимать электромагнитные помехи. Аналогичные примеры зафиксированы при работе датчиков вблизи высоковольтного оборудования и при частых атмосферных разрядах.

При анализе материалов С. В. Юртаева [19] выявлено, что система пожарной сигнализации на старте эксплуатации нередко оказывается подвержена дефектам, появляющимся при первых запусках, если установка проводилась в сжатые сроки и без учета возможной внешней среды. Автор отмечает, что иногда ложные срабатывания возникают на ранних стадиях эксплуатации системы. Это может быть вызвано «ранней смертностью» компонентов, плохим расположением секторов, которое не было определено заранее, воздействием окружающей среды, которое не было оценено до передачи. В дальнейшем некорректная реакция пожарных извещателей усугубляется отсутствием должного обслуживания и своевременной калибровки чувствительных элементов.

Примеры системного подхода к оборудованию нефтебазы приводятся в исследовании Д. В. Шихалева [17]. Автор описывает схему оповещения и управления эвакуацией с учетом локальных модулей, которые подают сигнал на центральный пульт при наличии любого отклонения от нормы. Система мониторинга автоматических систем противопожарной защиты должна выполнять сбор данных о пожарах (авариях) и стихийных бедствиях, производить контроль надежности и работоспособности систем противопожарной защиты. Система осущест-

вляет мониторинг по пожарным (пожар, тревога и др.) и сервисным (неисправность, снятие шлейфа и др.) извещениям. Как и в системе СМИС, здесь отсутствуют какие-либо меры по поддержке принятия решений в ходе мониторинга. Функции системы сводятся к передаче сообщений о состоянии систем противопожарной защиты в организацию, осуществляющую мониторинг. Однако повышенный риск ошибочных включений формируется при наличии неадресных извещателей, так как в этом случае диспетчер фиксирует только сам факт «тревоги» без уточнения места возможного возгорания, что затрудняет проверку и нередко провоцирует ненужные вызовы дежурных служб.

Исследования Д. А. Пасечника [10] дополнительно свидетельствуют о том, что автоматическая пожарная защита нефтегазовых объектов достигает цели лишь при сочетании корректной системы оповещения с надежными установками тушения. Сбой любого звена часто сопровождается ложными срабатываниями, поскольку сбалансированность автоматических датчиков с инженерными модулями позволяет поддерживать требуемый уровень безопасности без избыточных тревожных сигналов. В работе [1] делается вывод о важности грамотного распределения извещателей на технологических участках, где присутствует вероятность воздействия вибраций и импульсных помех.

В публикации [4] рассмотрен пример объединения средств обнаружения повышенной чувствительности в комплекс мониторинга окружающей среды. Предполагается, что так достигается анализ суммарного массива данных, позволяющий распознать ранние стадии развития пожара. При этом, если логический блок не научен дифференцировать истинный сигнал возгорания и единичные всплески концентраций загрязнений, возрастает риск ложных срабатываний. Аналогичные случаи упомянуты в материале [5], где подчеркивается значительная роль корректного программирования контроллеров и прецизионной настройки порогов в газоанализаторах, призванных детектировать утечки углеводородов.

Труды [17; 18] указывают, что ошибка в выборе зон контроля либо некорректная увязка организационных процедур с техническими средствами приводит к лавинообразному росту числа ложных тревог: сотрудники не успевают проверять все сигналы, уровень внимания падает, а система автоматически регистрирует все срабатывания как потенциально реальные. В результате общий уровень защиты снижается, поскольку персонал теряет бдительность из-за чрезмерного потока недостоверных сообщений. Значительную опасность представляют ложные тревоги при выгрузке нефтепродуктов на открытых площадках, где отключение

насосного оборудования по ложно зафиксированному возгоранию способно вызвать переополнение резервуара или утечку.

В ходе анализа примеров, представленных в работе [6], выявлены ошибки совместного использования ручных и тепловых извещателей: при одновременном сигнале от ручного датчика и сработке теплового сенсора персонал ошибочно исключал вариант сбоя и проводил остановку технологического цикла, что приводило к неоправданным расходам и нарушению производственного расписания. В ряде других случаев наблюдалось самовольное отключение системы, если персонал считал частые ложные сигналы результатом технического сбоя извещателей.

Учет перечисленных примеров и статистических данных из проанализированных источников дает основание констатировать, что ложные срабатывания на объектах нефтегазовой отрасли напрямую связаны с уровнем устойчивости программно-технических модулей обнаружения к электромагнитным импульсам, качеством монтажа, последующей пусконаладкой, периодическим обслуживанием и правильным распределением извещателей по зонам. Значительная часть ложных сигналов возникает из-за недоработок, допущенных при проектировании, когда не исследованы фоновые условия, обеспечивающие высокую помехозащищенность аппаратуры. Ситуация осложняется влиянием человеческого фактора, включая неверные действия персонала при обслуживании и тестировании пожарной автоматики. Одним из действенных инструментов снижения доли ложных сигналов выступают модернизированные беспроводные решения, чья помехоустойчивость выше проводных систем, однако в процессе их применения необходим постоянный контроль за надежностью каналов связи.

Суммарная оценка представленных в литературе примеров показывает, что первостепенное значение в уменьшении количества ложных срабатываний принадлежит корректному проектированию шлейфов, исключению избыточных линий, применению адресных меток, а также согласованию температуры, задымленности и газовых параметров при пороговых значениях. Исходя из приведенных выводов, целесообразно проводить оценку физического состояния извещателей, их расположения и алгоритма обработки данных. Полноценная интеграция систем контроля загазованности с модулями раннего распознавания пожара при применении адаптивных настроек способна снизить число ошибочных включений, обеспечивая бесперебойную работу автоматических систем на нефтегазовых предприятиях.

Для количественного анализа поведения датчиков на объектах нефтегазовой сферы

применена модель поиска оптимального порога реагирования. Пусть входной сигнал $x(t)$ накапливается в интеграторе и сравнивается с уровнем k . Случайное отклонение $x(t)$ представлено как сумма полезной компоненты $s(t)$ при наличии истинного возгорания и шума $n(t)$, обусловленного внешними электромагнитными помехами. Если $x(t) \geq k$, формируется тревожное событие. При этом ошибочная реакция датчика связана с вероятностью ложной тревоги P_F , вычисляемой по формуле (1):

$$P_F = \int_k^{\infty} f_n(x) dx, \quad (1)$$

где $f_n x$ – функция плотности вероятности шумового процесса. Для гауссовой модели с нулевым средним и дисперсией δ^2 расчёт ведётся через интеграл распределения Гаусса. Повышение порога k уменьшает число ложных срабатываний, но затрудняет своевременное обнаружение настоящего пожара. В нефтегазовой сфере особенно критично сохранять баланс между этими показателями, поскольку непрерывные внешние помехи способны провоцировать шквал ненужных сигналов.

Чтобы оценить суммарное количество ошибочных включений за время T , используют пуассоновскую модель с потоком ошибок интенсивности λ . Среднее число лишних тревог в пределах интервала T выражается как $E[N] = \lambda T$. При повышенном уровне вибрации или близком расположении электрогенерирующих установок λ растёт, усиливая нагрузку на обслуживающий персонал. Аналогичная закономерность выявлена при отсутствии экранирования проводных шлейфов. С помощью регулярной калибровки и анализа статистики сигналов удаётся выбрать более точное значение порога k и алгоритм фильтрации выбросов.

В практических условиях нефтегазовых предприятий часто используется многопараметрический контроль, когда в контрольном модуле одновременно обрабатываются данные о дыме, температуре и наличии газовых включений. Подобный подход обеспечивает сокращение риска избыточных срабатываний – при системной обработке нескольких видов сенсорной информации алгоритм распознаёт случайные всплески или единичные ошибки, сопоставляя их с другими каналами. При этом предварительно рассчитываются адаптивные коэффициенты чувствительности, позволяющие уравновесить неопределённость при колебаниях внешних факторов. Для беспроводных узлов ввиду канальной задержки или помех на радиочастотах целесообразно применять процедуры резервирования сигнала, когда каждый извещатель передаёт копии данных в центральный процессор.

Практика внедрения автоматизированных механизмов фильтрации показывает, что сочетание корректного выбора k , оценки λ и системного подхода к настройке многопараметрических извещателей существенно уменьшает количество ложных включений. Применяя эти приёмы вместе с регулярным сервисным контролем и периодической заменой изношенных датчиков, удаётся обеспечить надёжность мониторинга даже при интенсивных внешних электромагнитных или вибрационных воздействиях.

Обсуждение

Усиленное развитие нефтегазовой промышленности повышает требования к обеспечению пожарной безопасности производственных объектов – нефтяных и газовых скважин, резервуарных парков, установок по подготовке нефти, магистральных нефте- и газопроводов и пр. Пожары от легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючих газов – сложные, нередко длительные по времени. Распространение пожаров при возгораниях характеризуется значительной скоростью и сопровождается выделением большого объема тепловой и лучистой энергии. В нефтяной промышленности они могут возникать по причине негерметичности соединительной арматуры технологических аппаратов. Также приводят к пожарам выделение паров ЛВЖ и ГЖ при негерметичности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, разрушение (коррозия) нефтепроводов и газопроводов, самовозгорание пиррофорных отложений. Следует отметить, что пожар в одном резервуаре или на одной наружной установке создает угрозу распространения его на соседние резервуары или аппараты и коммуникации.

Многочисленные исследования в нефтегазовой сфере демонстрируют, что частые ложные срабатывания связаны с недостаточной помехозащищённостью проводных линий и неправильной конфигурацией самих извещателей. Авторы указывают на последствия электромагнитных возмущений, которые вызывают хаотичные сигналы, особенно при использовании неэкранированных кабелей значительной протяженности. Результаты, полученные при систематическом наблюдении объектов с обширными шлейфами, подтверждают сказанное: рост числа ложных тревог пропорционален количеству внешних электромагнитных помех, слабо учитываемых на стадии проектирования.

Значительную роль имеют факторы, связанные с установкой и настройкой оборудования. Неправильное распределение датчиков приводит на ранней стадии к ошибкам фиксации признаков возгорания: подача сигнала тревоги происходит при малейшем превышении пороговых параметров, а реальных угроз не обнаруживают вовремя. Указанное явление

усугубляется недостаточным постмонтажным обслуживанием. В условиях нефтегазовой промышленности любое отступление от рекомендуемых процедур может приводить к лавинообразному росту ложных вызовов и, как следствие, к снижению бдительности персонала.

Анализ крупных нефтебаз показывает, что сочетание неадресных пожарных извещателей с ручными датчиками без точной синхронизации и опознавания ложно инициирует режим тревоги. Это совпадает с наблюдениями [10], где единичный сбой в системе сообщений или сбалансированности датчиков приводит к ошибочным отключениям технологических линий либо приостановке производственного процесса. То есть при любой неточности идентификации возгорания предприятие сталкивается с риском неполадок или финансовых потерь.

При сопоставлении собранных данных с ранее известными сведениями о беспроводных системах видно, что их внедрение заметно повышает устойчивость к электромагнитным помехам, что особенно актуально при размещении датчиков вблизи силовых установок или зон с интенсивными грозовыми явлениями. В то же время, как указывается в [4], беспроводная схема может давать скачки в передаче сигнала, если каналы связи перегружены или отсутствует резервирование. Следовательно, применение подобных решений оправдано, однако предполагает контроль за стабильностью цифровых каналов и корректной верификацией принятых данных.

Накопленные примеры показывают, что технические меры без комплексного подхода не приносят полной гарантии защиты. Последовательная логическая обработка информации и адаптивные механизмы снижения помех на этапе проектирования позволяют свести к минимуму ошибочные сигналы. Ориентировочно это достигается за счет анализа фоновых показателей, введения резервных конфигураций извещателей, а также уточненных методик проверки технического состояния элементов после монтажа и в процессе дальнейшей эксплуатации. Подобное уточнение алгоритмов особенно важно при регулировке тепловых и газовых порогов. Синхронная калибровка извещателей, газоанализаторов и систем раннего распознавания способна создать единую сеть, в которой ложные вызовы фиксируются и отфильтровываются на уровне интеллектуального контроллера.

Сопоставление полученных данных с результатами [2] подтверждает, что человеческий фактор усиливает риск ложных включений: персонал, уставший от регулярных срабатываний, склонен отключать систему или игнорировать поступившие тревожные сообщения. Переход к принципу непрерывного обучения

специалистов и их регулярным действиям по тестированию извещателей отвечает на проблему неверного обслуживания. При этом учитываются реальные условия эксплуатации, в том числе колебания температуры, влажности, наличие вибраций, характеристика коммуникаций и состояние сопутствующего технологического оборудования.

Все описанные наблюдения показывают, что развитие систем пожарной сигнализации в нефтегазовой отрасли ориентировано на комплексный аудит технического состояния, а также учет внешних условий, способных возбудить ложное реагирование. Анализ опубликованных примеров и практических рекомендаций позволяет заключить, что наиболее перспективным направлением остается усиление помехозащищенности, перевод на интеллектуальные средства сбора и обработки данных, а также тщательный отбор проектных решений и обученного персонала для минимизации некорректных срабатываний.

Практические наблюдения показывают, что многопараметрический анализ сигналов существенно снижает вероятность ложных тревог. Наряду с контролем дымовых и тепловых характеристик, применяется оценка газовой среды, что даёт возможность выделить истинные признаки возгорания среди фоновых помех. Для иллюстрации подобных расчётов используются вероятностные модели. Так, при классической схеме установления порога k входное воздействие $x(t)$ рассматривается в виде суммы сигнала пожара $s(t)$ и помех $n(t)$. Формирование тревожного уведомления происходит при выполнении условия $x(t) \geq k$. Вероятность ложного срабатывания P_F в этом случае определяется интегрированием плотности распределения шумовой компоненты $f_n(x)$ от k до бесконечности (2):

$$P_F = \int_k^{\infty} f_n(x) dx, \quad (2)$$

При нормальном законе шума данная вероятность рассчитывается через функции распределения Гаусса и регулируется выбором k . Чем выше значение порога, тем реже возникает ложный вызов, но при слишком большом k система становится менее чувствительной к реальным возгораниям.

Для оценки совокупного количества ошибочных сигналов в течение периода наблюдения T используют модель Пуассона. Предполагается, что интенсивность ложных откликов обозначена как λ , и среднее число таких тревог равно λT . Фактор λ растёт, когда шлейфы сигнализации располагаются вблизи высоковольтного оборудования или где отсутствует экранирование, что приводит к повышенным

электромагнитным возмущениям. Подобная картина наблюдается на дальних участках нефтегазовых объектов, имеющих разветвлённую линию питания внешних устройств. В таком случае дополнительное укрепление кабельных конструкций и усиленная проверка мест соединения становятся приоритетными мерами.

Дополнительно рассматривается вероятность внедрения беспроводных извещателей, поскольку они характеризуются меньшей восприимчивостью к помехам, вызванным электромагнитными импульсами на проводных линиях. Однако в радиоканальных системах возникает риск потери данных или их частичного искажения. По этой причине вводится дублирование информационных пакетов с помощью резервных каналов. Для некоторых предприятий применяют программно-аппаратные фильтры, устраняющие одиночные ошибочные скачки. В случае, когда несколько сенсоров фиксируют превышение порога одновременно, центральный контроллер отмечает ситуацию как потенциально реальную, а при единичных выбросах – дожидается следующего пакета. Такие алгоритмы обеспечивают баланс между скоростью выдачи сигнала и надёжностью.

Эксперименты на моделях, где совокупность каналов содержит несколько типов датчиков (дымовых, тепловых, газовых), подтверждают, что согласованная обработка многопараметрических данных помогает избежать ложных блокировок технологических процессов. Для нефтегазовых объектов существенным фактором выступает прогнозирование возгорания при колебаниях температуры и давления в трубопроводах, а также при наличии взрывоопасных газовых смесей. Если в одном из сегментов сети обнаруживается всплеск концентраций, а остальные параметры остаются в допустимых пределах, система сохраняет рабочий режим без формирования тревожного сообщения. Такая интеллектуальная фильтрация сокращает нагрузку на персонал и поддерживает высокий уровень достоверности сигналов.

При интеграции пожарных извещателей в общую среду мониторинга целесообразно учитывать ориентиры механических вибраций, поскольку погрешность в измерениях возрастает, когда датчик находится на оборудовании, подверженном циклическим нагрузкам. В случае резонансных колебаний важно вносить поправку в набор порогов или использовать более стабильные сенсоры. Наблюдения показывают, что незначительное отклонение в настройках способно спровоцировать лавинообразное количество ложных включений, особенно в

ночные смены, когда интенсивность шумовых процессов понижается и электроника становится более уязвимой для случайных наводок.

Статистическая оценка сигналов помогает выявить корреляцию между уровнем электромагнитных и механических воздействий и частотой ошибочных уведомлений. Периодический анализ полученных параметров позволяет корректировать алгоритмы, вводить динамическую подстройку порога k и эффективно управлять техническим состоянием извещателей. Применение описанных методов не отменяет необходимости регулярной калибровки и грамотного выбора месторасположения пожарных датчиков, поскольку совместное влияние температурных градиентов, пылевых загрязнений и возможных утечек углеводородов усиливает вероятность ошибочной идентификации. Всё это в совокупности формирует потребность в рациональном взаимодействии организационных мер и технических решений, что даёт возможность минимизировать ложные срабатывания без снижения надёжности обнаружения реальных возгораний.

Заключение

Обобщая результаты, можно утверждать, что частота ложных срабатываний определяется электромагнитными помехами, нарушениями монтажа извещателей и отсутствием систематического обслуживания.

Первая задача, связанная с установлением причин ложных тревог, решена через сопоставление информации о влиянии вибраций, грозовых разрядов и ошибочных настроек пороговых параметров.

Вторая задача, подразумевающая изучение недоработок при установке датчиков и их сервисном сопровождении, выполнена на основании сведений, подтверждающих требование тщательной калибровки и регулярной оценки технического состояния оборудования.

Третья задача, посвященная подготовке рекомендаций для оптимизации организационной структуры пожарной защиты и технических решений, реализована путём рассмотрения адресных систем, модернизированных беспроводных комплексов и совершенствования процедур контроля.

Применение указанных мер снижает риск ошибочных обращений и повышает эффективность пожарной сигнализации на объектах нефтегазовой промышленности, формируя надёжную основу для предупреждения аварийных ситуаций и сохранения человеческих жизней.

Список литературы

1. Александрова В. Е. Обеспечение пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса // E-Scio. 2023. №3 (78). С. 52–58.
2. Андрианов Я. Система противопожарной защиты для предприятий нефтегазовой промышленности // Control Engineering Россия. 2022. № 1 (97). С. 16–18.
3. Бутко В. С. Беспроводная система пожарного мониторинга критически важных объектов нефтегазовой отрасли // Пожары и ЧС. 2021. №1. С. 25–30.
4. Глушко В. С., Синещук Ю. И. Методика интеграции пожарных извещателей в систему мониторинга окружающей среды объектов нефтегазового комплекса // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2014. № 1. С. 30–36.
5. Горячева М. О., Актерский Ю. Е., Минкин Д. Ю. Анализ проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. №4 (64). С. 55–61.
6. Иванков Д. С., Сметанкина Г. И., Жердев А. В. Специфика обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли // Экономика и социум. 2019. № 2 (57). С. 88–94.
7. Аюпова А. И., Рахматуллина Э. Ф. Интеллектуальные алгоритмы в извещателях и системах пожарной сигнализации // Актуальные проблемы и тенденции развития современной информатики и экономики: материалы II Международной научно-практической конференции. Часть III. Бирск: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 76–79.
8. Масагутов Д. М., Мухаметзянов А. Л., Рахматуллина Э. Ф. Искусственный интеллект в пожарной безопасности // Научный форум: инновационная наука: сборник статей по материалам LXXIX международной научно-практической конференции. М.: ООО «Международный центр науки и образования», 2024. С. 5–8.
9. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Исследование ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей // Сборник материалов 75-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2024. С. 82.
10. Пасечник Д. А. Системы автоматического пожаротушения как фактор снижения пожарного риска объектов нефтегазового комплекса // Научный Лидер. 2021. № 19 (21). С. 32–36.
11. Аглямова Я. Н., Рахматуллина Э. Ф. Программные продукты для отработки ложных срабатываний пожарной сигнализации // Актуальные проблемы и тенденции развития современной информатики и экономики: материалы Международной научно-практической конференции. Бирск: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 39–41.
12. Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2024. № 5. С. 85–96. DOI: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96>.
13. Прогнозирование временных рядов на основе методов машинного обучения в вопросах обеспечения природной и техносферной безопасности / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 1 (20). С. 75–83. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.013. EDN: CIGWEG.
14. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Исследование ложных срабатываний автоматических установок пожарной сигнализации на объектах с массовым пребыванием людей // Материалы 75-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2024. С. 82.
15. Рахматуллина Э. Ф., Пермьяков А. В. Прогнозирование площади загрязнения при авариях на трубопроводах, произошедших в результате коррозии // Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию горно-нефтяного факультета УГНТУ и 100-летию ученого Спивака Александра Ивановича: сборник материалов. Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2023. С. 266.
16. Прогнозирование значений пожарного риска с помощью машинного обучения и анализа временных рядов / Э. Ф. Рахматуллина, А. В. Пермьяков, И. Ф. Хафизов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2024. № 5. С. 6–20.
17. Шихалев Д. В. Проблемы управления системой обеспечения пожарной безопасности объекта. Часть 2. Методы мониторинга // Проблемы управления. 2022. №2. С. 41–47.
18. Шихалев Д. В. Управленческий аспект в функционировании системы обеспечения пожарной безопасности объекта // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (39). С. 66–72.
19. Юртаев С. В. Проблемы эксплуатации существующих пожарных извещателей и анализ инновационных пожарных извещателей // Вестник науки. 2022. № 2 (47). С. 45–50.

References

1. Aleksandrova V. E. Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti na ob»ektakh neftegazovogo kompleksa [Ensuring fire safety at facilities of the oil and gas complex]. *E-Scio*, 2023, vol. 3 (78), pp. 52–58.
2. Andrianov Ya. S. Sistema protivopozharnoi zashchity dlya predpriyatii neftegazovoy promyshlennosti [Fire protection system for oil and gas industry enterprises]. *Control Engineering Rossiya*, 2022, vol. 1 (97), pp. 16–18.
3. Butko V. S. Besprovodnaya sistema pozharnogo monitoringa kriticheski vazhnykh ob»ektov neftegazovoy otrasli [Wireless fire monitoring system for critically important facilities of the oil and gas industry]. *Pozhary i ChS*, 2021, issue 1, pp. 25–30.
4. Glushko V. S., Sineshchuk Yu. I. Metodika integratsii pozharnykh izveshchateley v sistemu monitoringa okruzhayushchey sredy ob»ektov neftegazovogo kompleksa [Methodology of integrating fire detectors into environmental monitoring system of oil and gas complex facilities]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii*, 2014, issue 1, pp. 30–36.
5. Goryacheva M. O., Akterskiy Yu. E., Minkin D. Yu. Analiz problemy snizheniya pozharnogo riska na ob»ektakh vodorodnoy energetiki i neftegazovogo kompleksa [Analysis of reducing fire risk at hydrogen energy and oil and gas complex facilities]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2022, vol. 4 (64), pp. 55–61.
6. Ivankov D. S., Smetankina G. I., Zherdev A. V. Spetsifika obespecheniya pozharnoy bezopasnosti na predpriyatiyakh neftegazovoy otrasli [Specific features of ensuring fire safety at oil and gas industry enterprises]. *Ekonomika i sotsium*, 2019, vol. 2 (57), pp. 88–94.
7. Ayupova A. I., Rakhmatullina E. F. Intellektual'nyye algoritmy v izveshchatel'yakh i sistemakh pozharnoy signalizatsii [Intelligent algorithms in detectors and fire alarm systems]. *Aktual'nyye problemy i tendentsii razvitiya sovremennoy informatiki i ekonomiki: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Chast' III. Birk: Ufimskiy universitet nauki i tekhnologii, 2024, pp. 76–79.
8. Masagutov D. M., Muhametzânov A. L., Rakhmatullina É. F. Iskusstvennyy intellekt v pozharnoy bezopasnosti [Artificial intelligence in fire safety]. *Nauchnyy forum: innovatsionnaya nauka: sbornik statey po materialam LXXIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: OOO «Mezhdunarodnyy tsentr nauki i obrazovaniya» 2024, pp. 5–8.
9. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Issledovaniye lozhnykh sbratyvaniy avtomaticheskikh ustanovok pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh massovogo prebivaniya lyudey [Study of false activations of automatic fire alarm systems at mass gathering facilities]. *Sbornik materialov 75-oy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh UGNTU*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskiiy universitet, 2024, p. 82.
10. Pasechnik D. A. Sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya kak faktor snizheniya pozharnogo riska ob»ektov neftegazovogo kompleksa [Automatic fire extinguishing systems as a factor in reducing fire risk at oil and gas complex facilities]. *Nauchnyy Lider*, 2021, vol. 19 (21), pp. 32–36.
11. Aglyamova Ya. N., Rakhmatullina E. F. Programmnyye produkty dlya otrabotki lozhnykh sbratyvaniy pozharnoy signalizatsii [Software tools for testing false alarms of fire alarm systems]. *Aktual'nyye problemy i tendentsii razvitiya sovremennoy informatiki i ekonomiki: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Birk: Ufimskiy universitet nauki i tekhnologii, 2024, pp. 39–41.
12. Analiz lozhnykh sbratyvaniy sistem pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh massovogo prebivaniya lyudey v period s 2021 po 2023 god [Analysis of false activations of fire alarm systems at mass gathering facilities during 2021–2023] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Neftegazovoye delo*, 2024, issue 5, pp. 85–96. DOI: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96>.
13. Prognozirovaniye vremennykh ryadov na osnove metodov mashinnogo obucheniya v voprosakh obespecheniya prirodnoy i tekhnosfernoy bezopasnosti [Forecasting time series based on machine learning methods in ensuring natural and technosphere safety] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Sibirskiy pozharno-spatel'nyy vestnik*, 2021, vol. 1 (20), pp. 75–83, DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.013, EDN: CIGWEG.
14. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Issledovaniye lozhnykh sbratyvaniy avtomaticheskikh ustanovok pozharnoy signalizatsii na ob»ektakh s massovym prebivaniem lyudey [Study of false alarms of automatic fire alarm installations at facilities with mass gathering of people]. *Materialy 75-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh UGNTU*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskiiy universitet, 2024, p. 82.
15. Rakhmatullina E. F., Permyakov A. V. Prognozirovaniye ploshchadi zagryazneniya pri avariakh na truboprovodakh, proizoshchikh v rezul'tate korrozii [Forecasting contamination area in pipeline accidents caused by corrosion]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 75-letiyu gorno-neftyanogo fakul'teta UGNTU i 100-letiyu uchenogo Spivaka*

Aleksandra Ivanovicha: sbornik materialov. Ufa: UNPTS «Izd-vo UGNTU», 2023, p. 266.

16. Prognostirovanie znacheniy pozharnogo riska s pomoshch'yu mashinnogo obucheniya i analiza vremennykh ryadov [Forecasting fire risk values using machine learning and time series analysis] / E. F. Rakhmatullina, A. V. Permyakov, I. F. Khafizov [et al.]. *Neftegazovoye delo*, 2024, issue 5, pp. 6–20.

17. Shikhalev D. V. Problemy upravleniya sistemoy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob»ekta. Chast' 2. Metody monitoringa [Issues of managing a facility's fire safety system. Part 2.

Monitoring methods]. *Problemy upravleniya*, 2022, issue 2, pp. 41–47.

18. Shikhalev D. V. Upravlencheskiy aspekt v funktsionirovanii sistemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob»ekta [Managerial aspect in functioning of a facility's fire safety system]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2021, vol. 2 (39), pp. 66–72.

19. Yurtaev S. V. Problemy ekspluatatsii sushchestvuyushchikh pozharnykh izveshchateley i analiz innovatsionnykh pozharnykh izveshchateley [Issues of operation of existing fire detectors and analysis of innovative fire detectors]. *Vestnik nauki*, 2022, vol. 2 (47), pp. 45–50.

Рахматуллина Элина Фанисовна

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
аспирант кафедры «Пожарная безопасность», старший преподаватель кафедры математики
e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Rakhmatullina Elina Fanisovna

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Postgraduate student of Fire and Industrial Safety Department, Senior Lecturer of Information Technology and Applied Mathematics

e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Пермяков Арсений Владимирович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»
e-mail: senya2512@yandex.ru

Permyakov Arseniy Vladimirovich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: senya2512@yandex.ru

Хафизов Ильдар Фанилевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Khafizov Ildar Fanilevich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Хафизов Фаниль Шамильевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»,
e-mail: fanil150656@mail.ru

Khafizov Fanil Shamilevich

Ufa State Petroleum Technological University,
Russian Federation, Ufa

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department

e-mail: fanil150656@mail.ru

УДК 614.842:847

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

¹Р. В. ХАЛИКОВ, ²В. М. КЛИМЦОВ, ²А. А-Б. ГАПЛАЕВ, ³Ю. Н. КОВАЛЬ, ⁴Б. Б. ГРИНЧЕНКО

¹Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Российская Федерация, г. Москва

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

³Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Железногорск

⁴Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: vokilah@rambler.ru, wmk2911@mail.ru, 95ch.r@mail.ru,
a_yulya@inbox.ru, grinchenko.borya@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы эффективности применения беспилотной летательной авиации при тушении пожаров в высотных зданиях в сравнении с традиционной пожарно-спасательной техникой. Актуальность исследования обусловлена возрастающей необходимостью обеспечения пожарной безопасности высотной застройки. Целью работы является сравнительный анализ возможностей и эффективности использования беспилотной летательной авиации и классической пожарной техники для тушения пожаров на высотных объектах. В ходе исследования проведен анализ существующих методов пожаротушения, определены основные требования к беспилотным системам и традиционной технике для выполнения задач по тушению пожаров. Результаты исследования показали существенные преимущества использования беспилотных систем при тушении пожаров в высотных зданиях по сравнению с классической техникой: возможность оперативного маневрирования, меньший вес и габариты, более высокая точность подачи огнетушащих веществ. Определены основные факторы, влияющие на эффективность применения беспилотной летательной авиации, и разработаны рекомендации по их практическому использованию в комплексе с традиционной пожарной техникой. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов пожаротушения и совершенствовании систем обеспечения пожарной безопасности высотных зданий с учетом комплексного применения различных технических средств.

Ключевые слова: пожар, беспилотные летательные системы, высотные здания, пожаротушение, моделирование, высокодисперсные системы.

EFFECTIVENESS STUDY AND USE OF UAVS FOR FIRE EXTINGUISHMENT IN HIGH-RISE BUILDINGS HIGH-RISE BUILDINGS

¹R. V. KHALIKOV, ²V. M. KLIMTSOV, ²A. A-B. GAPLAEV, ³Y. N. KOVAL, ⁴B. B. GRINCHENKO

¹Financial University under the Government of the Russian Federation,
Russian Federation, Moscow

²A Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences
of Natural Disasters

Russian Federation, Moscow
Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk

E-mail: vokilah@rambler.ru, wmk2911@mail.ru, 95ch.r@mail.ru,
a_yulya@inbox.ru, grinchenko.borya@mail.ru

The article examines the effectiveness of using unmanned aerial vehicles in extinguishing fires in high-rise buildings compared to traditional fire and rescue equipment. The relevance of the research is due to the growing need to ensure fire safety in high-rise buildings. The aim of the work is to conduct a comparative analysis of the capabilities and effectiveness of using unmanned aerial vehicles and classical firefighting equipment for extinguishing fires in high-rise buildings.

During the research, an analysis of existing fire extinguishing methods was carried out, and the main requirements for unmanned systems and traditional equipment to perform fire extinguishing tasks were determined. The research results showed significant advantages of using unmanned systems in extinguishing fires in high-rise buildings compared to classical equipment: the ability to maneuver quickly, lighter weight and smaller dimensions, higher accuracy in delivering fire extinguishing agents. The main factors affecting the effectiveness of using unmanned aerial vehicles were identified, and recommendations for their practical use in conjunction with traditional firefighting equipment were developed. The obtained data can be used in developing new fire extinguishing methods and improving fire safety systems for high-rise buildings, taking into account the integrated use of various technical means.

Keywords: fire, unmanned aerial systems, high-rise buildings, fire extinguishing, modeling, highly dispersed systems

Введение

Тушение пожаров в высотных зданиях – междисциплинарная проблема, требующая синтеза знаний в области теплофизики, механики и кризисного управления. Из-за вертикальной архитектуры и сочетания сложных коммуникационных систем, высотные здания относятся к объектам повышенного риска. Перепад температур между нижними и верхними этажами генерирует тягу, ускоряющую распространение дыма и пламени через шахты лифтов, вентиляционные и фасадные системы, пустоты в строительных конструкциях. Это приводит к стратифицированному заполнению здания токсичными продуктами сгорания, что снижает видимость и затрудняет эвакуацию [1-4]. Высокая плотность горючих материалов провоцирует появление объемных вспышек, при которых происходит одновременное воспламенение поверхностей. Данное явление может повышать температуру, что в свою очередь приводит к снижению несущей способности стальных каркасов [5].

Анализ сложности тушения высотных зданий с использованием расчетной методики

Таким образом, объективно можно предположить, что тушение пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданий является достаточно сложной задачей. Критерий

сложности тушения может включать несколько способов оценки, однако в рамках текущего исследования авторами был выбран фактор времени. Анализ открытых баз по пожарам показал, что данных недостаточно для установления зависимости времени тушения пожаров от этажности здания. Для решения данной задачи авторами предлагается использовать расчетный способ. Для проведения расчета введем следующие допущения:

1. Площадь квартир 30 м² [6], на момент установки разветвления перед входом в подъезд горение происходит по всей площади, при этом будем принимать время боевого развертывания 1 мин/этаж;

2. Линейная скорость распространения пожара 0,5 м/с [7], с учетом средней ширины квартир 5 м [6], скорость распространения пожара по площади будет составлять 2,5 м²/с, при достижении площади кратной 30 будем считать моментом загорания вышележащего этажа.

Проведем расчёты для вариантов расположения очага пожара на 10, 15 и 20 этажах, результаты сведём в таблицу 1. При этом в таблице обозначим этаж пожара X, а пожар на вышележащем и последующих этажах как: X+1, X+2, и т.д.

На основе табл. 1 составим зависимость динамики пожара от этажа расположения (рис. 1).

Таблица 1. Расчеты для вариантов расположения очага пожара

№ п/п	Этаж очага пожара (X)	Промежуток времени от начала тушения квартиры на этаже X до полного охвата пламенем квартиры на этаже X+1, мин	Промежуток времени от начала тушения квартиры на этаже X до полного охвата пламенем квартиры на этаже X+2, мин	Промежуток времени от начала тушения квартиры на этаже X до полного охвата пламенем квартиры на этаже X+3, мин
1.	10	2	11	33
2.	15	0	8	21
3.	20	0	4	16

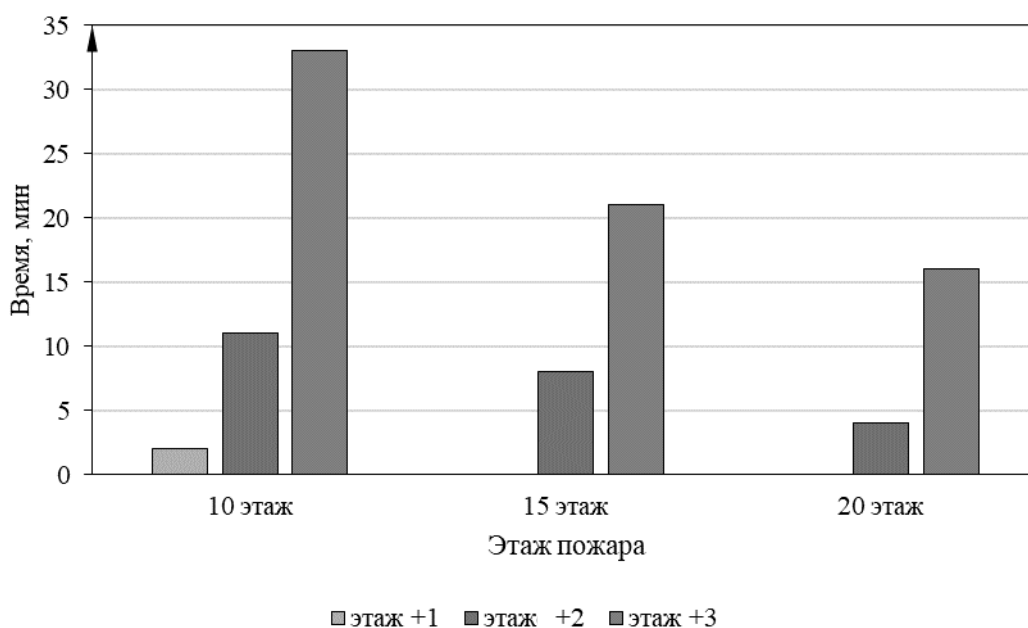


Рис. 1. Зависимость динамики пожара от этажа расположения

Проанализируем гистограмму рис. 1, при расположении очага на 10 этаже. Пожар перейдет на 11 этаж через 2 минуты, на 12 через 11 минут, на 13 через 33 минуты соответственно с момента начала тушения. Очевидно, что спустя 15 минут первое подразделение уже ликвидирует возгорание и не допустит возгорания на 13 этаже. Рассмотрим вариант расположения очага на 20 этаже, возгорание на 22 и 23 произойдет через 4 и 16 минут соответственно с момента начала тушения пожара на 20 этаже. То есть, квартира на 21 этаже уже будет полностью охвачена огнем к моменту начала тушения

на 20 этаже. В данном случае, как и в случае расположения очага на 15 этаже теоретически пожар сразу будет 3-х квартирах, поэтому для данных вариантов расположения очагов, несомненно, необходимо прибытие сил и средств по повышенному номеру вызова и применение высотной техники с возможностью подачи огнетушащих составов. Несложно произвести расчеты с учетом средней высоты этажа 2,7 метра [6], высота 15 этажа будет составлять около 40 метров. Для достижения данной высоты необходимы подъемные механизмы типа АЛ-42, АЛ-50, АЛ-52, АКП-50 и т.д. (рис. 2).



а) АЛ-52



б) АКП-50

Рис. 2. Образцы высотной техники

Длина некоторых образцов АЛ-52 и АКП-50 может превышать 12 м, а ширина более 2,5 м, что создает трудности при движении и маневрировании в городском транспортном потоке. Опыт практического применения

пожарных автолестниц высотой более 32 метров показал, что данные образцы техники в 90 % случаев пожаров не могут заехать во дворы по причине своих габаритов, плотной застройки и плотно припаркованных автомо-

билей. В случае въезда данной техники во дворы для установки и работы на полную высоту необходимо не менее 25 м² свободного пространства. Время разворачивания опорного контура и полного выдвижения лестницы составляет около 5–6 минут для зарубежных образцов и 7–8 минут для отечественных [8]. С учетом данных факторов время с момента прибытия на место до момента установки может превышать 25 минут. Одним из способов подачи огнетушащих веществ возможно с помощью высотной техники по сухотрубам к лафетному стволу. Однако, на подавляющем большинстве высотной техники для использования лафетного ствола необходима его предварительная установка, что тоже требует дополнительно от 2 до 4 минут, а также излишне пролитая вода способна нанести значительный материальный ущерб зданию. Кроме того, на успешную установку высотной техники влияет ветровая нагрузка (по требованиям охраны труда при скорости ветра более 10 м/с запрещается использование высотной техники). Европейские образцы техники при скорости ветра более 10 м/с блокируются и не позволяют оператору производить манипуляции. Отечественные образцы не имеют блокировки, поэтому при усилении скорости ветра более 10 м/с данная техника может опрокинуться.

Резюмируя вышеприведенный анализ можно сделать вывод, что для эффективного тушения пожаров выше 10 этажа необходимо осуществлять подачу огнетушащих веществ со стороны фасада здания для недопущения распространения пожара на вышележащие этажи здания. Однако высотная техника, которая позволяет решить данную задачу, в подавляющем большинстве случаев не может быть применена в силу объективных факторов. Таким образом необходимо решить проблему оперативной подачи огнетушащих веществ по фасаду здания на высоту более 40 метров.

Способ тушения пожаров в зданиях повышенной этажности с использованием беспилотной летательной авиации

Согласно проведенному анализу литературы [9–18], было установлено, что для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности можно применять беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА). Для решения данной проблемы в рамках данного исследования предлагается применение БПЛА с пожарно-техническими доработками. В качестве основы для монтажа пожарно-технического оборудования предлагается применение БПЛА S-700 Cargo или аналогов (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид БПЛА модели S-700 Cargo¹

¹ Технические характеристики беспилотного летательного аппарата S-700 // TB-Drone: официальный сайт. URL: <https://tb-drone.ru/developments/s-700/> (дата обращения: 24.03.2025).

Модель БПЛА, представленную на рис. 3, предлагается оснастить ручным пожарным стволом с расходом не более 5 л/с и дистанционным управлением для подачи огнетушащих веществ на фасад зданий. Подача огнетушащих веществ будет осуществляться по рукавам высокого давления от мобильной пожарной техники. Дополнительно предлагается оснастить БПЛА выдвижной телескопической штангой для вскрытия остекления оконных проемов и турбинным гидроэлектрическим генератором энергии для частичного использования энергии, подаваемой огнетушащей среды, для поддержания заряда аккумулятора. Перевозка БПЛА будет осуществляться на автомобилях с грузоподъемностью до 3,5 тонн, что обеспечит маневренность движения в плотном городском трафике, а также свободный проезд во дворах. Развёртывание данного комплекса не требует специальных площадок, поэтому время развёртывания не превышает 5–10 минут. Более того сам БПЛА-комплекс не будет привязан к конкретной точке и может оперативно перемещаться вокруг объекта. По прибытии на место также возможно будет использовать БПЛА-комплексы меньшего размера для оперативной разведки и БПЛА-камикадзе с небольшим запасом огнетушащих веществ для локального тушения пожара, время развёртывания данных комплексов не будет превышать 2 минут, а значит будет вероятность того, что удастся не только локализовать возгорание, но и полностью ликвидировать его.

Список литературы

1. Клоуз Дж. Х., Дрисколл Д. Д. Пожарная динамика: Теплофизические основы горения и распространения огня. – М.: Стройиздат, 2018. – 456 с.
2. Шалявин Д. Н., Тараканов Д. В., Гринченко Б. Б. Алгоритм информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 53–61. EDN: FEWEUY.
3. Смирнов В. А., Петров А. Н. Моделирование стратификации дыма в высотных зданиях при пожаре // Пожарная безопасность: проблемы и решения. 2020. № 4. С. 34–47. DOI: 10.1234/5678.
4. Чен Л., Ван Х. Управление эвакуацией в высотных зданиях: методы кризисного реагирования. – СПб.: Политехника, 2019. – 320 с.

Результаты и выводы

В текущих условиях основными преимуществами тушения высотных зданий БПЛА в сравнении с высотной техникой будут:

- уменьшение времени с момента возникновения пожара до момента подачи первого ствола не менее чем в 2 раза (величина данного показателя будет зависеть от этажности, чем выше будет высота объекта тушения, тем больше будет конкурентное преимущество БПЛА);
- возможность отслеживания динамики тушения пожара в реальное время благодаря наличию видеокамер высокой четкости в комплексе БПЛА (данное преимущество позволит оперативно оценивать обстановку на месте тушения пожара и принимать правильные решения);
- возможность управления БПЛА-комплексом искусственным интеллектом, без участия человека (при оснащении соответствующим оборудованием, возможно внедрение искусственного интеллекта в управление данным комплексом, фактически можно достичь того, что тушение пожаров данных объектов будет происходить с минимальным участием человека).

Исходя из представленного анализа можно сделать вывод, что применение БПЛА для тушения высотных зданий позволит существенно сократить время начала подачи огнетушащих веществ, что позволит локализовать и ликвидировать пожар быстрее, сохранить человеческие жизни, уменьшить прямой и косвенный ущерб от пожара.

5. ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires. Part 1: General. Geneva: ISO, 2015. 28 p.
6. Четвериков В. М., Чурбанов Р. Р. Сравнительный статистический анализ изменения средних цен предложения жилья в административных округах г. Москвы // Вопросы статистики. 2024. Т. 31, № 5. С. 41–56. DOI: 10.34023/2313-6383-2024-31-5-41-56. EDN: STFORH.
7. Корнилов А. А., Бородин А. А. Оценка времени срабатывания максимально-дифференциального теплового пожарного извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры на начальной стадии пожара твердых горючих материалов // Техносферная безопасность. 2023. № 4 (41). С. 90–104. EDN: IEXHPG.
8. Техничко-экономическая эффективность применения робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения в ЧС / Е. В. Павлов, А. Ю. Баранник, А. В. Лагутина [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. № 2 (232). С. 42–53. DOI: 10.18522/2311-3103-2023-2-42-53. EDN: KKFBR1.

9. Целесообразность применения беспилотных авиационных систем при тушении пожаров и ликвидации аварий на объектах защиты / А. А. Карапузиков, М. В. Дьяков, А. С. Горелик [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 2 (31). С. 61–67.

10. Микушкин О. В., Багажков И. В. Особенности применение беспилотных летательных аппаратов при проведении аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 73–77.

11. Применение беспилотных летательных аппаратов при разведке труднодоступных и масштабных зон чрезвычайных ситуаций / И. М. Янников, П. М. Фомин, Т. Г. Габричидзе [и др.] // Вектор науки ТГУ. 2012. № 3 (21). С. 49–53.

12. Картеничев А. Ю., Панфилова Е. В. Технологии тушения пожаров с использованием беспилотных летательных аппаратов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. С. 149.

13. Буянов А. Н. Беспилотные летательные аппараты в системе обеспечения пожарной безопасности // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 2. С. 42–47.

14. Bermudez L. E., Lloret J. M. Unmanned Aerial Systems for Wildfire Monitoring and Suppression: A Review. *Drones*, 2020, vol. 4, issue 4, p. 98.

15. Silva C. F. D., Oliveira P. M. L. M., Lemos J. M. Integration of UAVs in Wildland Fire-fighting Operations: A Review of Current Technologies and Future Trends. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, issue 12, p. 2345.

16. Korpela T., Honkavaara M., Hakala T. Fire Monitoring with Unmanned Aerial Vehicles: A Review of Sensor Technologies and Data Processing Methods. *Remote Sensing*, 2019, vol. 11, issue 19, p. 2234.

17. Wang Y., Li X., Zhang Z. Development of an Unmanned Aerial Vehicle System for Firefighting Applications. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2020, vol. 97, pp. 453–468.

18. European Emergency Number Association (EENA). *Drones for Public Safety: A Practical Guide for First Responders*. Brussels: EENA, 2021. 128 p.

References

1. Klouz Dzh. Kh., Driskoll D. D. *Pozharnaya dinamika: Teplofizicheskiye osnovy goreniya i rasprostraneniya ognya* [Fire Dynamics: Thermophysical Principles of Combustion and Fire Spread]. – Moscow: Stroyizdat, 2018. – 456 p.

2. Shalyavin D. N., Tarakanov D.V., Grinchenko B. B. Algoritm informatsionnoy podderzhki upravleniya bezopasnost'yu uchastnikov tusheniya pozhara pri rabote v neprigodnoy dlya dykhaniya srede na ob'yektakh energetiki [Algorithm of information support for safety management of fire extinguishing participants when working in an environment unsuitable for breathing at energy facilities]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 53–61. EDN: FEWEUY.

3. Smirnov V. A., Petrov A. N. Modelirovaniye stratifikatsii dyma v vysotnykh zdaniyakh pri pozhare [Modeling smoke stratification in high-rise buildings during a fire]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i resheniya*, 2020, vol. 4., pp. 34–47. DOI: 10.1234/5678.

4. Chen L., Van Kh. *Upravleniye evakuatsiyey v vysotnykh zdaniyakh: metody kriznogo reagirovaniya* [Evacuation management in high-rise buildings: crisis response methods.]. – SPb.: Politehnika, 2019. – 320 p.

5. ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires. Part 1: General. Geneva: ISO, 2015. 28 p.

6. Chetverikov V. M., Churbanov R. R. Sravnitel'nyy statisticheskiy analiz izmeneniya srednikh tsen predlozheniya zhil'ya v administrativnykh okrugakh g. Moskvy [Comparative statistical analysis of changes in average asking prices for housing in the administrative districts of Moscow]. *Voprosy statistiki*, 2024, issue 31, vol 5, pp. 41–56. DOI: 10.34023/2313-6383-2024-31-5-41-56. EDN: STFOPH.

7. Kornilov A. A., Borodin A. A. Otsenka vremeni srabyvaniya maksimal'no-differentsial'nogo teplovogo pozharnogo izveshchatelya s adaptivnym algoritmom analiza temperatury na nachal'noy stadii pozhara tverdykh goryuchikh materialov [Evaluation of the response time of a maximum-differential thermal fire alarm with an adaptive algorithm for temperature analysis at the initial stage of a fire of solid combustible materials]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2023, vol. 4 (41), pp. 90–104. EDN: IEXHPG.

8. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya robototekhnicheskogo kompleksa mnogorezhimnogo pozhartusheniya v CHS [Technical and economic efficiency of using a robotic complex for multi-mode fire extinguishing in emergency situations] / Ye. V. Pavlov, A. Yu. Barannik, A.V. Lagutina [et al.]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki*, 2023, vol. 2 (232), pp. 42–53. DOI: 10.18522/2311-3103-2023-2-42-53. EDN: KKFBRI.

9. Tselesoobraznost' primeneniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem pri tushenii pozharov i likvidatsii avariyn na ob'yektakh zashchity [Feasibility of using unmanned aircraft systems in extinguishing fires and eliminating accidents at protected facilities] / A. A. Karapuzikov, M. V. D'yakov,

A. S. Gorelik [et al.]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2021, vol 2 (31), pp. 61–67.

10. Mikushkin O. V., Bagazhkov I. V. Oso-bennosti primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri provedenii avariyno-spasatel'nykh rabot, svyazannykh s tusheniyem pozharov [Features of the use of unmanned aerial vehicles in emergency rescue operations related to fire extinguishing]. *Aktual'nyye voprosy pozharotusheniya: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2019, pp. 73–77.

11. Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri razvedke trudnodostupnykh i masshtabnykh zon chrezvychaynykh situatsiy [Use of unmanned aerial vehicles in reconnaissance of hard-to-reach and large-scale emergency zones] / I. M. Yannikov, P. M. Fomin, T. G. Gabrichidze [et al.]. *Vektor nauki TGU*, 2012, vol. 3 (21), pp. 49–53.

12. Kartenichev A. Yu., Panfilova Ye. V. Tekhnologii tusheniya pozharov s ispol'zovaniyem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Fire extinguishing technologies using unmanned aerial vehicles]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2019, p. 149.

13. Buyanov A. N. Bespilotnyye letatel'nyye apparaty v sisteme obespecheniya pozharoy bezopasnosti [Unmanned aerial vehicles in the fire safety system]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, 2020, issue 17, vol 2., pp. 42–47.

14. Bermudez L. E., Lloret J. M. Unmanned Aerial Systems for Wildfire Monitoring and Suppression: A Review. *Drones*, 2020, vol. 4, issue 4, p. 98.

15. Silva C. F. D., Oliveira P. M. L. M., Lemos J. M. Integration of UAVs in Wildland Firefighting Operations: A Review of Current Technologies and Future Trends. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, issue 12, p. 2345.

16. Korpela T., Honkavaara M., Hakala T. Fire Monitoring with Unmanned Aerial Vehicles: A Review of Sensor Technologies and Data Processing Methods. *Remote Sensing*, 2019, vol. 11, issue 19, p. 2234.

17. Wang Y., Li X., Zhang Z. Development of an Unmanned Aerial Vehicle System for Firefighting Applications. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2020, vol. 97, pp. 453–468.

18. European Emergency Number Association (EENA). *Drones for Public Safety: A Practical Guide for First Responders*. Brussels: EENA, 2021. 128 p.

Халиков Ринат Валерьевич

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,

Российская Федерация, г. Москва

Доцент, кандидат технических наук

E-mail: vokilah@rambler.ru

Khalikov Rinat Valerevich

Financial University under the Government of the Russian Federation,

Russian Federation, Moscow

Associate professor, candidate of technical sciences

E-mail: vokilah@rambler.ru

Климовцов Василий Михайлович

Академия государственной противопожарной службы,

Российская Федерация, г. Москва

Начальник учебно-научного комплекса, кандидат технических наук, доцент

E-mail: wmk2911@mail.ru

Klimovtsov Vasily Mikhailovich

Academy of the State Fire Service,

Russian Federation, Moscow

Head of the training and research complex, candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: wmk2911@mail.ru

Гаплаев Азиз Ахмед-Беширович

Академия государственной противопожарной службы,

Российская Федерация, г. Москва

Доцент, кандидат технических наук

E-mail: 95ch.r@mail.ru

Gaplayev Aziz Akhmed-Beshirovich

Academy of the State Fire Service,
Russian Federation, Moscow
Associate professor, candidate of technical sciences
E-mail: 95ch.r@mail.ru

Коваль Юлия Николаевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Железногорск
Заведующая кафедрой, кандидат биологических наук, доцент
E-mail: a_yulya@inbox.ru
Koval Yulia Nikolaevna
Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Head of department, candidate of biological sciences, associate professor
E-mail: a_yulya@inbox.ru

Гринченко Борис Борисович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Доцент, кандидат технических наук
E-mail: grinchenko.borya@mail.ru
Grinchenko Boris Borisovich
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Associate professor, candidate of technical sciences
E-mail: grinchenko.borya@mail.ru

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)**

УДК 691.327.32

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА, СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
И УЧЕТА ЭНДО- И ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ
В ПРОЦЕССАХ СУШКИ БЛОКОВ АРБОЛИТА-СЫРЦА**

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ^{2,3}, М. А. КОРИНЧУК², И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, m1na47-74@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru

В статье рассмотрены физико-химические закономерности тепломассопереноса, структурообразования и термических эффектов в процессе сушки арболитовых блоков-сырца. Арболит представлен как многофазный капиллярно-пористый композит, сочетающий цементную матрицу и органический растительный наполнитель. Обоснована необходимость учёта экзо- и эндотермических эффектов (гидратации цемента и испарения влаги) в расчетах, поскольку они существенно влияют на температурно-влажностное состояние материала, его прочностные характеристики и внутренние напряжения. Приведена математическая модель, основанная на системе уравнений А. В. Лыкова, описывающая нестационарный тепло- и влагоперенос в теле блока с учётом фазовых превращений и тепловыделения. Для численно-аналитического решения предложено использовать метод микропроцессов, позволяющий имитировать реальную кинетику сушки с переменными граничными условиями. Установлено, что особенности структурообразования при сушке зависят от схемы теплообмена и распределения влажностного содержания в объёме материала. Обозначены направления дальнейших исследований, включая учёт анизотропии, реологических свойств наполнителя и создание цифрового двойника арболитового блока для управления технологическим процессом сушки.

Ключевые слова: арболит, структурообразование, тепломассоперенос, капиллярно-пористая структура, экзотермические и эндотермические эффекты, математическое моделирование, метод микропроцессов, органический наполнитель, энергоэффективное строительство.

**PATTERNS OF PHYSICO-CHEMICAL PHENOMENA OF HEAT
AND MASS TRANSFER, STRUCTURE FORMATION,
AND CONSIDERATION OF ENDOTHERMIC AND EXOTHERMIC EFFECTS
IN THE DRYING OF RAW ARBOLITE BLOCKS**

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, M. A. KORINCHUK², I. A. KRASILNIKOVA⁴

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo,
Russian Federation

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,

Russian Federation, Moscow

⁴ Vladimir State University,

Russian Federation, Vladimir

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, m1na47-74@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru

The article discusses the physico-chemical patterns of heat and mass transfer, structure formation and thermal effects during the drying of raw arbolite blocks. Arbolite is presented as a multiphase capillary-porous composite combining a cement matrix and an organic plant filler. The necessity of taking into account exothermic and endothermic effects (cement hydration and moisture evaporation) in calculations is substantiated, since they significantly affect the temperature and humidity state of the material, its strength characteristics and internal stresses. A mathematical model based on A. V. Lykov's system of equations is presented, describing unsteady heat and moisture transfer in the body of the block, taking into account phase transformations and heat release. For the numerical and analytical solution, it is proposed to use the microprocess method, which allows simulating the real kinetics of drying with variable boundary conditions. It is established that the features of structure formation during drying depend on the heat exchange scheme and the distribution of moisture content in the volume of the material. The directions of further research are outlined, including taking into account the anisotropy, rheological properties of the filler and the creation of a digital twin of the arbolite block to control the drying process.

Keywords: arbolite, structure formation, heat and mass transfer, capillary-porous structure, exothermic and endothermic effects, mathematical modeling, microprocess method, organic filler, energy-efficient construction.

Введение

Арболит – это композитный материал с гетерогенной структурой, работающий как термоупругий биоактивный бетон, перспективный для применения в экологически ориентированных строительных системах. При его изготовлении в качестве крупного заполнителя используются органические растительные компоненты (древесная щепа, костра льна, рисовая солома и др.), а вяжущей основой служит цемент [1].

С научно-технической точки зрения, арболит представляет собой многофазную капиллярно-пористую систему, в которой взаимодействуют минеральная цементная матрица и органическая армирующая фракция. Материал обладает структурой с выраженной анизотропией, обусловленной ориентацией и свойствами растительного наполнителя, и характеризуется высокой пористостью (до 80–85 % по объему), что обеспечивает малый объемный вес (400–850 кг/м³) и высокую теплоизоляционную способность [2, 3].

Краткие характеристики арболита: матрица: (портландцемент не ниже марки М400); заполнитель (фракционированная древесная щепа длиной 5–25 мм); минерализация: проводится обработкой щепы солями кальция или алюминия (например, CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) с целью снижения сахаро- и лигниносодержащих компонентов, ингибирующих гидратацию цемента; добавки (применяются пластификаторы, ускорители твердения, гидрофобизаторы, противоморозные добавки и др.); теплопроводность: 0,07–0,17 Вт/(м·К); прочность при сжатии: до 1,5–3,5 МПа; класс пожарной безопасности: Г1–

Г2 (условно негорючий за счет минерализации древесины) [4, 5].

Арболит сочетает свойства бетона (прочность, влагостойкость) и дерева (низкая теплопроводность, упругость), что делает его пригодным для использования в энергоэффективном строительстве, особенно в малоэтажной застройке. В процессе твердения и эксплуатации материал сохраняет высокую диффузионную способность по водяным парам, что обеспечивает благоприятный микроклимат в помещениях.

С переходом к «зелёным» технологиям в строительстве внимание научного сообщества привлекают малоиспользуемые сельскохозяйственные и лесные отходы. Возможность повторного использования древесных отходов в составе строительных материалов делает арболит особенно актуальным для устойчивого развития и утилизации ресурсов. Введенные добавки-минерализаторы (сульфат алюминия, хлорид кальция, жидкое стекло и др.) подавляют вредное влияние органических веществ на гидратацию цемента и повышают прочность арболита.

Производство арболита – технологически регламентированный процесс, сочетающий научные знания и достижения в области материаловедения, химии цемента, механики композитов и тепломассопереноса. Ключевыми технологическими узлами являются минерализация органического компонента, контроль влажности в процессе твердения и равномерная сушка, обеспечивающая минимальные внутренние напряжения и предотвращающая

растрескивание. При соблюдении технологического регламента арболит приобретает устойчивые прочностные и теплоизоляционные свойства, подходящие для энергоэффективного и экологичного домостроения.

Целью настоящей публикации является всесторонний анализ опубликованных научных работ по влиянию тепло- и влагопереноса, структурообразования и термических эффектов при сушке арболитовых блоков, подходы к ускорению твердения, идентификация влияющих факторов на свойства конечного изделия, что в совокупности необходимо для определения уравнений описывающих нестационарные процессы тепломассопереноса при сушке арболитовых блоков, решение которых позволит рационализировать производство изделий из арболита.

Методика и организация исследования

Ускорение твердения арболита – важная технологическая задача, особенно в условиях серийного производства строительных блоков. Твердение арболита обусловлено, прежде всего, гидратацией цемента, но его эффективность может снижаться из-за наличия в щепе сахаров, лигнинов и других веществ, тормозящих гидратацию. Поэтому ускорение связано как с химическими мерами, так и с тепловой обработкой.

Для ускорения твердения арболита оптимально сочетать предварительную минерализацию древесного заполнителя, добавление ускоряющих и пластифицирующих добавок и мягкую тепловую обработку (до 70 °C). Ключевым фактором является баланс между скоростью твердения и сохранением целостности органической фракции. При нарушении теплового режима возможны дефекты (растрескивание, усадка), поэтому выбор метода должен быть научно обоснован и верифицирован по прочностным характеристикам [6].

Процессы твердения арболита сопровождаются высушиванием блока с различной влажностью, что неизбежно влечет сложные взаимосвязанные физико-химические явления: тепло- и влагоперенос в капиллярно-пористом материале, структурообразование (изменение поровой структуры при усушке) и эндо- и экзотермические эффекты (испарение воды и гидратация цемента). Эти процессы протекают во взаимосвязанном режиме, определяющем конечные свойства материала.

В литературе отмечается, что технология сушки арболита мало изучена, а комплексное моделирование тепломассопереноса и структурообразования в таких композитах почти не разработано. При этом применение классических уравнений тепломассопереноса [7,8] и

методов, учитывающих изменяющиеся свойства материала, позволяют глубже понять механизм высыхания. В частности, автор [9] рассмотрел модели тепломассопереноса в двухфазных пористых системах и подчеркнул необходимость двухконтинуумных моделей при сложной пористой структуре. Соответственно, одним из важных направлений является разработка математической модели, описывающей нестационарный перенос влаги и тепла в блоке арболита при учете реальных граничных условий.

Помимо сложности математического описания указанных выше явлений, необходимо учесть и специфические особенности арболита. Так, древесный наполнитель при увлажнении и высушивании проявляет сильные объемные деформации и давление набухания, а также выраженную анизотропию и высокую упругость. Эти свойства, по данным [1], существенно влияют на структурообразование арболита: при сжатии смесь «запоминает» начальную форму волокон, что может приводить к появлению напряжений и снижению прочности. Кроме того, гидратация цемента в арболите имеет экзотермический характер: при взаимодействии с водой цемент выделяет тепло (примерно до 0,5 кДж/г), что может приводить к локальному разогреву блока. Напротив, испарение воды – эндотермический процесс (удельная теплота испарения воды при 100 °C около 2260 кДж/кг), требующий значительной затраты теплоты. Таким образом, в модели необходимо учесть взаимное влияние массо- и теплообмена и химических эффектов гидратации.

Экзо- и эндотермические эффекты играют ключевую роль в структурообразовании арболита, потому как определяют температурный режим внутри блока, скорость фазовых превращений, динамику усадки и напряженно-деформированное состояние материала. Учитывая то, что арболит – это многофазный композит, включающий минеральную и органическую части, любое изменение теплового баланса в процессе твердения влияет на микроструктуру и конечные свойства. Рассмотрим влияние процессов переноса тепла и влаги на структурообразование арболита.

Повышение температуры в объеме блока при сушке приводит к локальному ускорению гидратации → ускоренное формирование цементного камня, формируется гетерогенное поле прочности: ядро блока твердеет быстрее, чем его поверхность. Увеличению скорости структурообразования гидросиликатов кальция способствует раннее «замыкание» поровой структуры, особенно вблизи экзотермического пика (24–36 ч).

При неравномерном распределении тепла возникают температурные градиенты,

вызывающие внутренние напряжения и микро-трещины, особенно в переходной зоне между щепой и цементом. При резком нагреве – происходит расширение воды в порах, вызывающее дополнительное давление и деструкцию слабосвязанных участков.

При температурах более 60 °С возможен частичный термогидролиз гемицеллюлозы (при использовании в качестве заполнителя соломы, подсолнечной лузги, шелухи семян хлопчатника, кукурузы) или деформация волокон щепы, что ухудшает сцепление древесного наполнителя с цементной матрицей.

Испарение влаги с поверхности вызывает охлаждение наружных слоёв, тогда как внутреннее, остаются теплыми, это создает обратный температурный градиент, ведущий к замедлению твердения на поверхности. В зоне активного испарения (где температура падает) реакции гидратации цемента замедляются, что приводит к усадочным напряжениям. По мере удаления воды из капилляров возникает капиллярное давление (~10–50 кПа), также вызывающее усадку цементного камня.

Поля распределений влаги т.е. неравномерность влажности в объеме блока вызывает микроразрывы структуры и расслаивание щепы-матрица.

Описанные выше особенности структурообразования под действием эндо- и экзотермических эффектов в процессах сушки блоков арболита-сырца показывают необходимость теоретического моделирования процессов тепло-массопереноса в блоке с учетом возможных фазовых переходов. Для этого нами предложено использовать систему нелинейных дифференциальных уравнений диффузионного тепло- и влагопереноса с соответствующими граничными условиями [7, 8, 9]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_q \cdot \nabla^2 t + \varepsilon \cdot r \cdot \frac{c_m}{c_q} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a_m \cdot \nabla^2 \theta + a_m \cdot \delta_T \cdot \nabla^2 t; \quad (2)$$

$$-\lambda_q \cdot (\nabla t)_n + q_q(\tau) - (1 - \varepsilon) \cdot r \cdot q_m(\tau) = 0; \quad (3)$$

$$\lambda_m \cdot (\nabla \theta)_n + \lambda_m \cdot \delta_T \cdot (\nabla t)_n + q_m(\tau) = 0; \quad (4)$$

$$q_q(\tau) = \alpha_q \cdot (t_c - t_n); \quad (5)$$

$$q_m(\tau) = \alpha_m \cdot (\theta_n - \theta_c). \quad (6)$$

где: θ – потенциал переноса массы вещества (влаги); t – температура; τ – время; λ_q, λ_m – коэффициенты тепло- и массопроводности;

α_q, α_m – коэффициенты теплообмена и массообмена; a_q, a_m – коэффициенты температуро- и потенциалопроводности; δ_T – термоградиентный коэффициент, отнесенный к разности влагосодержаний; r – удельная теплота фазового перехода; ε – критерий фазового перехода; c_q – удельная теплоёмкость; c_m – удельная массоёмкость; λ_p – коэффициент молярного переноса; q_q – плотность потока тепла, q_m – плотность потока массы вещества.

Система уравнений (1) – (6) предложена академиком АН СССР А. В. Лыковым, она базируется на системе нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии влаги, с учетом источников тепла и фазовых переходов. Граничные условия отражают различные схемы отвода влаги на границах.

Уравнение нестационарной теплопроводности записано с источником тепла, учитывающим энтальпию испарения и экзотермию гидратации цемента.

Система таких уравнений была впервые получена и использована А. В. Лыковым и соавторами при описании процессов сушки капиллярно-пористых тел. Лыковым показано, что при низких тепловых потоках (температура ниже 50–70 °С) уравнения Лыкова адекватно описывают «мягкую» сушку, а при интенсивной сушке следует учитывать лавинообразное нарастание теплового потока. В настоящей работе эта система (классические уравнения Лыкова) используется в допущении нестационарности по времени и нелинейности коэффициентов. Как отмечено в работе [10], основная сложность решения состоит в сильной зависимости коэффициентов массопроводности и теплопроводности от текущей влажности и температуры.

В силу нелинейности уравнений аналитическая формулировка решения затруднена. Для их численного решения применён метод микропроцессов [11–14]. Суть метода заключается в разбиении всего процесса сушки на серию «микропроцессов» короткой продолжительности. На каждом шаге полагается, что физические свойства материала блока (массопроводность, теплопроводность, теплоемкость и т.д.) и внешние параметры (температура среды, коэффициенты тепло- и массоотдачи) остаются неизменными и равными средним по данному шагу значениям. Для каждого микропроцесса решаются линейные уравнения переноса, после чего обновляются поля распределений тепла и влаги, а также и физические параметры материала. Такой подход позволяет имитировать быстрое изменение условий с минимальными погрешностями, так как фактически расчетная модель «подстраивается» под реальную кинетику сушки. Академик РААСН С. В. Федосов [15] показал, что при малоизме-

няющихся значениях температур и влажностей аналитические решения хуже сходятся, и методы зонального деления и микропроцессов оказываются более эффективными. В частности, для микропроцесса можно использовать экспериментальную кинетическую кривую высушивания, что повышает точность расчета. Результаты расчетов, выполненные с использованием метода микропроцессов, демонстрируют, что структурное состояние и физико-механические свойства арболита напрямую зависят от выбора схемы теплообмена, а также от скорости изменения температурно-влажностных градиентов в объеме изделия. Правильно подобранный режим сушки способствует равномерному отверждению цементного камня, снижению усадочных напряжений и минимизации деформаций органической фракции.

Отметим, что дополнительно могут быть привлечены методы сетевого моделирования, позволяющие имитировать геометрию порового пространства и моделировать процессы влаго- и теплопереноса [17–21]. В ряде работ использовались методы термогравиметрического анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии и микроструктурного анализа для оценки степени гидратации цементного камня и взаимодействия его с органическими компонентами [22–28].

Результаты исследования и их обсуждение

Сушка арболитовых блоков представляет собой многостадийный процесс, включающий взаимосвязанные физико-химические явления: удаление влаги, гидратацию цемента, теплоперенос и формирование структуры [29–35].

На начальной стадии наблюдается интенсивное испарение свободной влаги, что сопровождается эндотермическим охлаждением поверхности. Одновременно продолжаются экзотермические реакции гидратации цемента, вызывающие локальный нагрев в объеме материала [36–40].

Сочетание этих разнонаправленных процессов приводит к образованию градиентов температуры и влажности, что может инициировать внутренние напряжения и дефекты структуры.

Многочисленные исследования показали, что скорость и равномерность сушки определяют прочность, трещиностойкость и долговечность арболита [41–44]. Применение химических добавок (CaCl_2 , K_2SO_4 , жидкое стекло и др.) позволяет регулировать кинетику гидратации и улучшать сцепление древесного наполнителя с цементной матрицей [18, 29, 36].

Современные исследования активно используют цифровые двойники и методы ускоренного отверждения (СВЧ-нагрев, ИК-сушка), что открывает новые возможности для

повышения энергоэффективности производства [23, 24, 41].

Результаты анализа научной литературы показывают, что теплообмен в капиллярно-пористых композитах определяется несколькими ключевыми факторами.

Во-первых, в пористой структуре арболита влага перемещается по капиллярам и испаряется на границах фаз, что описывается сложным нелинейным процессом. Многие модели показывают, что обычные сплошные модели с усредненными коэффициентами могут давать погрешности из-за неучёта капиллярной неоднородности [15, 18, 29–35]. При этом сопротивление теплопередаче также зависит от пористости: повышение объема крупных пор ведёт к снижению теплопроводности материала. Например, сетевые модели [19–23] показывают, что изменение геометрии пор может значительно изменить эффективные тепловые свойства.

Во-вторых, тепловые эффекты гидратации цемента существенно влияют на процесс сушки. Гидратация цемента – ярко выраженная экзотермическая реакция, вызывающая заметный рост температуры в материале. В крупных блоках арболита при интенсивной гидратации температура может подниматься на десятки градусов, что требует контроля, чтобы избежать термических трещин (порог $\sim 65\text{--}70^\circ\text{C}$) [20]. С другой стороны, испарение влаги является эндотермическим процессом: оно поглощает тепло и замедляет нагрев, особенно если внешняя температура высока. Из-за этого баланс тепловыделения и испарения определяет форму фронта сушки и тепловой режим – система уравнений (1) – (6) учитывает оба эффекта [7, 8, 9].

В-третьих, структурообразование и физико-механические свойства арболита во многом определяются взаимодействием органического заполнителя и цемента. Древесная щепка не только впитывает существенную часть воды (более 50 %), но и выделяет в раствор карбоксильные и полисахаридные экстракты. Эти вещества замедляют образование цементной матрицы и ухудшают адгезию, что приводит к снижению прочности. Литература указывает на необходимость химических ускорителей затвердевания, нейтрализующих экстрактивы [18, 29, 36]. Наиболее изучены гидратные ускорители: хлорид кальция, сульфат натрия, жидкое стекло и т.п. Особенно часто используют CaCl_2 , который ускоряет гидратацию и повышает температуру затвердевания. Однако у CaCl_2 есть недостатки: он сильно гигроскопичен и образует кристаллогидраты (до $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), что приводит к высокому остаточному увлажнению и ухудшению теплоизоляции. В работах [18, 29] показано, что сульфат калия не образует

кристаллогидратов и даёт арболиту на 20.8 % меньшую теплопроводность по сравнению с CaCl_2 . Это связано с уменьшением капиллярной влажности при меньшем образовании кристаллов. Таким образом, выбор химических добавок – важный метод ускорения твердения и регулирования свойств: он влияет на скорость выделения тепла, формирование микроструктуры цементного камня и конечную влажность арболита.

Наконец, среди новейших подходов отмечается применение высокотехнологичных методов. Так, были опробованы методы СВЧ-облучения для ускоренного твердения («волновая сушка»), обеспечивающие объёмный нагрев всей массы блока. Как показали исследования [24], СВЧ-нагрев при правильном контроле влажности и температуры обеспечивает быстрый нагрев и кристаллизацию цементного камня при снижении энергопотребления по сравнению с конвективной обработкой. Кроме того, активно развивается концепция «цифровых двойников» в строительстве – виртуальных моделей зданий и материалов, интегрирующих данные датчиков и симуляции. Цифровой двойник арболитового блока позволил бы в реальном времени прогнозировать распределение температуры и влажности внутри конструкции, что повышает эффективность управления процессами сушки и твердения [25].

Анализ научной литературы показывает, что процессы сушки арболитовых блоков должны рассматриваться комплексно с учётом капиллярной структуры, тепловых эффектов гидратации/испарения и влияния химических добавок.

Описанные выше особенности структурообразования под действием эндо- и экзотермических эффектов в процессах сушки блоков арболита-сырца показывают необходимость теоретического моделирования процессов тепло-массопереноса в блоке с учетом возможных фазовых переходов. Для решения данной проблемы нами предложено использовать систему нелинейных дифференциальных уравнений диффузионного тепло- и влагопереноса с соответствующими граничными условиями (1) – (6), а для упрощения моделирования, без потери точности, нами предложено использовать метод микропроцессов [47]. Особенности решения системы уравнений (1) – (6) для моделирования полей тепла и влаги по объёму арболитового блока, с целью управления структурообразованием изделия будет предметом нашей следующей публикации.

В условиях развития цифровых технологий и моделирования материалов в строительстве предложенный подход может быть положен в основу цифрового двойника процесса

твердения арболита, что открывает новые перспективы для оптимизации технологии и интеграции инструментов в управление качеством продукции.

Выводы

В настоящем исследовании рассмотрен базовый вариант математического моделирования процессов тепло-массопереноса и структурообразования в блоках арболита-сырца. Однако, с учётом высокой чувствительности композитного материала к изменению внешних и внутренних условий, представляется целесообразным развитие данной модели в следующих направлениях:

1. Учёт реологических свойств древесного наполнителя. Древесная щепа обладает нелинейной механической ответной реакцией, особенно в условиях переменной влажности и температуры. Включение моделей упруго-вязкопластического поведения позволит повысить точность оценки внутренних напряжений и рисков трещинообразования.

2. Интеграция модели структурной эволюции. Развитие поровой структуры и усадочных деформаций в процессе сушки требует применения моделей с учётом эволюции микроструктуры (например, на базе морфологических моделей или клеточных автоматов).

3. Моделирование анизотропии свойств. Волокнистая природа заполнителя обуславливает направленную (анизотропную) теплопроводность и капиллярную проницаемость. Расширение модели на тензорную форму с учётом ориентации волокон позволит описывать поведение материала в условиях сложного градиента температур и влаги.

4. Экспериментальная валидация. Необходимы дополнительные лабораторные и натурные испытания для верификации численных расчетов, особенно на ранних стадиях твердения, в зоне действия теплового фронта, а также при варьировании толщины блоков и состава смеси [16].

5. Разработка цифрового двойника. Создание программного инструмента в виде цифровой платформы (цифрового двойника процесса сушки и твердения) позволит адаптировать математическую модель под конкретные производственные линии и повысить управляемость качеством выпускаемой продукции.

6. Оценка остаточных напряжений и прогноз долговечности. Расширение модели в направлении механических расчётов позволит учитывать накопление остаточных напряжений в процессе сушки, оценивать риск образования трещин и прогнозировать долговечность арболитовых конструкций при эксплуатации.

Список литературы

1. Нанашвили М. Н. Арболит – эффективный строительный материал. – Москва: Недра, 1984. – 144 с.
2. Показатели технологии изготовления изделий из арболита с применением электротепловой обработки / С. В. Федосов, А. А. Лапидус, А. М. Соколов [и др.] // Строительные материалы. 2023. № 3. С. 4-11.
3. Исакулов Б. Р., Байбулов А. К., Иванникова Н. В. Исследование механизма формирования прочности и разрушения серосодержащих арболитовых композитов при различных нагрузках // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. 2019. № 1 (126). С. 32–40.
4. Соловьева А. А., Шевцов Л. С., Соловьев С. А. Исследование прочностных показателей арболита при повышенной влажности // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2023. № 1 (19). С. 33–35.
5. Краснова В. Ф., Зотов Д. А. Теплопроводность арболита из сухостойной древесины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2022. № 1. С. 7-14.
6. Дворников Р. М., Самченко С. В. Формирование ячеистой структуры поризованного арболита // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29. № 1. С. 82–91.
7. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
8. Лыков А. В. Тепломассообмен. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
9. Мошинский А. И. Тепло- и массообменная модель пористой системы: монография. – Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. ун-та, 2015. – 154 с.
10. Ильясов У. Р., Игошин Д. Е. Математическое моделирование сушки влажного пористого материала в диффузионном приближении // Теплофизика и аэромеханика. 2008. Т. 15, № 4. С. 689–698.
11. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, electronic edition. Vladivostok, 2018, pp. 042048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048
12. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 44–47.
13. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 52–57.
14. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 99–104.
15. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т. 13. № 2. С. 45–49.
16. Румянцева В. Е., Красильников И. В., Красильникова И. А. Оценка эффективности некоторых составов бетонных смесей, применяемых при торкретировании, по критериям долговечности // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 97–108.
17. Basok B., Davydenko S., Pavlenko A. Numerical Network Modeling of Heat and Moisture Transfer through Capillary-Porous Building Materials. Materials, 2021, vol. 14, issue 8, p. 1819. DOI: 10.3390/ma14081819.
18. Maximizing Strength and Durability in Wood Concrete (Arbolite) via Innovative Additive Control and Consumption / A. Yagubkin, D. Shabanov, A. Niyakovskii [et al.]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024, vol. 15, issue 9, pp. 13365–13379. DOI: 10.1007/s13399-023-04906-2.
19. Isakulov B., Issakulov A., Dąbska A. Structure Formation and Curing Stage of Arbolite–Concrete Composites Based on Iron-Sulfur Binders. Infrastructures, 2023, vol. 10, issue 7, p. 179. DOI: 10.3390/infrastructures10070179.
20. Klemczak B., Smolana A., Jędrzejewska A. Modeling of Heat and Mass Transfer in Cement-Based Materials during Cement Hydration—A Review. Energies, 2024, vol. 17, issue 11, p. 2513. DOI: 10.3390/en17112513.
21. Kolesnikov G., Gavrilov T. Modeling the Drying of Capillary-Porous Materials in a Thin Layer: Application to Thin-Walled Building Blocks. Applied Sciences, 2020, vol. 10, issue 19, p. 6953. DOI: 10.3390/app10196953.
22. Liu J., Cheng S. Solutions of Luikov equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1991, vol. 34, issue 7, pp. 1747–1754. DOI: 10.1016/0017-9310(91)90264-V.
23. Potential of Microwave Curing for Pre-cast Concrete Manufacture / Bai Y., Shi S., Jia Y. [et al.]. Proceedings of Institute of Concrete Technology Yearbook, 2017, pp. 61–69.

24. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review / H. Omran, K. M. Al-Obaidi, A. Husain [et al.]. *Sustainability*, 2023, vol. 15, issue 14, p. 10908. DOI: 10.3390/su151410908.
25. Doe J., Smith A. Heat and Moisture Transfer Modeling in Porous Construction Materials. *Journal of Building Physics*, 2021, vol. 45, issue 3, pp. 234–245. DOI: 10.1177/17442591211000123.
26. Roe P., Tan X. Coupled Heat and Mass Transfer in Light-Weight Concretes. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 256, p. 119481. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119481.
27. Miller L., Gupta R. Thermal Effects During Cement Hydration in Wood–Cement Composites. *Cement and Concrete Research*, 2020, vol. 140, p. 106316. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106316.
28. Nguyen H., Park S., Lee D. Digital Twin Framework for Construction Material Simulation. *Automation in Construction*, 2021, vol. 125, p. 103605. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103605.
29. Kim S., Lee Y., Choi H. Accelerated Curing Techniques for Concrete Production. *Cement and Concrete Composites*, 2019, vol. 97, pp. 34–45. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.12.004.
30. Wang T., Li Z. Endothermic and Exothermic Processes in Drying of Building Materials. *Energy and Buildings*, 2023, vol. 264, p. 112019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112019.
31. Patel R., Das S. Influence of Wood Fibers on Cement Composite Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2021, vol. 33, issue 4, P. 04021016. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003647.
32. Zhang L., Chen Y., Wang Y. Heat Transfer in Capillary Porous Wick Structures. *Applied Thermal Engineering*, 2022, vol. 172, p. 115056. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115056.
33. Kassem S., Johnson M. Hygrothermal Properties of Hemp-Lime Composites. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 328, p. 127021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127021.
34. Henderson M., Liu Q. Drying Shrinkage in Porous Building Blocks: An Experimental Study. *Materials and Structures*, 2023, vol. 56, p. 67. DOI: 10.1617/s11527-023-02065-8.
35. Zhao Y., Wu H. Moisture Diffusion in Porous Concrete: Numerical Simulation. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2021, vol. 181, P. 103556. DOI: 10.1016/j.finel.2020.103556.
36. Silva F., Martins G. Effects of Hydraulic Accelerators on Early-Age Hydration Heat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2022, vol. 147, p. 891–902. DOI: 10.1007/s10973-021-10683-5.
37. Al-Helal M., Smith J. Impact of Curing Temperature on Cement Hydration Kinetics. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 213, p. 109826. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109826.
38. Jackson B., Ng C. Thermal Conductivity Variation in Cementitious Composites with Organic Fibers. *Journal of Building Materials*, 2022, vol. 17, issue 3, pp. 512–523.
39. Martinez L., Perez V. Capillary Condensation and Diffusion in Wet Porous Media. *Transport in Porous Media*, 2021, vol. 138, pp. 607–625. DOI: 10.1007/s11242-021-01622-8.
40. Smith K., Allen T. Luikov Equations for Drying Processes: Analytical and Numerical Analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2023, vol. 199, p. 123387. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123387.
41. Zhao L., Park J. Digital Twin Applications in Structural Monitoring: A Review. *Sensors*, 2021, vol. 21, issue 9, p. 3307. DOI: 10.3390/s21093307.
42. Hansson P., Eriksson L. Additive Effects on Wood–Cement Interface Bonding. *Wood Science and Technology*, 2020, vol. 54, pp. 295–310. DOI: 10.1007/s00226-019-01139-5.
43. Chen J., Lin F. Heat–Moisture Transfer under Cyclic Conditions in Concrete. *Journal of Advances in Civil Engineering*, 2022, Article ID 4567349. DOI: 10.1155/2022/4567349.
44. Singh A., Kaur M. Advanced Numerical Methods for Coupled Heat and Mass Transfer. *Applied Mathematical Modelling*, 2023, vol. 116, pp. 714–729. DOI: 10.1016/j.apm.2022.11.023.
45. Lopez R., Silva D. Desorption Isotherm Models for Wood Composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2021, vol. 79, pp. 459–468. DOI: 10.1007/s00107-020-01606-7.
46. Ferreira H., Costa P. Digital Twins for Optimizing Curing Processes in Prefabricated Construction. *Automation in Construction*, 2022, vol. 144, p. 104644. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104644.
47. Физические особенности проблем жидкостной коррозии железобетона с позиций теории тепломассопереноса / С. В. Федосов, И. В. Красильников, В. Е. Румянцева [и др.] // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2023. Т. 19. № 4. С. 392–409. http://doi.org/10.22363/1815-5235_2023-19-4-392-409.

References

1. Nanashvili M. N. *Arbolit – jeffektivnyj stroitel'nyj material* [Arbolite is an effective building material]. Moscow: Nedra, 1984. 144 p.
2. Pokazатели tehnologii izgotovlenija izdelij iz arbolita s primeneniem jelectroteplovoy obrabotki [Indicators of the technology of manufacturing products from arbolite using electrothermal treatment] / S. V. Fedosov, A. A. Lapidus, A. M. Sokolov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2023, vol. 3, pp. 4–11.

3. Isakulov B. R., Bajbulov A. K., Ivanickaja N. V. *Issledovanie mehanizma formirovaniya prochnosti i razrusheniya serosoderzhashchih arbolitovykh kompozitov pri razlichnykh nagruzkakh* [Investigation of the mechanism of strength formation and fracture of sulfur-containing arbolite composites under various loads]. *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L. N. Gumileva. Seriya: Tehnicheskie nauki i tehnologii*, 2019, vol. 1 (126), pp. 32–40.
4. Solov'eva A. A., Shevcov L. S., Solov'ev S. A. *Issledovanie prochnostnykh pokazatelej arbolita pri povyshennoj vlazhnosti* [Investigation of strength parameters of arbolite at high humidity]. *Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnicheskie nauki*, 2023, vol. 1 (19), pp. 33–35.
5. Krasnova V. F., Zotov D. A. *Teploprovodnost' arbolita iz suhostojnoj drevesiny* [Thermal conductivity of arbolite from dry wood]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tehnologii*, 2022, vol. 1, pp. 7–14.
6. Dvornikov R. M., Samchenko S. V. *Formirovanie jacheistoj struktury porizovannogo arbolita* [Formation of the cellular structure of the porous arbolite]. *Tehnika i tehnologija silikatov*, 2022, vol. 29, issue 1, pp. 82–91.
7. Lykov A. V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow: Vysshaya shkola, 1967. 600 p.
8. Lykov A. B. *Teplomassoobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow: Energiya, 1978. 480 p.
9. Moshinskij A. I. *Teplo- i massoobmennaja model' poristoj sistemy: monografija* [Heat and mass transfer model of a porous system: monograph]. Volgograd: Izd-vo Volgograd. gos. un-ta, 2015. 154 p.
10. Il'jasov U. R., Igoshin D. E. *Matematicheskoe modelirovanie sushki vlazhnogo poristogo materiala v diffuzionnom priblizhenii* [Mathematical modeling of drying of wet porous material in the diffusion approximation]. *Teplofizika i aeromehanika*, 2008, vol. 15, issue 4, pp. 689–698.
11. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. electronic edition. Vladivostok, 2018, pp. 042048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048
12. *Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovaniya processov korrozii pervogo vida cementnykh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy* [Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of cement concrete in the presence of an internal mass source] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, vol. 6, pp. 44–47.
13. *Issledovanie vlijaniya processov massopere nosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstrukcij, jekspluatiruemykh v zhidkikh agressivnykh sredah* [Investigation of the influence of mass transfer processes on the reliability and durability of reinforced concrete structures operated in liquid aggressive environments] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 12, pp. 52–57.
14. *Issledovanie diffuzionnykh processov massopere nosa pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnykh betonov* [Investigation of diffusion processes of mass transfer during liquid corrosion of the first type of cement concretes] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya: Himija i himicheskaja tehnologija*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 99–104.
15. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017, vol. 13, issue 2, pp. 45–49.
16. Rumjanceva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A. *Ocenka jeffektivnosti nekotorykh sostavov betonnykh smesej, primenjaemykh pri torkretirovanii, po kriterijam dolgovechnosti* [Evaluation of the effectiveness of some concrete mixtures used in shotcrete according to durability criteria]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 97–108.
17. Basok B., Davydenko S., Pavlenko A. Numerical Network Modeling of Heat and Moisture Transfer through Capillary-Porous Building Materials. *Materials*, 2021, vol. 14, issue 8, p. 1819. DOI: 10.3390/ma14081819.
18. Maximizing Strength and Durability in Wood Concrete (Arbolite) via Innovative Additive Control and Consumption / A. Yagubkin, D. Shabanov, A. Niyakovskii [et al.]. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2024, vol. 15, issue 9, pp. 13365–13379. DOI: 10.1007/s13399-023-04906-2.
19. Isakulov B., Issakulov A., Dąbska A. Structure Formation and Curing Stage of Arbolite–Concrete Composites Based on Iron-Sulfur Binders. *Infrastructures*, 2023, vol. 10, issue 7, p. 179. DOI: 10.3390/infrastructures10070179.
20. Klemczak B., Smolana A., Jędrzejewska A. Modeling of Heat and Mass Transfer in Cement-Based Materials during Cement Hydration—A Review. *Energies*, 2024, vol. 17, issue 11, p. 2513. DOI: 10.3390/en17112513.
21. Kolesnikov G., Gavrilov T. Modeling the Drying of Capillary-Porous Materials in a Thin Layer: Application to Thin-Walled Building Blocks.

Applied Sciences, 2020, vol. 10, issue 19, p. 6953. DOI: 10.3390/app10196953.

22.Liu J., Cheng S. Solutions of Luikov equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1991, vol. 34, issue 7, pp. 1747–1754. DOI: 10.1016/0017-9310(91)90264-V.

23.Potential of Microwave Curing for Precast Concrete Manufacture / Bai Y., Shi S., Jia Y. [et al.]. *Proceedings of Institute of Concrete Technology Yearbook*, 2017, pp. 61–69.

24.Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review / H. Omrany, K. M. Al-Obaidi, A. Husain [et al.]. *Sustainability*, 2023, vol. 15, issue 14, p. 10908. DOI: 10.3390/su151410908.

25.Doe J., Smith A. Heat and Moisture Transfer Modeling in Porous Construction Materials. *Journal of Building Physics*, 2021, vol. 45, issue 3, pp. 234–245. DOI: 10.1177/17442591211000123.

26.Roe P., Tan X. Coupled Heat and Mass Transfer in Light-Weight Concretes. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 256, p. 119481. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119481.

27.Miller L., Gupta R. Thermal Effects During Cement Hydration in Wood–Cement Composites. *Cement and Concrete Research*, 2020, vol. 140, p. 106316. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106316.

28.Nguyen H., Park S., Lee D. Digital Twin Framework for Construction Material Simulation. *Automation in Construction*, 2021, vol. 125, p. 103605. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103605.

29.Kim S., Lee Y., Choi H. Accelerated Curing Techniques for Concrete Production. *Cement and Concrete Composites*, 2019, vol. 97, pp. 34–45. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.12.004.

30.Wang T., Li Z. Endothermic and Exothermic Processes in Drying of Building Materials. *Energy and Buildings*, 2023, vol. 264, p. 112019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112019.

31.Patel R., Das S. Influence of Wood Fibers on Cement Composite Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2021, vol. 33, issue 4, P. 04021016. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003647.

32.Zhang L., Chen Y., Wang Y. Heat Transfer in Capillary Porous Wick Structures. *Applied Thermal Engineering*, 2022, vol. 172, p. 115056. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115056.

33.Kassem S., Johnson M. Hygrothermal Properties of Hemp-Lime Composites. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 328, p. 127021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127021.

34.Henderson M., Liu Q. Drying Shrinkage in Porous Building Blocks: An Experimental Study. *Materials and Structures*, 2023, vol. 56, p. 67. DOI: 10.1617/s11527-023-02065-8.

35.Zhao Y., Wu H. Moisture Diffusion in Porous Concrete: Numerical Simulation. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2021, vol. 181, P. 103556. DOI: 10.1016/j.finel.2020.103556.

36.Silva F., Martins G. Effects of Hydraulic Accelerators on Early-Age Hydration Heat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2022, vol. 147, p. 891–902. DOI: 10.1007/s10973-021-10683-5.

37.Al-Helal M., Smith J. Impact of Curing Temperature on Cement Hydration Kinetics. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 213, p. 109826. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109826.

38.Jackson B., Ng C. Thermal Conductivity Variation in Cementitious Composites with Organic Fibers. *Journal of Building Materials*, 2022, vol. 17, issue 3, pp. 512–523.

39.Martinez L., Perez V. Capillary Condensation and Diffusion in Wet Porous Media. *Transport in Porous Media*, 2021, vol. 138, pp. 607–625. DOI: 10.1007/s11242-021-01622-8.

40.Smith K., Allen T. Luikov Equations for Drying Processes: Analytical and Numerical Analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2023, vol. 199, p. 123387. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123387.

41.Zhao L., Park J. Digital Twin Applications in Structural Monitoring: A Review. *Sensors*, 2021, vol. 21, issue 9, p. 3307. DOI: 10.3390/s21093307.

42.Hansson P., Eriksson L. Additive Effects on Wood–Cement Interface Bonding. *Wood Science and Technology*, 2020, vol. 54, pp. 295–310. DOI: 10.1007/s00226-019-01139-5.

43.Chen J., Lin F. Heat–Moisture Transfer under Cyclic Conditions in Concrete. *Journal of Advances in Civil Engineering*, 2022, Article ID 4567349. DOI: 10.1155/2022/4567349.

44.Singh A., Kaur M. Advanced Numerical Methods for Coupled Heat and Mass Transfer. *Applied Mathematical Modelling*, 2023, vol. 116, pp. 714–729. DOI: 10.1016/j.apm.2022.11.023.

45.Lopez R., Silva D. Desorption Isotherm Models for Wood Composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2021, vol. 79, pp. 459–468. DOI: 10.1007/s00107-020-01606-7.

46.Ferreira H., Costa P. Digital Twins for Optimizing Curing Processes in Prefabricated Construction. *Automation in Construction*, 2022, vol. 144, p. 104644. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104644.

47.Physical features of the problems of liquid corrosion of reinforced concrete from the standpoint of the theory of heat and mass transfer [Physical features of the problems of liquid corrosion of reinforced concrete from the standpoint of the theory of heat and mass transfer] / S. V. Fedosov, I. V. Krasilnikov, V. E. Rumyantseva [et al.]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2023, vol. 19 (4), pp. 392–409. http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023_2023-19-4-392-409

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
доктор технических наук, профессор
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: korasb@mail.ru

Коринчук Михаил Александрович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
аспирант
E-mail: m1na47-74@mail.ru

Korinchuk Michael Aleksandrovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
graduate student
E-mail: m1na47-74@mail.ru

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
кандидат технических наук, доцент
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Krasilnikova Irina Aleksandrovna

Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

**УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS (TECHNICAL)**

УДК 004.4: 658.382

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ, ФОРМИРУЮЩЕЙ ВИДЖЕТ
ДЛЯ ВИДЕОСТЕНЫ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ**

А. А. АПАРИН¹, А. О. СЕМЕНОВ¹, Е. Ф. РАЗУМОВА¹, А. А. БАЛОБАНОВ²

¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

²Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Данная статья посвящена разработке программы, которая позволяет сформировать виджет, для информационной поддержки оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации. Виджет имеет формат html-документа и используется при помощи веб-браузера.

Ключевые слова: информационная поддержка, мониторинг, чрезвычайные ситуации, Центр управления в кризисных ситуациях, разработка программного обеспечения.

**DEVELOPMENT OF A PROGRAM THAT CREATES A VIEW
FOR THE VIDEO WALL OF THE CRISIS CONTROL CENTER**

A. A. APARIN¹, A. O. SEMENOV¹, E. F. RAZUMOVA¹, A. A. BALOBANOV²

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

²Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

This article is devoted to the development of a program that allows you to create a widget for information support of the operational duty shift of the Crisis Management Center of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the subject of the Russian Federation. The widget has an html document format and is used using a web browser.

Key words: information support, monitoring, emergencies, Crisis Management Center, and software development.

Центры управления в кризисных ситуациях Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации (ЦУКС) на региональном уровне являются органами повседневного управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций¹.

Развитие способов мониторинга, сбора, обработки и выдачи информации является одним из важных направлений совершенствования деятельности ЦУКС. Такое развитие может достигаться, в том числе путем разработки информационного и программного обеспечения для оперативных дежурных смен ЦУКС. На

данный момент в Российской Федерации наблюдается активная фаза экстенсивного и интенсивного развития различных источников информации, которые потенциально могут применяться в процессе оперативного сбора и обработки информации при организации реагирования на чрезвычайные ситуации. При этом ряд из этих источников информации можно заблаговременно подготовить к оперативному использованию (рис. 1). Далее этот перечень в статье будем называть «базовый».

Согласно Концепции развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»², а конкретно, разделу «IV. Функции комплекса Безопасный город», реализация мероприятий по построению и развитию комплекса должна обеспечить возможность осуществления определенных функций (диаграмма рис. 2)².

Для вывода оперативной информации от различных источников в помещении оперативной дежурной смены ЦУКС может быть установлена видеостена. На рабочую область видеостены выводятся отдельные окна, в каждом из которых представлена определенная информация. Каждое окно – это отдельная открытая и работающая программа для ЭВМ (оконное

приложение), которая имеет как «полезную» область, в которой выводится интересующая в данный момент времени информация, так и «техническую» область, на которой представлены панель инструментов и иные элементы графического пользовательского интерфейса (которые скрыть не всегда возможно). Данная статья посвящена поиску решения двух основных проблем:

1. Необходимость увеличения количества пользовательских окон, которые одновременно могут быть открыты на рабочей области видеостены – увеличение суммарной площади, занимаемой полезными областями информационных окон по отношению к общей площади рабочей области видеостены;

2. Необходимость уменьшения нагрузки на компьютер, к которому подключена видеостена за счет оптимизации (минимизации) количества одновременно работающих отдельных программ для ЭВМ (оконных приложений). Решение таких задач возможно путем разработки уникального программного продукта.

Проанализировав диаграмму рис. 2, дополним «базовый» перечень рядом источников информации (рис. 3).

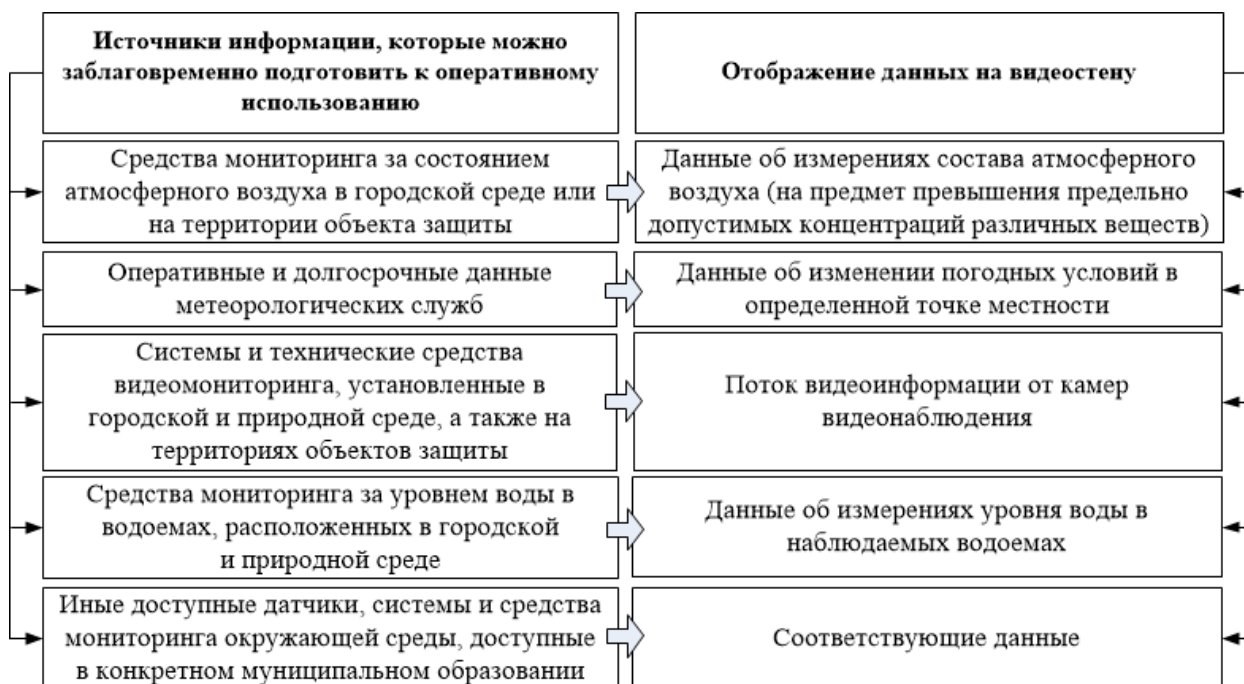


Рис. 1. Диаграмма, характеризующая «базовый» перечень источников информации

² Распоряжение Правительства РФ от 03.12.2014 № 2446-р «Об утверждении Концепции построения и

развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»

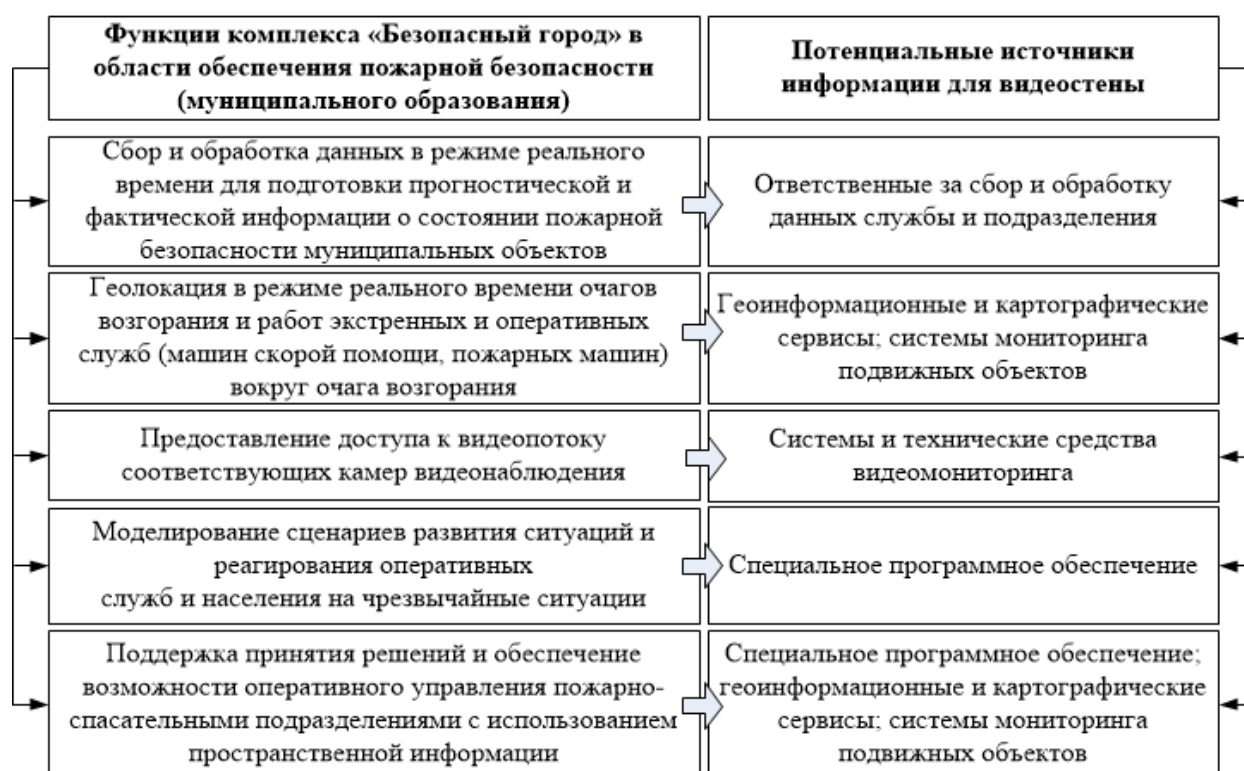


Рис. 2. Диаграмма, отображающая функции комплекса «Безопасный город» в области обеспечения пожарной безопасности (муниципального образования) и потенциал применения соответствующих источников информации для видеостены



Рис. 3. Диаграмма, характеризующая перечень перспективных источников информации, дополняющих «базовый» перечень

Проведя анализ специфики работы оперативной дежурной смены ЦУКС, в том числе осуществив как теоретический, так и практический анализ на базе территориальных подразделений МЧС России, предложена идея, состоящая в разработке программы для ЭВМ, которая позволяет осуществлять персонализированную настройку единого окна мониторинга (с которым можно работать как на базе автоматизированного рабочего места специалиста, так и открывать на видеостене в помещении оперативной дежурной смены). Выдвигаемые требования:

1. Единое окно мониторинга исполнено таким образом, чтобы в него имелась возможность выводить необходимые данные как подготовленные заранее, так и отобранные в зависимости от оперативных предпочтений.

2. Единое окно мониторинга имеет возможность гибкой настройки.

Рассмотрим теоретический и практический базис технической реализации программы для ЭВМ.

Теоретический базис. Исследователи активно работают в области разработки теоретических основ применения потока видеoinформации. В работах [1-11] рассмотрены модели мониторинга пожаров на открытых территориях, описаны и проклассифицированы системы и средства видеомониторинга, которые могут применяться при ликвидации пожаров в городской среде, а также рассмотрен опыт применения видеомониторинга при ликвидации пожаров. В трудах [12-13] представлен анализ технических средств и информационных ресурсов для обеспечения мониторинга природных пожаров. Вопросы, связанные с разработкой систем, моделей и алгоритмов, применяемых в области дистанционного мониторинга определенной части территории, в которой

локализована чрезвычайная ситуация, рассмотрены в статьях [14-18]. В материалах статей [19-22] обсуждалась тема информационной поддержки специалистов оперативной дежурной смены ЦУКС.

Практический базис составляют разработанные программы для ЭВМ [23-25].

Этап 1. «Разработка программы для ЭВМ, реализующей функцию обобщения данных от одного вида источников информации» [23]. При использовании данной программы становится возможным создание подборки трансляций от систем городского видеонаблюдения. К каждой отдельной трансляции возможно добавить текстовый комментарий специалиста оперативной дежурной смены ЦУКС. Введенные данные обобщаются в единый файл (html-документ), сохраняемый в память персонального компьютера.

Этап 2. «Разработка программы для ЭВМ, реализующей функцию обобщения данных от нескольких видов источников информации» [24]. При использовании данной программы становится возможным обобщение не только трансляций от камер видеонаблюдения, но и оперативных данных из других источников информации. Работа с обобщенными данными осуществляется в едином окне графического пользовательского интерфейса.

Этап 3. «Разработка программы для ЭВМ, формирующей виджет для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях». После проведения анализа теоретических и практических вопросов в рассматриваемой области, была разработана программа для ЭВМ «Программа, формирующая виджет для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях» [25]. Скриншот главного окна графического пользовательского интерфейса программы (главное окно) представлен на рис. 4.

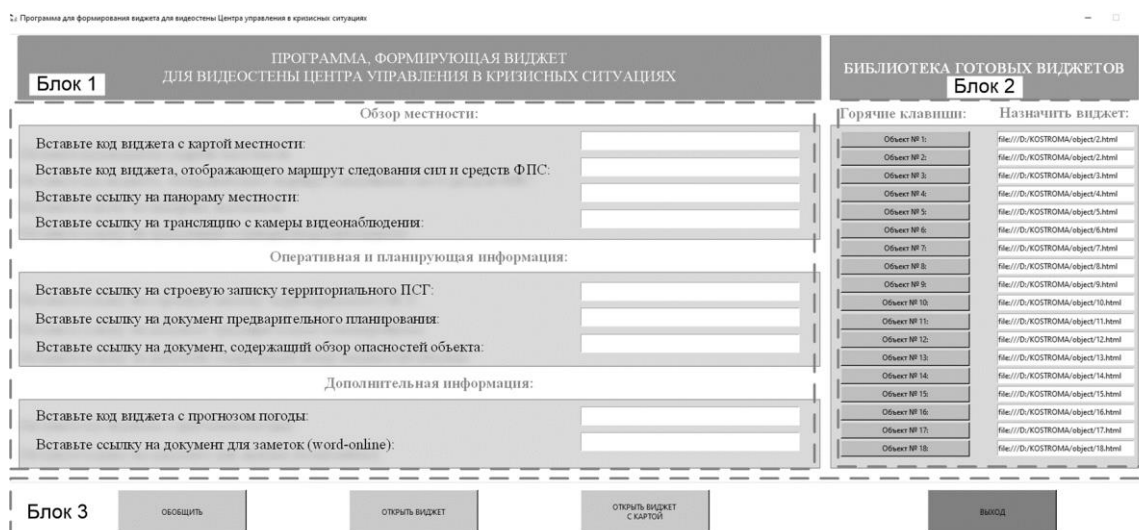


Рис. 4. Скриншот графического пользовательского интерфейса программы (главное окно) [21]

После заполнения пользователем полей ввода информации, программа формирует виджет.

Главное окно представлено тремя основными блоками. Основной функцией главного окна является ввод и обобщение пользователем информации, необходимой для формирования виджета.

Блок 1 позволяет осуществить ввод пользователем информации для формирования виджета. Для сообщения программе информации предусмотрены поля ввода. В демонстрационной версии программы предложены следующие разделы и подразделы вводимой информации, которая будет интегрирована в итоговый виджет в виде модулей.

Раздел 1.1. «Обзор местности»:

- карта местности;
- маршрут следования сил и средств к месту вызова;
- панорама местности;
- трансляция с камер видеонаблюдения.

Раздел 1.2. «Оперативная и планирующая информация»:

- строевая записка территориального пожарно-спасательного гарнизона;
- документация предварительного планирования;
- дополнительная информация об объекте вызова.

Раздел 1.3. «Дополнительная информация»:

- оперативный и долгосрочный прогноз погоды;

– электронный «журнал» для учета поступающих сообщений.

Информация в поля ввода заносится в виде текста. Данные могут представлять собой код html, гиперссылки или текст. Вид вводимой информации определен в инструкции напротив каждого поля ввода.

Блок 2 позволяет сформировать библиотеку готовых виджетов. Таким образом каждый виджет (html-документ), созданный в результате заполнения информации в блоке 1, после сохранения в память персонального компьютера может быть доступен по нажатию соответствующей «горячей клавиши». Чтобы назначить команду открытия для каждого конкретного html-документа, необходимо в поле ввода, находящееся напротив соответствующей «горячей клавиши», поместить адрес, по которому располагается данный документ на персональном компьютере.

Блок 3 представлен панелью инструментов, содержащий набор запрограммированных кнопок, составляющих панель инструментов (инструменты программы).

Инструмент «Обобщить» объединяет всю информацию, введенную в блок 1, и формирует html-документ, пример которого представлен на рис. 5.

Инструмент «Открыть виджет» позволяет просмотреть виджет, который был создан последним.

Инструмент «Открыть виджет с картой» позволяет открыть карту местного и территориального пожарно-спасательных гарнизонов.

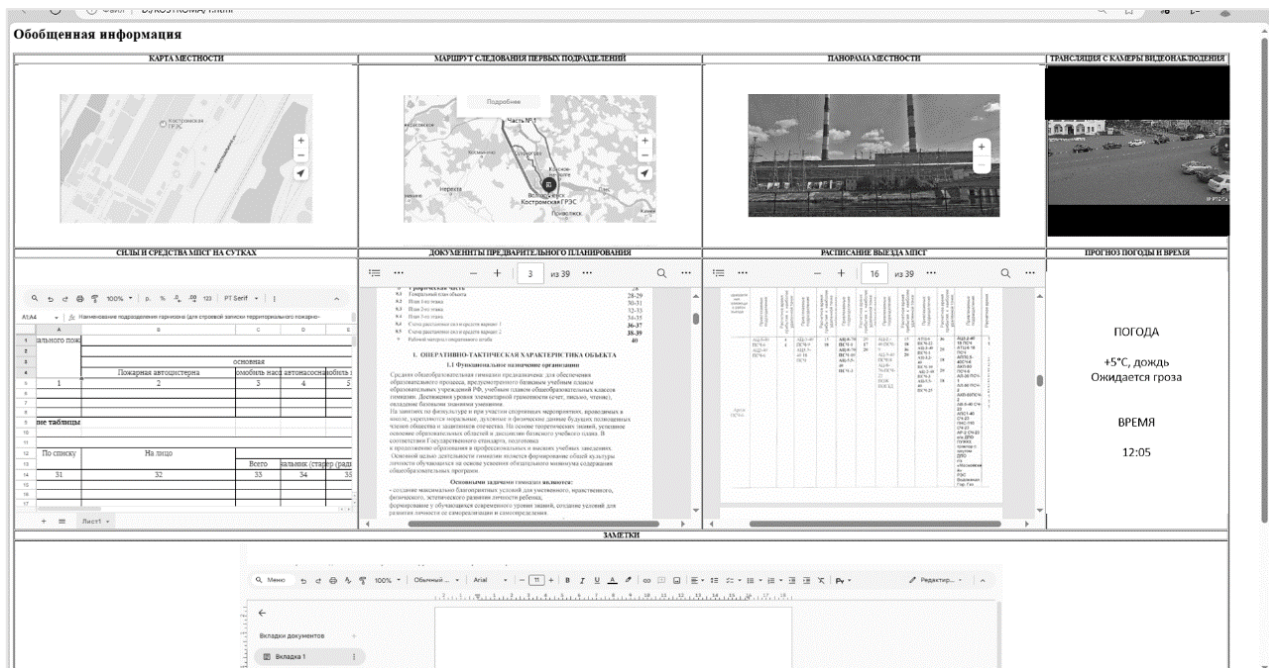


Рис. 5. Скриншот графического пользовательского интерфейса программы (окно вывода обобщенной информации (виджет) [21])

На рис. 5 представлен пример виджета, который можно получить при использовании функционала блоков 1-3 описываемой программы для ЭВМ [20]. Программа, формирующая виджет для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях, является адаптируемой к потребностям различных пожарно-спасательных гарнизонов. Среди компонентов, которые возможно адаптировать, выделены следующие:

- состав и содержимое модулей виджета (информация, вводимая в блоке 1) могут быть скорректированы;

- внешний вид и форма пользовательских окон (рис.4-5) могут быть изменены в зависимости от требований к эргономике использования;

- функциональные возможности панели инструментов могут быть расширены в зависимости от необходимости интеграции дополнительных функций.

Источники информации, которые могут быть использованы для формирования виджета:

- базы данных (информационные ресурсы) с информацией об объектах защиты или иных элементах муниципальной инфраструктуры (например, с информацией из планов и карточек тушения пожара и иных документов предварительного планирования);

- геоинформационные и картографические сервисы;

- системы мониторинга подвижных объектов;

- оперативные и долгосрочные данные метеорологических служб;

- системы и технические средства видеомониторинга, установленные в городской и природной среде, а также на территориях объектов защиты;

- специальное программное обеспечение (например, [26]);

- другие сервисы или документы общего (открытого) пользования, в зависимости от необходимых функций программы.

На данный момент предусмотрена возможность запуска и использования программы, формирующей виджет для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях на персональном компьютере. Однако, формируемый виджет (рис. 5) можно использовать на всех

типах современных устройств, поддерживающих работу веб-браузера. Первый вариант применения – на персональном компьютере. При таком варианте использования возможен вывод полученного в формате html-документа виджета на видеостену ЦУКС (требуется запуск через веб-браузер) – для организации детального мониторинга складывающейся обстановки на месте вызова и повышения эргономики информационного обеспечения оперативной дежурной смены ЦУКС. Удобство заключается в том, что функциональные возможности программы позволяют обобщать большое количество различной информации в одно пользовательское окно – без необходимости переключения в другие окна. Второй вариант применения – на смартфоне или планшете. При таком варианте старшие оперативные должностные лица пожарно-спасательного гарнизона могут ознакомиться с информацией, запустив созданный программой виджет при помощи веб-браузера смартфона или планшета, находясь в пути следования или на месте пожара.

Результат

проведенной работы

Таким образом разработана программа (для ЭВМ), формирующая виджет для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях. Применение программы возможно в двух режимах: превентивном (до организации реагирования на вызов) и оперативном. Виджет может быть использован как на видеостене ЦУКС, так и на мобильных устройствах старшими оперативными должностными лицами пожарно-спасательного гарнизона на месте вызова, например, в оперативном штабе.

Предложенное решение позволяет увеличить суммарную площадь, занимаемую полезными областями информационных окон по отношению к общей площади рабочей области видеостены, а также уменьшить количество одновременно работающих отдельных программ для ЭВМ (оконных приложений).

Перспективой продолжения развития заявленной темы является разработка информационных ресурсов – базы данных, содержащей типовые наборы данных для быстрого формирования виджета. Так можно будет добиться частичной автоматизации работы с предложенной программой.

Список литературы

1. Апарин А. А. Видеомониторинг: мировая практика использования и перспективы применения в обеспечении пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 1(91). С. 67–84. DOI: 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84.
2. Апарин А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реагировании на техногенный пожар // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 5–11. EDN: AONIIM.
3. Тараканов Д. В., Семенов А. О., Апарин А. А. Модели мониторинга пожаров на открытых территориях: монография. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. 103 с. EDN: RHLPCZ.
4. Апарин А. А. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 105–111.
5. Апарин А. А. Программный комплекс для поддержки принятия решений при видеомониторинге пожаров в городской среде // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 973–976. EDN: NHGDVY.
6. Апарин А. А. Имитационное моделирование времени продвижения первого прибывающего отделения на автоцистерне по дворовой территории многоквартирных домов // Системы безопасности: материалы международной научно-технической конференции. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. № 33-1. С. 151–153. EDN: CVPDJD.
7. Апарин А. А., Семенов А. О. Мониторинг пожаров на открытых территориях // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 234–241. EDN: ETTGBT.
8. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ технических средств и информационных ресурсов для обеспечения мониторинга природных пожаров // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 267–270. EDN: IGCKKR.
9. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ способов наземного мониторинга природных пожаров с использованием тепловизоров // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 27 марта 2025 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 271–275. EDN: MPNKJD.
10. Система информационного обеспечения и управления полётами воздушных судов при мониторинге чрезвычайных ситуаций и пожаров / А. Н. Коротоношко, Н. Г. Топольский, В. В. Симаков [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2020. № 1 (87). С. 51–66. DOI: 10.25257/TTS.2020.1. 87.51-66. EDN: LFBCVP.
11. Михайлов К. А., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Информационная система и математическая модель для организации разведки пожара в зданиях с применением средств мониторинга // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 84–93. EDN: OOVVQC.
12. Совершенствование информационного обеспечения групп разведки пожара при его мониторинге в здании с использованием инфракрасных технологий / Н. Г. Топольский, Д. В. Тараканов, К. А. Михайлов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 3. С. 89–97. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.89-97. EDN: HWTSCS.
13. Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27–33. EDN: KIOOMA.
14. Кузнецов А. В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 18–23. EDN: KLWLVM.
15. Апарин А. А. Базовые положения поддержки принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 3 (93). С. 88–102. DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.88-102. EDN: FBEA00.
16. Апарин А. А. Информационное обеспечение поддержки принятия решений при оперативном поиске средств видеомониторинга // Новые технические, организационные и методические решения в области пожарной безопасности: сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых, приуроченной ко Дню российской науки. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. С. 114–118. EDN: LQQTHT.
17. Информационная поддержка специалистов оперативной дежурной смены

Центра управления в кризисных ситуациях на основе современных технологий / Е. Ф. Разумова, А. О. Семенов, А. А. Апарин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 134–141. EDN: TFPJCZ.

18. Апарин А. А., Тараканов Д. В. Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 1 (95). С. 121–130. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.121-130. EDN: PIIFYC.

19. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2023689145. Программа для формирования подборки оперативной видеоинформации для оперативных должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. заявл. 15.12.2023; опублик. 26.12.2023, Бюл. № 1. 1 с.

20. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2024688213. Программа для обобщения различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования / А. А. Апарин, А. О. Семенов, Е. Ф. Разумова [и др.]. заявл. 07.11.2024; опублик. 26.11.2024, Бюл. № 12. 1 с.

21. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025664199. Программа для формирования виджета для видеостены Центра управления в кризисных ситуациях / А. А. Апарин, А. О. Семенов, Е. Ф. Разумова. заявл. 20.05.2025; опублик. 03.06.2024, Бюл. № 6. 1 с.

22. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2018664021. Модель развития пожаров на открытом пространстве с использованием клеточного автомата / А. О. Семенов, Н. Г. Топольский, Д. В. Тараканов [и др.]. заявл. 18.12.2018; опублик. 03.12.2025, Бюл. № 12. 1 с.

References

1. Aparin A. A. Videomonitoring: mirovaia praktika ispolzovaniia i perspektivy primeneniia v obespechenii pozharnoi bezopasnosti [Video Monitoring: Global Practice and Prospects for Fire Safety]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnost*, 2021, vol. 1 (91), pp. 67–84. DOI: 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84.

2. Aparin A. A. Primenenie videomonitoringa dlia informatsionnoi podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii pri reagirovanii na tekhnogennyi pozhar [Application of video monitoring for information support of managerial decision-making in response to a man-made fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2022, vol. 3 (44), pp. 5–11. EDN: AONIIM.

3. Tarakanov D. V., Semenov A. O., Aparin A. A. *Modeli monitoringa pozharov na otkrytykh territoriiakh* [Fire monitoring models in open areas]. Ivanovo: Ivanovskaia pozharно-spatelnaia akademiia GPS MChS Rossii, 2022. 103 p. EDN: RHLPCZ.

4. Aparin A. A. Modeli i algoritmy podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii pri reagirovanii na pozhar v gorodskoi srede [Models and algorithms for supporting management decision-making in fire response in urban environments]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 105–111.

5. Aparin A. A. Programmnyi kompleks dlia podderzhki priniatiia reshenii pri videomonitoringe pozharov v gorodskoi srede [Software package for supporting decision-making during video monitoring of fires in urban environments]. *Pozharnaia i avariinaia bezopasnost: sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaia pozharно-spatelnaia akademiia GPS MChS Rossii, 2023, pp. 973–976. EDN: NHGDVY.

6. Aparin A. A. Imitatsionnoe modelirovanie vremeni prodvizheniia pervogo priblyaiushchego otdeleniia na avtotsisterne po dvorovoi territorii mnogokvartirnykh domov [Simulation of the time it takes for the first arriving tanker truck to reach the courtyard of an apartment building]. *Sistemy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 2024, vol. 33-1, pp. 151–153. EDN: CVPDJD.

7. Aparin A. A., Semenov A. O. Monitoring pozharov na otkrytykh territoriiakh [Fire monitoring in open areas]. *Pozharnaia i avariinaia bezopasnost: sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi provedeniiu v Rossiiskoi Federatsii Goda nauki i tekhnologii v 2021 godu i 55-letiiu uchebnogo zavedeniia*. Ivanovo: Ivanovskaia pozharно-spatelnaia akademiia GPS MChS Rossii, 2021, pp. 234–241. EDN: ETTGBT.

8. Kalashnikov D. V., Aparin A. A., Semenov A. O. Analiz tekhnicheskikh sredstv i informatsionnykh resursov dlia obespecheniia monitoringa prirodnykh pozharov [Analysis of technical means and information resources for monitoring natural fires]. *Aktualnye voprosy pozharotusheniia: sbornik materialov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaia pozharно-spatelnaia akademiia GPS MChS Rossii, 2025, pp. 267–270. EDN: IGCKKR.

9. Kalashnikov D. V., Aparin A. A., Semenov A. O. Analiz sposobov nazemnogo monitoringa prirodnykh pozharov s ispolzovaniem teplovizorov [Analysis of ground-based monitoring methods for natural fires using thermal imagers]. *Aktualnye voprosy pozharotusheniia: sbornik materialov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaia pozharно-

spasatelnaia akademiia GPS MChS Rossii, 2025, pp. 271–275. EDN: MPNKJD.

10. Sistema informacionnogo obespecheniya i upravleniya polyotami vozdukhnykh sudov pri monitoringe chrezvychnykh situatsiy i pozharov [System for information support and flight control of aircraft during monitoring of emergencies and fires] / A. N. Korotonoshko, N. G. Topolskij, V. V. Simakov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2020, vol. 1 (87), pp. 51–66. DOI: 10.25257/TTS.2020.1.87.51-66. EDN: LFBCVP.

11. Mixajlov K. A., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Informacionnaya sistema i matematicheskaya model' dlya organizatsii razvedki pozhara v zdaniyax s primeneniem sredstv monitoring [Information system and mathematical model for organizing fire reconnaissance in buildings using monitoring tools]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 4 (49), pp. 84–93. EDN: OOVVQC.

12. Sovershenstvovanie informacionnogo obespecheniya grupp razvedki pozhara pri ego monitoringe v zdanii s ispol'zovaniem infrakrasnykh tekhnologij [Improving the information support for fire reconnaissance teams during fire monitoring in a building using infrared technologies] / N. G. Topolskij, D. V. Tarakanov, K. A. Mixajlov [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2019, vol. 28, issue 3, pp. 89–97. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.89-97. EDN: HWTSCS.

13. Kuznecov A. V., Butuzov S. Yu., Tarakanov D. V. Algoritm ocenki vazhnosti zadach organizatsii monitoringa krupnogo pozhara [Algorithm for assessing the importance of tasks related to monitoring a large fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2(43), pp. 27–33. EDN: KIOOMA.

14. Kuznecov A. V. Model' ciklicheskogo monitoringa krupnykh pozharov i poiskovo-spatel'nykh rabot [A model for cyclical monitoring of major fires and search and rescue operations]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, vol. 4 (41), pp. 18–23. EDN: KLWLVM.

15. Aparin A. A. Bazovye polozheniya podderzhki priniatiia reshenii pri upravlenii podrazdeleniyami pozharnoi okhrany [Basic provisions for decision support in managing fire departments]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2021, vol. 3 (93), pp. 88–102. DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.88-102. EDN: FBEOO.

16. Aparin A. A. Informatsionnoe obespechenie podderzhki priniatiia reshenii pri operativnom poiske sredstv videomonitoringa [Information support for decision-making during the operational search for video monitoring tools]. *Novye tekhnicheskie, organizatsionnye i metodicheskie resheniya v oblasti pozharnoi bezopasnosti: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii*

molodykh uchenykh, priurochennoi ko Dniu rossiiskoi nauk. Balashikha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2025, pp. 114–118. EDN: LQQTHT.

17. Informatsionnaya podderzhka spetsialistov operativnoi dezhurnoi smeny Tsentra upravleniya v krizisnykh situatsiyakh na osnove sovremennykh tekhnologij [Information support for the operational duty shift specialists of the Crisis Management Center based on modern technologies] / E. F. Razumova, A. O. Semenov, A. A. Aparin [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 134–141. EDN: TFPJCZ.

18. Aparin A. A., Tarakanov D. V. Informatsionnye resursy dlya planirovaniia videomonitoringa deistvii po tusheniiu tekhnogenogo pozhara [Information resources for planning video monitoring of firefighting operations]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2022, vol. 1 (95), pp. 121–130. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.121-130. EDN: PIIFYC.

19. Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi regis-tratsii programmy dlya EVM RU 2023689145. Programma dlya formirovaniia podborki operativnoi videoinformatsii dlya operativnykh dolzhnostnykh lits pozharo-spatelnogo garnizona [A program for creating a selection of operational video information for operational officials of the fire and rescue garrison], byulleten № 1, 1 p.

20. A. A. Aparin, A. O. Semenov, E. F. Razumova [et al.]. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi regis-tratsii programmy dlya EVM RU 2024688213. Programma dlya obobshcheniya razlichnykh vidov informatsii, postupaiushchikh v operativnuiu dezhurnuiu smenu TsUKS na rannem etape organizatsii reagirovaniia [A program for summarizing various types of information received by the operational duty shift of the Central Control and Coordination Center at an early stage of organizing a response], byulleten № 12, 1 p.

21. Aparin A. A., Semenov A. O., Razumova E. F. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi regis-tratsii programmy dlya EVM RU 2025664199. Programma dlya formirovaniia vidzheta dlya videosteny Tsentra upravleniya v krizisnykh situatsiyakh [A program for creating a widget for the Crisis Management Center's video wall], byulleten № 6, 1 p.

22. A. O. Semenov, N. G. Topolskij, D. V. Tarakanov [et al.]. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi regis-tratsii programmy dlya EVM RU 2018664021. Model razvitiya pozharov na otkrytom prostranstve s ispol'zovaniem kletochnogo avtomata [A model for the development of fires in open spaces using a cellular automaton], byulleten № 12, 1 p.

Апарин Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, преподаватель кафедры

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Aparin Alexander Alexandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, teacher of the department

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Семенов Алексей Олегович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доцент кафедры, кандидат технических наук

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Semenov Alexey Olegovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

associate professor of the department, candidate of technical sciences

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Разумова Екатерина Фёдоровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель кафедры, кандидат технических наук

E-mail: razumova1210@gmail.com

Razumova Ekaterina Fedorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

senior teacher of the department, candidate of technical sciences

E-mail: razumova1210@gmail.com

Балобанов Андрей Александрович

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,

Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

доцент кафедры, кандидат технических наук

E-mail: a.balobanov@igps.ru

Balobanov Andrey Aleksandrovich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg

associate professor of the department, candidate of technical sciences

E-mail: a.balobanov@igps.ru

УДК 614.842.83.07/08

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ВОЗДУШНОМ СУДНЕ

А. В. ЕРМИЛОВ, А. В. КУЗНЕЦОВ, С. Н. НИКИШОВ, И. В. БАГАЖКОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: skash_666@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru, mordov5988@mail.ru, big-99@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности воздушных судов и оптимизации действий аварийно-спасательных подразделений при ликвидации возгораний.

Цель статьи: исследовать тактические возможности аэродромных пожарных автомобилей по подаче огнетушащих веществ на тушение пожара воздушного судна и уточнить алгоритм действий руководителя тушения пожара, являющегося составной частью поддержки принятия управленческих решений.

Для достижения поставленной цели применялись следующие **методы исследования:** анализ статистики авиационных происшествий за период 2016–2023 гг. с целью выявления основных аварийных ситуаций, связанных с пожаром; анализ тактических возможностей пожарных автомобилей с целью определения расхода основных лафетных стволов, установленных на надстройке пожарного автомобиля; анализ специальной литературы с целью определения особенностей эксплуатации лафетных стволов на месте ликвидации аварийной ситуации; моделирование дальности подачи огнетушащих веществ для определения оптимальных расстояний боевых позиций аэродромных пожарных автомобилей; синтез действий руководителя тушения пожара, включающий оценку оперативной обстановки, организацию подачи огнетушащих средств и тактику тушения пожара.

Результаты исследования. Анализ сертификатов соответствия аэродромных автомобилей, используемых в гражданской авиации Российской Федерации, позволил уточнить, что номинальный расход воды и водного раствора пенообразователя в большинстве характеристик лафетных стволов составляет 60 л/с. Результаты моделирования показали, что максимальная дальность подачи огнетушащих веществ достигается при углах подъема ствола 26–30 градусов. При отрицательных углах, например, при –15 градусах, дальность снижается до 9–10 метров. При расходе ствола 40 л/с и напоре 40 м вод. ст. дальность подачи составляет 49 м; при напоре 50 м вод. ст. – 54,4 м; при напоре 60 м вод. ст. – 59,6 м; при напоре 70 м вод. ст. – 64,3 м; при напоре 80 м вод. ст. – 69 м. При расходе ствола 60 л/с и напоре 60 м вод. ст. дальность подачи составляет 64,2 м; при напоре 70 м вод. ст. – 72,3 м; при напоре 80 м вод. ст. – 76 м; при напоре 90 м вод. ст. – 79,6 м; при напоре 100 м вод. ст. – 82 м. Полученные результаты позволили уточнить алгоритм действий руководителя тушения пожара, который состоит из трех блоков: блок 1 – следование к месту аварии; блок 2 – разработка тактического замысла; блок 3 – действия в процессе тушения пожара. Предложенный алгоритм интегрируется в систему поддержки принятия управленческих решений, повышая эффективность ликвидации аварийных ситуаций.

Новизна исследования заключается в комплексном подходе к управлению тушением пожаров на воздушном судне, включая анализ статистических данных, моделирование и разработку алгоритма действий руководителей тушения пожара.

Ключевые слова: воздушные суда, площадь пожара, управленческое решение, руководитель тушения пожара, лафетные стволы, алгоритм тушения.

SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISIONS IN FIRE EXTINGUISHING ON AN AIRCRAFT

A. V. ERMILOV, A. V. KUZNETSOV, S. N. NIKISHOV, I. V. BAGAZHKOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: skash_666@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru, mordov5988@mail.ru, big-99@mail.ru

The article examines the issues of ensuring the fire safety of aircraft and optimizing the actions of emergency rescue units in the elimination of fires.

The purpose of the article is to investigate the tactical capabilities of airfield fire trucks to supply fire extinguishing agents to extinguish an aircraft fire and to clarify the algorithm of actions of the fire extinguishing manager, which is an integral part of management decision support.

To achieve this goal, the following research **methods** were used: analysis of aviation accident statistics for the period 2016-2023 in order to identify the main fire-related emergencies; analysis of the tactical capabilities of fire trucks in order to determine the consumption of the main carriage barrels installed on the superstructure of the fire truck; analysis of special literature in order to determine the features in the operation of carriage barrels on site emergency response; modeling of the range of fire extinguishing agents to determine the optimal distances for the combat positions of airfield fire trucks; synthesis of the actions of the fire extinguishing manager, including an assessment of the operational situation, the choice of a decisive direction, the organization of the supply of extinguishing agents and fire extinguishing tactics.

The results of the study. An analysis of the certificates of conformity of airfield vehicles used in civil aviation of the Russian Federation made it possible to clarify that the nominal consumption of water and an aqueous solution of foaming agent in most characteristics of carriage barrels is 60 liters/s. The simulation results showed that the maximum range of fire extinguishing agents is reached at barrel elevation angles of 26-30 degrees. At negative angles, for example, at -15 degrees, the range is reduced to 9-10 meters. With a barrel flow rate of 40 l/s and a pressure of 40 m of water, the supply range is 49 m, at a pressure of 50 m of water – 54.4 m, at a pressure of 60 m of water – 59.6 m, at a pressure of 70 m of water – 64.3 m, at a pressure of 80 m of water – 69 m. With a barrel flow rate of 60 l/s and a pressure of 60 m of water, the supply range is 64.2 m, at a pressure of 70 m of water, 72.3 m, at a pressure of 80 m of water, 76 m, at a pressure of 90 m of water – 79.6 m, at a pressure of 100 m of water – 82 m. The results obtained made it possible to clarify the algorithm of actions of the fire extinguishing manager, which consists of three blocks: block 1 – following the accident site; block 2 – developing a tactical plan.; Block 3 – actions in the process of extinguishing a fire. The proposed algorithm is integrated into the management decision support system, increasing the efficiency of emergency response.

The novelty of the research lies in an integrated approach to fire extinguishing management in an aircraft, including statistical data analysis, modeling, and the development of an action algorithm for fire extinguishing managers.

Keywords: aircraft, fire area, management decision, fire extinguishing supervisor gun carriage trunks, extinguishing algorithm.

Введение

Воздушный транспорт играет ключевую роль в глобальной экономике, обеспечивая высокоскоростные грузовые и пассажирские перевозки, развитие международной торговли и туризма. Для многих государств авиация является стратегически важной отраслью, вносящей значительный вклад в валовой внутренний продукт. Согласно ежегодному отчету о технике безопасности International Civil Aviation Organization (далее – ICAO) в 2023 году мировой пассажиропоток продолжал расти после спада из-за пандемии, вызванной вирусом COVID-19. По всему миру было перевезено около 4,2 миллиарда пассажиров, по сравнению с 3,2 миллиардами пассажиров в 2022 году. Несмотря на то, что пассажиропоток в 2023 году был ниже докризисного уровня (2019 год), когда по всему миру было перевезено 4,5 миллиарда пассажиров, в 2023 году он вырос по сравнению с 2022 годом примерно на 30 %. Количество рейсов регулярных коммерческих перевозок про-

должало расти: в 2023 году их число составило более 35 миллионов, по сравнению с примерно 31 миллионом в 2022 году¹.

Интенсивная эксплуатация воздушных судов нередко связана с аварийными ситуациями, в том числе с человеческими жертвами. В ICAO существует 36 категорий авиационных происшествий. Пожары, связанные с воздушными судами, представляют собой одну из наиболее опасных аварийных ситуаций, способных привести к катастрофическим последствиям не только в плане человеческих жертв, но и значительных экономических потерь. Поэтому для исследования представляются интересными две категории: F-NI – пожар или задымление внутри или на борту воздушного судна, в полёте или на земле, не являющиеся результатом столкновения; F-POST – пожар/задымление, возникшее в результате удара. Примеры аварийных ситуаций по категориям F-NI и F-POST на воздушных судах за 2016-2023 гг. рассмотрены в табл. 1.

¹ Safety Report. International Civil Aviation Organization, 2024. 29 p.

Таблица 1. Аварийные ситуации на воздушных судах за 2016-2023 гг.

Дата	Вид воздушного судна	Страна	Код аварийной ситуации	Жертвы со смертельным исходом
2016-07-27	ATR ATR72	Morocco	F-NI	-
2017-03-28	Boeing 737-300	Peru	F-POST	-
2018-01-05	Boeing 737-800/ Boeing 737-800	Canada	GCOL, F-POST, EVAC	-
2018-02-13	Airbus A330-200	Nigeria	SCF-PP, F-NI, EVAC	-
2018-03-12	de Havilland Dash 8-400	Nepal	RE, F-POST, ARC	51
2018-04-18	Airbus A330-323	United States	SCF-PP, F-NI	-
2018-07-28	ATR 72-212A	Vanuatu	RE, F-NI, LOC-G, SCF-PP	-
2019-02-28	Embraer ERJ 190-200	United Kingdom	F-NI, EVAC	-
2019-05-05	Sukhoi Superjet 100-95B	Russian Federation	ARC, WSTRW, RE, F-NI, EVAC	41
2019-06-27	Antonov An-24RV	Russian Federation	RE, SCF-PP, F-POST	2
2019-08-27	Airbus A330-300	China	F-NI	-
2020-07-22	Boeing 777-200F	China	F-NI	-
2021-08-23	Boeing 737-900	United States	EVAC, F-NI	-
2022-05-12	Airbus A319-100	China	RE, F-POST, EVAC	-
2022-06-21	Boeing MD80	United States	ARC, RE, F-POST, EVAC, SCF-NP	-
2022-07-18	Fokker50	Somalia	ARC, WSTRW, LOC-I, F-POST, RE	-
2022-11-18	Airbus A320-200	Peru	2 RI, ADRM, F-POST	2
2023-01-15	ATR ATR72-200	Nepal	LOC-I; F-POST	72
2023-09-30	BOEING 737-9 Max	United States	F-NI	-

Проанализировав примеры пожаров на воздушных судах, можно утверждать, что в большинстве случаев чрезвычайная ситуация представляет собой совокупность аварийных ситуаций, среди которых встречаются:

1. ARC – любая посадка или взлёт, при которых происходит ненормальный контакт с взлётно-посадочной полосой или её поверхностью.

2. EVAC – происшествие, при котором: (а) человек (люди) был (были) травмированы во время эвакуации; (б) была проведена ненужная эвакуация; (в) эвакуационное оборудование не сработало должным образом; или (г) эвакуация усугубила тяжесть происшествия.

3. GCOL – столкновение при рулении на взлётно-посадочную полосу или с ней.

4. LOC-G – потеря управления воздушным судном на земле.

5. RE – уход на второй круг или выезд за пределы взлётно-посадочной полосы.

6. RI – любое происшествие на аэродроме, связанное с неправильным размещением воздушного судна, транспортного средства или человека на охраняемой территории, предназначенной для посадки и взлёта самолётов.

7. SCF-NP – отказ/или неисправность системы или компонента воздушного судна кроме силовой установки.

8. SCF-PP – отказ/или неисправность системы или компонента воздушного судна, связанного с силовой установкой.

9. WSTRW – полет в условиях сдвига ветра или грозы.

Таким образом, обеспечение безопасности воздушных судов остается одним из ключевых аспектов, определяющих устойчивость и эффективность функционирования авиации. Так, в трудах А.Н. Бочкарева указывается, что предотвращение пожаров в аэропортах и, в частности, их оперативное тушение возможно с помощью

организованной системы авиационной безопасности и противопожарного обеспечения объектов аэропорта и полетов воздушных судов [1]. С целью быстрого реагирования на аварийные ситуации в аэропорту и на прилегающей территории создается специальная группа экстренного реагирования – служба противопожарного и аварийно-спасательного обеспечения полетов (далее – СПАСОП). Аварийно-спасательная команда состоит из профессионально подготовленных спасателей, специализированной техники (аэродромных пожарных автомобилей), средств для эвакуации пострадавших и оборудования для оказания первой медицинской помощи. При ликвидации аварий должностные лица СПАСОП выполняют обязанности по следующим нештатным должностям: руководитель тушения пожаров; командир звена газодымозащитной службы; постовой на посту безопасности ГДЗС; газодымозащитник; ствольщик (подствольщик); наблюдатель за взлетом и посадкой воздушного судна. Команда постоянно находится в состоянии повышенной готовности, что позволяет немедленно приступить к ликвидации последствий нештатных ситуаций, таких как возгорание воздушных судов на взлетно-посадочной полосе и аварийные посадки.

Быстрота реагирования СПАСОП при возникновении пожаров на воздушных судах имеет критически важное значение, так как пожары развиваются стремительно с интенсивным выделением тепла и токсичных веществ, что создает смертельную опасность для находящихся на борту людей. Наглядным примером является трагедия с воздушным судном Sukhoi Superjet 100-95B, произошедшая 5 мая 2019 года. При жесткой посадке произошла разгерметизация топливных баков с последующим возгоранием авиационного керосина под фюзеляжем. Полная остановка воздушного судна произошла в 18 ч 30 мин 37 с (рис. 1). На момент подачи первого лафетного ствола на тушение пожара в 18 ч 32 мин 12 с (через 1 мин 35 с после начала аварии) были сильно деформированы хвостовая часть самолета и задняя часть фюзеляжа (рис. 2).

Из анализа катастрофы можно сделать вывод, что первые минуты после возникновения пожара являются решающими. Поэтому на законодательном уровне установлены нормативы прибытия и боевого развертывания подразделения на место аварии в пределах 3-6 минут².



Рис. 1. Остановка горящего Sukhoi Superjet 100-95B на взлетно-посадочной полосе в 18 ч 30 мин 37 с



Рис. 2. Состояние фюзеляжа Sukhoi Superjet 100-95B в 18 ч 32 мин 12 с (подача первого лафетного ствола от аэродромного автомобиля)

² Приказ Министерства транспорта РФ от 26 ноября 2020 г. № 517 «Об утверждении Федеральных

авиационных правил «Аварийно-спасательное обеспечение полетов воздушных судов»

Дисциплина «пожарная тактика» подробно раскрывает технологию ликвидации аварийных ситуаций, связанных с пожаром на воздушном судне [7]. Существует четыре сценария возникновения пожара: пожар в силовой установке; пожар шасси; пожар в пассажирском салоне (внутри фюзеляжа); пожар разлитого авиатоплива. Каждый из сценариев требует своего подхода к ликвидации горения. Так, при пожаре шасси применяется порошок, создающий корку на магниевом сплаве и её дальнейшее охлаждение водой. При пожаре в пассажирском салоне применяется CO_2 , подаваемый через стволы-пробойники и подача воды или водного раствора пенообразователя ручными пожарными стволами. Пожар силовой установки и разлив авиатоплива ликвидируется мощными струями раствора пенообразователя из лафетных стволов [2]. Первичное размещение пожарных автомобилей выбирается с приоритетом защиты путей эвакуации из воздушного судна от опасных факторов пожара. Следовательно, при каждом сценарии развития аварийной ситуации возникает потребность в охлаждении воздушного судна путем подачи воздушно-механической пены на фюзеляж из лафетных стволов, размещенных на надстройке пожарных автомобилей. Также стоит отметить, что аэродромные пожарные автомобили подают огнетушащие вещества без установки на водоисточники – следовательно, руководитель тушения пожара обязан учитывать их тактические возможности [3]. Таким образом, при организации действий по ликвидации последствий авиационного происшествия руководитель тушения пожара принимает управленческие решения о выборе оптимальной боевой позиции пожарного автомобиля.

В трудах Найденовой Л. И. и Каримовой Л. Ф. под процессом принятия управленческих решений представляется непрерывный

цикл действий, в ходе которого руководитель последовательно решает возникающие проблемы [4]. Следовательно, руководитель тушения пожара в пути следования к месту аварийной ситуации обязан произвести анализ вида пожара (шасси, силовая установка, фюзеляж, разлив авиационного керосина под фюзеляжем), оценить сложность профессиональной ситуации, выбрать способ ликвидации аварии, разработать альтернативы тактических замыслов ликвидации аварии и выбрать наилучшую из них, определить боевые позиции пожарных автомобилей и личного состава. Итогом цикла действий является оценка эффективности реализации оперативно-тактических действий.

Качество принятия управленческих решений руководителем тушения пожара зависит от совокупности внешних и внутренних факторов (рис. 3). К внешним факторам относятся объем информации об аварийной ситуации, время развития пожара, особенности рельефа, угол наклона поверхности, направление воздушных потоков, тактические возможности подразделения, а также применение систем поддержки принятия решений (программных инструментов, помогающих анализировать большие данные и вырабатывать оптимальные решения в сложных и многовариантных ситуациях [5]). К внутренним факторам относятся профессиональное мастерство руководителя тушения пожара и мотивация качественного принятия решений.

На основе анализа выделенной проблемы нами поставлена цель статьи – исследовать тактические возможности аэродромных пожарных автомобилей по подаче огнетушащих веществ на тушение пожара воздушного судна и уточнить алгоритм действий руководителя тушения пожара, являющегося составной частью поддержки принятия управленческих решений.

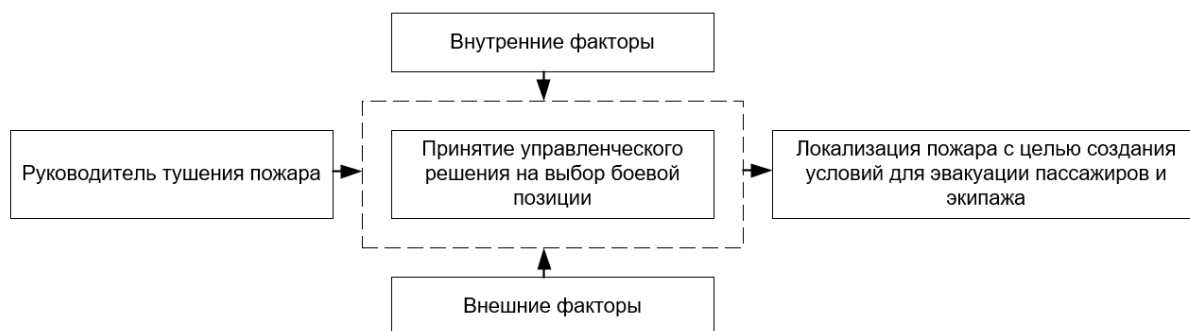


Рис. 3. Причинно-следственная блок-схема принятия управленческого решения руководителем тушения пожара

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать производительность лафетных стволов, устанавливаемых на пожарные надстройки автомобилей.

2. С помощью программного обеспечения «Баллистика», разработанного ООО «Инженерный центр «ЭФЭР», исследовать дальность подачи огнетушащих веществ в зависимости от изменяющегося расхода вещества и напора в стволе.

3. С учётом полученных данных уточнить алгоритм действий руководителя тушения пожара по выбору боевой позиции.

Результаты исследования

В Российской Федерации на вооружении СПАСОП находятся пожарные автомобили следующих производителей: ООО «Авто

Техника»; Albert Ziegler GmbH; АО «Брянский автомобильный завод»; АО «Варгашинский завод противопожарного и специального оборудования»; ОАО «Пожснаб»; ООО «Приоритет»; Rosenbauer International AG; ООО «Производственно-коммерческая фирма Спецдормаш»; ООО «Производственная компания Техник-Ком-Центр»; ПАО «Туймазинский завод автобетоновозов»; ООО «Унимод»; АО «Уральский завод пожарной техники»; ООО «Уральский завод противопожарной защиты». Пожарные автомобили оснащаются основными и вспомогательными лафетными стволами. Вспомогательные лафетные стволы устанавливаются на бампере пожарного автомобиля. При ликвидации аварийной ситуации в первую очередь задействуют основные лафетные стволы. Производительность основных стволов приведена в табл. 2.

Таблица 2. Производительность основных лафетных стволов, устанавливаемых на пожарную надстройку аэродромных автомобилей

Производитель	Пожарный автомобиль	Номинальная производительность лафетного ствола, л/с
ООО «Авто Техника»	AA-8,0/(30-60)(43118)	30...60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-8,0/(30-60)(4320)	30...60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
Albert Ziegler GmbH	Ziegler Advancer FLF-30/90-12+60C02	50
АО «Брянский автомобильный завод»	AA-12,5-70/100 (8080) модель СПСА	62 (ствол КРФ-ЛСД-С80(60-90)У)
АО «Варгашинский завод противопожарного и специального оборудования»	AA-13,0-(60-100)-50/3 (6560)	60
	AA-9,0-(40-70) (65222)	60
	AA-8,5-(40-70)-50/3 (43118)	воды – 60 водного раствора пенообразователя – 50
	AA-8,0-(40-70) (4320),	60
	AA-8,7(60)-50/3 (4320)	60
	AA-10,0-70 (VOLVO)	60
	AA-12,0-70 (63501)	60
	AA-13,4-(40-70) (65222)	70
	ААБР-3,8/(20-30) (MAN)	32
ОАО «Пожснаб»	AA-7,0/70-50/3 (4311)	50
	AA-4,0-70 (5309)	30 при непрерывной подаче раствора в течении 120 с
	AA-12,0-100 (6318)	63 при непрерывной подаче раствора в течении 180 с
ООО «Приоритет»	AA-12,0-60 (63501)	60
	AA-10,0-(60-100) (65222)	80
	AA-8,0-60 (43118)	60
	AA-8,0-60(4320)	60
	AA-12,0- (70-100) (65222)	60
	AA-10,0-(60-100) (IVECO)	60
	AA-9,0-(60-100) (65222)	60
Rosenbauer International AG	AA 11,0-100 (Rosenbauer FLF 11000 Buffalo)	50 или 100

Производитель	Пожарный автомобиль	Номинальная производительность лафетного ствола, л/с
	ARFF FLF 11000 BUFFALO SCANIA 6x6	50 или 100
	PANTHER 6x6 NEW	67 максимальная – 150
ООО «Производственно-коммерческая фирма «Спецдормаш»	AA-7,5/70(43118)	60
ООО «Производственная компания «Техником-Центр»	AA-8,0/60-50/3 (43118) мод.51-ТВ	60
ПАО «Туймазинский завод автобетоновозов»	AA-8,0/70 (43118)	60
ООО «Унимод»	AA-3,6-40/4 (5387)	30
	AA-8,0-70 (43118)	воды – 60 водного раствора пенообразователя – 50 (ствол ЛС-С60У)
АО «Уральский завод пожарной техники»; ООО «Уральский завод противопожарной защиты»	AA-12/60 (3043)	60
	AA-12/60 (3055)	60
	AA-12/60 (6318)	60
	AA-12/60 (63501)	60
	AA-9,0/(30-60) (3043)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-8,5/(30-60) (43118)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-8,5/(30-60) (6302)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-8,0/(30-60) (43118)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-13/60 (6560)	60
	AA-12/60 (VOLVO)	66 (максимальная производительность)
	AA-9,0/(30-60) (6318)	70 (максимальная производительность)
	AA-9,0/(30-60) (65224)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	AA-8,0(30-60) (4320)	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)
	ААБР-3,8/(20-30) (MAN)	от 20 до 30 (производительность ствола выбирается заказчиком)
ООО «Уральский завод противопожарной защиты»	AA-8,0/(30-60) (4320) модель 004-УПЗ	от 30 до 60 (производительность ствола выбирается заказчиком)

В сертификатах соответствия объектов служб поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов гражданской авиации указывается номинальный расход воды и водного раствора пенообразователя. Данный расход находится в диапазоне от 30 л/с (AA 8,0 (30-60) (43118)) до 150 л/с (PANTHER 6×6 NEW) и зависит от вида автомобиля. Однако, согласно табл. 2, в большинстве случаев аэродромные автомобили оснащаются лафетными стволами 60 л/с.

В трудах О. С. Малютина указывается, что в настоящее время при решении задач организации работы экстренных служб преимущественно применяются компьютерное и математическое моделирование различных ситуаций [6]. Проведем моделирование дальности подачи огнетушащих веществ лафетным стволом, установленным на надстройку пожарного автомобиля, на примере воздушного судна Sukhoi Superjet 100. Схема подачи огнетушащих веществ показана на рис. 4.

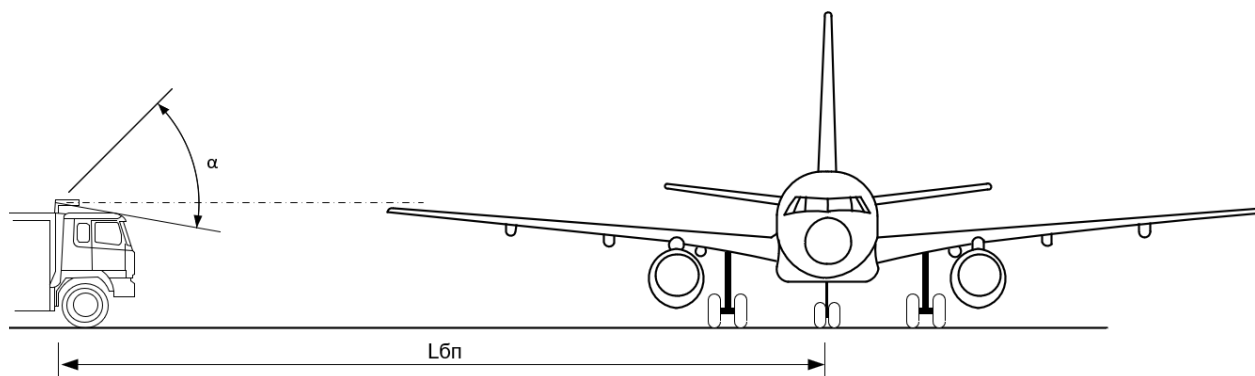


Рис. 4. Схема подачи огнетушащих веществ, где: α – угол подъема лафетного ствола;

$L_{бп}$ – расстояние, на котором установлен пожарный автомобиль до воздушного судна

Высота лафетного ствола, установленного на пожарной надстройке, равна 3 м. Также в специальной литературе указывается, что угол поворота лафетного ствола аэродромного пожарного автомобиля в горизонтальной плоскости должен быть 360 градусов, в вертикальной – от -15 до 75 градусов¹⁰. В данной литературе также подчеркивается, что минимальный расход лафетного ствола зависит от колесной формулы автомобиля. Например, не менее 40 л/с для колесной формулы 4×4, 60 л/с для колесной формулы 6×6 и 100 л/с для колесной формулы 8×8.

Таким образом, в экспериментальной работе на основе требований специальной литературы и анализа тактических возможностей пожарных автомобилей нами приняты два расхода лафетного ствола: 40 л/с и 60 л/с. Для лафетного ствола производительностью 40 л/с минимальный напор в стволе равен 40 м вод. ст.; максимальный – 80 м вод. ст. Для лафетного ствола производительностью 60 л/с минимальный напор в стволе равен 60 м вод. ст.; максимальный – 100 м вод. ст.

Анализ тактических возможностей пожарных автомобилей показал, что в сертификатах соответствия объектов служб поискового и

аварийно-спасательного обеспечения полетов гражданской авиации не указывается тип основных лафетных стволов, а только их номинальная или максимальная производительность. Только два производителя – АО «Брянский автомобильный завод» и ООО «Унимод» уточняют эту особенность. Эта особенность позволяет нам применить в экспериментальной работе программное обеспечение «Баллистика», разработанное ООО «Инженерный центр ЭФЭР»¹¹. Стоит также отметить, что данное программное обеспечение предназначено для моделирования траекторий струй лафетных стволов, выпускаемых ООО «Инженерный центр ЭФЭР» (г. Петрозаводск), которые не противоречат требованиям к аэродромным пожарным автомобилям и потенциально могут быть установлены на их надстройку в качестве основных.

Результаты моделирования подачи огнетушащих веществ показали, что наибольшая дальность подачи наблюдается при 26-30 градусах подъема ствола. Минимальное расстояние для подачи огнетушащих веществ при подъеме ствола на -15 градусов составляет 9-10 м.

¹⁰ ГОСТ 59213-2020 Техника пожарная. Аэродромные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний. п. 5.1.3.

¹¹Программа «Баллистика»: ЭФЭР Инженерный центр пожарной робототехники URL: [https:// firerobots.ru/support/design_help/ballistika](https://firerobots.ru/support/design_help/ballistika) (дата обращения 25.07.2025 г.)

При расходе ствола 40 л/с и напоре 40 м вод. ст. дальность подачи составляет 49 м; при напоре 50 м вод. ст. – 54,4 м; при напоре 60 м вод. ст. – 59,6 м; при напоре 70 м вод. ст. – 64,3 м; при напоре 80 м вод. ст. – 69 м (рис. 5).

При расходе ствола 60 л/с и напоре 60 м вод. ст. дальность подачи составляет 64,2 м; при напоре 70 м вод. ст. – 72,3 м; при напоре 80 м вод. ст. – 76 м; при напоре 90 м вод. ст. – 79,6 м; при напоре 100 м вод. ст. – 82 м (рис. 6).

Полученные данные могут быть включены в алгоритм выбора боевой позиции руководителем тушения пожара [7; 8] и позволят сократить время подачи огнетушащих веществ, что создаёт благоприятные условия для спасения человеческих жизней и оперативной

ликвидации горения воздушного судна. Такой алгоритм становится важнейшим элементом системы поддержки принятия управленческих решений. Алгоритм состоит из пяти этапов, реализуемых в трех блоках. **Блок 1** – следование к месту аварии (рис. 7). В данном блоке находится один этап профессиональной деятельности.

Этап 1. Получение сигнала и выдвижение к месту авиационного события. Руководитель тушения пожара осуществляет оценку информации о месте происшествия: координаты места происшествия на взлетно-посадочной полосе, тип воздушного судна, наличие пострадавших и вероятность разлива топлива. Далее определяется оптимальный маршрут движения пожарного автомобиля, исключая проезды через зоны обломков воздушного судна.

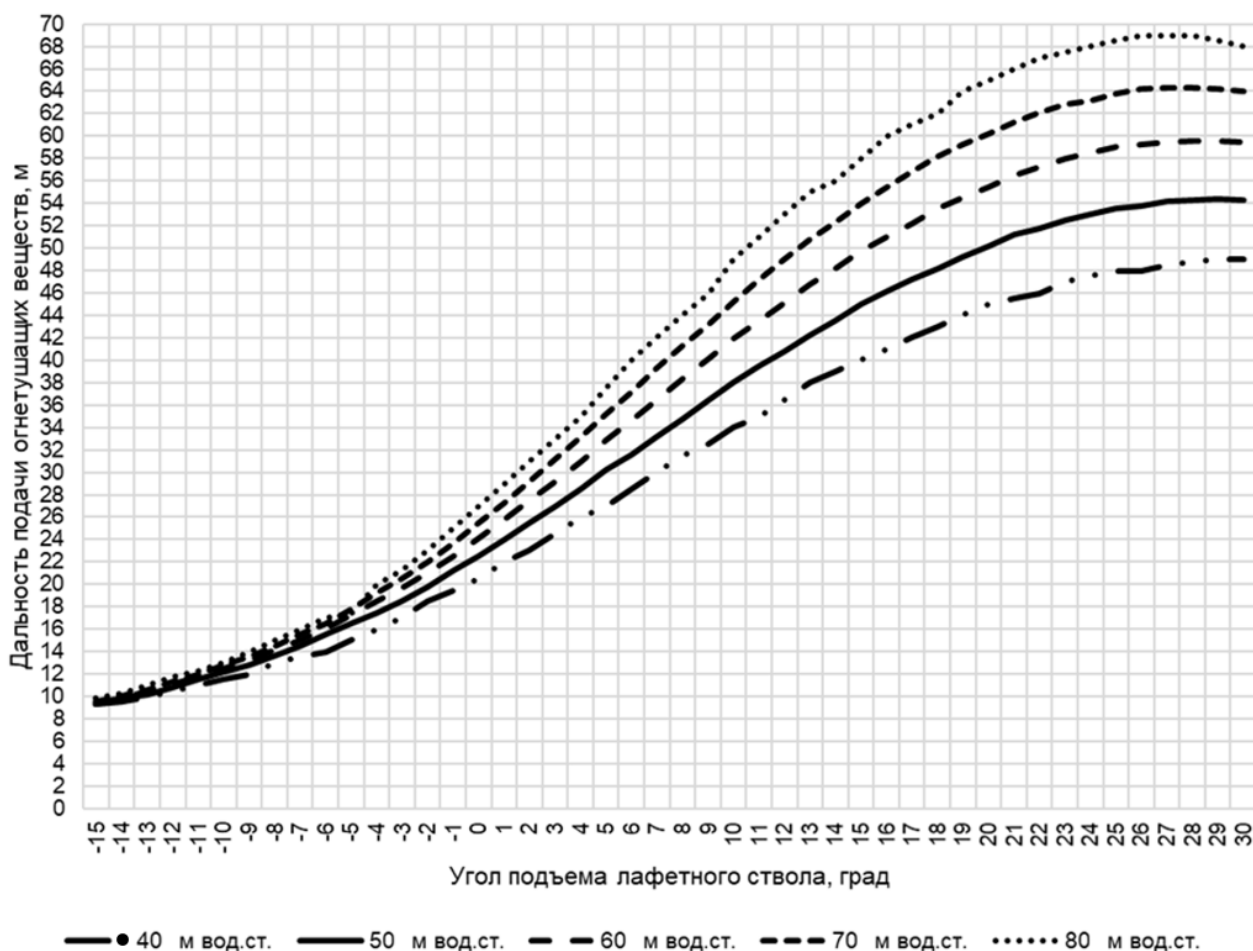


Рис. 5. Удаление боевой позиции пожарного автомобиля от воздушного судна в зависимости от напора в стволе с расходом 40 л/с и угла подъема ствола (для лафетных стволов производства ООО «Инженерный центр ЭФЭР»)

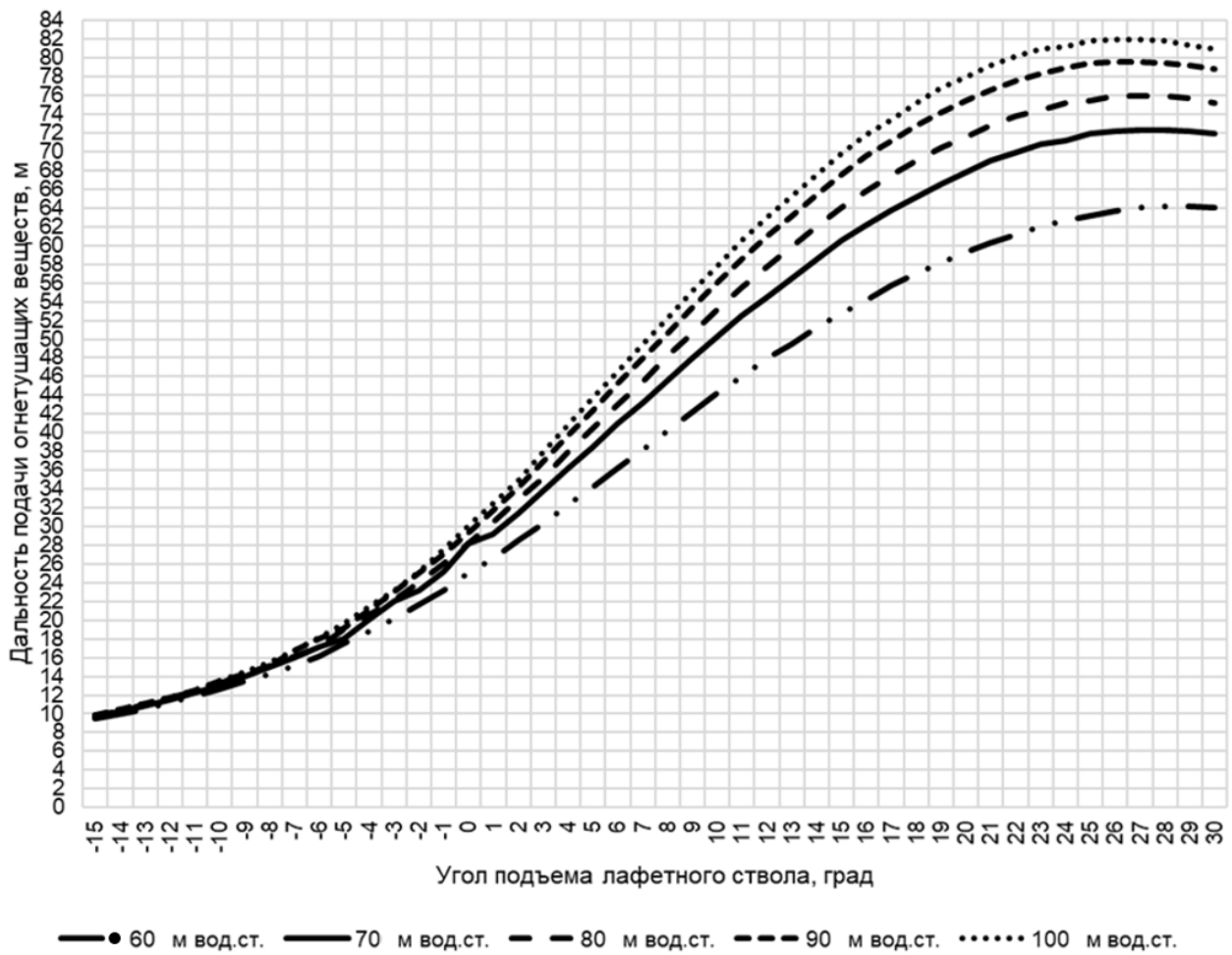


Рис. 6. Удаление боевой позиции пожарного автомобиля от воздушного судна в зависимости от напора в стволе с расходом 60 л/с и угла подъема ствола (для лафетных стволов производства ООО «Инженерный центр ЭФЭР»)

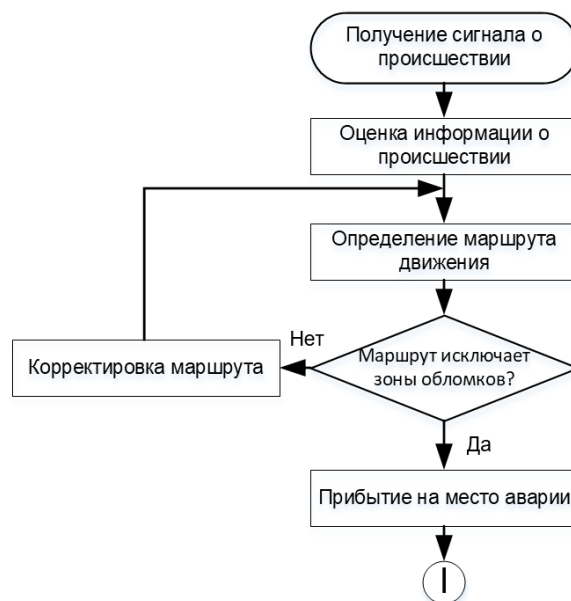


Рис. 7. Блок 1 – следование к месту аварии

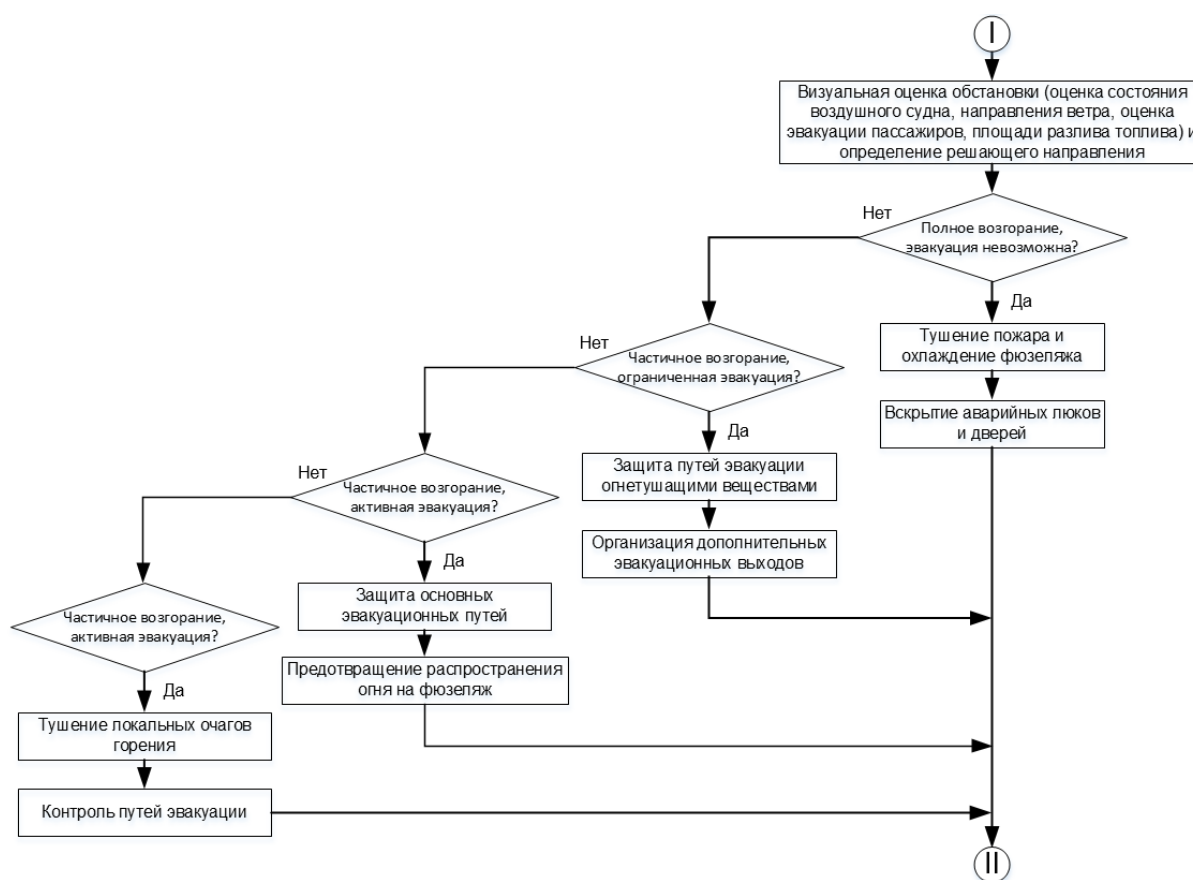


Рис. 8. Блок 2 – разработка тактического замысла

Блок 2 – разработка тактического замысла (рис. 8). В данном блоке находится один этап профессиональной деятельности.

Этап 2. Оценка обстановки по прибытии на место аварийной ситуации. Руководитель тушения пожара осуществляет визуальный осмотр с учетом: расположения и состояния воздушного судна (угол крена, повреждения, места возгорания); направления ветра; наличия эвакуации пассажиров экипажем; площади разлива авиатоплива. На данном этапе определяется решающее направление на основе сложности аварийной ситуации. При полном возгорании фюзеляжа и невозможности проведения эвакуации основные силы и средства сосредотачивают на тушение пожара и охлаждение фюзеляжа, организуют вскрытие аварийных люков и дверей. При частичном возгорании с ограниченной эвакуацией экипажем силы и средства сосредотачивают на защиту путей эвакуации огнетушащими веществами, организуют дополнительные эвакуационные выходы. При частичном возгорании и при активной эвакуации экипажем силы и средства сосредотачивают на защиту основных эвакуационных путей, а также предотвращают распространение огня на фюзеляж. При локальном возгорании без угрозы людям силы и средства

сосредотачивают на местах горения, предотвращают возможный взрыв, контролируют пути эвакуации.

Блок 3 – действия в процессе тушения пожара (рис. 9). В данном блоке находятся *три этапа* профессиональной деятельности.

Этап 3. Выбор первоначальной боевой позиции. Пожарный автомобиль размещается: с наветренной стороны для подачи водного раствора пенообразователя; на возвышенности (при наличии) для предотвращения стекания топлива в сторону пожарных; на безопасном расстоянии с учетом возможных взрывов, теплового излучения и создания свободного подъезда без блокировки путей для других пожарных машин.

Этап 4. Организация подачи огнетушащих веществ. Руководитель тушения пожара направляет лафетные стволы на максимальный охват фюзеляжа, особенно в зонах скопления топлива, с учетом угла установки и возможного расстояния от пожарного автомобиля до места горения, полученного в процессе экспериментальной работы (рис. 5 и 6). Также важно быть готовым к изменению боевых позиций при повторном возгорании из-за израсходования огнетушащих веществ.

Этап 5. Завершающий этап (после эвакуации). Перегруппировка пожарных авто-мобилей для ликвидации пожара. Обеспечение безопасного доступа аварийно-спасательных команд для извлечения пострадавших. Контроль за возможными скрытыми очагами горения.

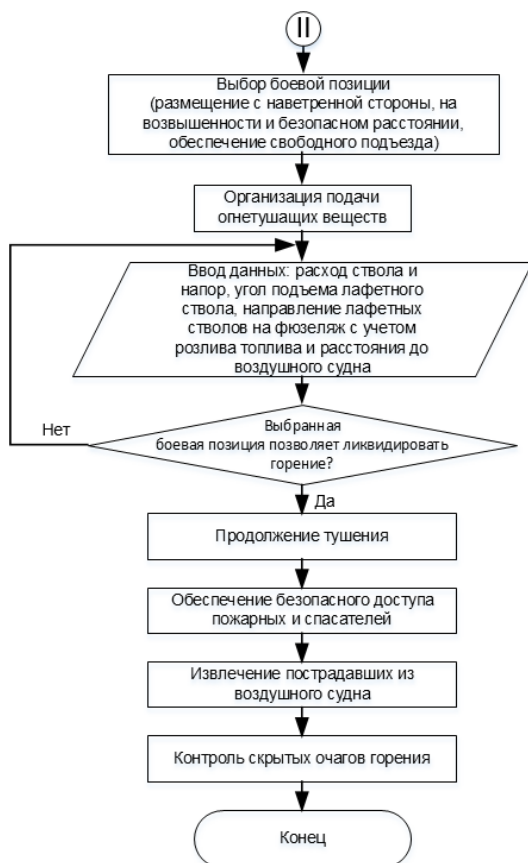


Рис. 9. Блок 3 – действия в процессе тушения пожара

Выводы

Анализ выпускаемой пожарной техники показывает, что аэродромные автомобили могут быть оснащены двумя стационарными лафетными стволами. Основной ствол устанавливается на пожарной надстройке. В специальной литературе отмечается, что лафетный ствол аэродромного пожарного автомобиля должен обеспечивать возможность поворота в горизонтальной плоскости на 360 градусов и в вертикальной плоскости в диапазоне от –15 до

75 градусов. Также указывается, что минимальный расход лафетного ствола зависит от колесной формулы автомобиля: для автомобилей с формулой 4×4 – не менее 40 л/с, с формулой 6×6 – не менее 60 л/с, и с формулой 8×8 – не менее 100 л/с. В сертификатах соответствия объектов служб поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов гражданской авиации на аэродромные автомобили в Российской Федерации указывается номинальный расход воды и водного раствора пенообразователя, который варьируется от 30 до 150 литров в секунду в зависимости от типа автомобиля. Наиболее распространенным вариантом является установка лафетных стволов с расходом 60 литров в секунду.

С помощью программного обеспечения «Баллистика», разработанного ООО «Инженерный центр «ЭФЭР», проведено моделирование подачи огнетушащих веществ для определения места размещения боевой позиции пожарного автомобиля. Результаты моделирования показали, что наибольшая дальность подачи достигается при углах подъема ствола в диапазоне 26-30 градусов. При отрицательных углах подъема ствола, например, при минус 15 градусах, минимальное расстояние для подачи огнетушащих веществ составляет 9-10 метров. При увеличении напора воды и расходе ствола 40 л/с дальность подачи огнетушащих веществ возрастает. Так, при напоре 40 метров водяного столба дальность составляет 49 метров, а при напоре 80 метров – 69 метров. При расходе ствола 60 л/с и аналогичном увеличении напора дальность подачи также возрастает: при напоре 60 метров водяного столба она составляет 64,2 метра, а при напоре 100 метров – 82 метра.

С учетом полученных данных уточнен алгоритм действий руководителя тушения пожара по выбору боевой позиции. Алгоритм состоит из пяти этапов, реализуемых в трех блоках, что позволяет оптимизировать процесс ликвидации возгорания на месте авиационной аварии. Благодаря этому алгоритму возможно сократить время подачи огнетушащих веществ и создать более благоприятные условия для спасения жизней и ликвидации горения. Особую ценность представляет интеграция алгоритма в современные системы поддержки принятия решений [9; 10].

Список литературы

1. Бочкарев А. Н. Анализ инцидентов, связанных с пожарами в аэропортах, и методы обеспечения пожаровзрывоопасности объектов воздушного транспорта // Пожаровзрыво-безопасность. 2008. Т. 17. № 4. С. 59–62.

2. Крымский В. В., Головенко В. Р. Особенности управления при тушении воздушных судов пожарными подразделениями // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 3. С. 115–124. DOI: 10.21685/2227-8486-2023-3-8.

3. Тарасов С. В., Пигусов Д. Ю.

Применение тактических возможностей отделения на основном пожарном автомобиле при тушении пожаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация, № 2, 2023, С. 44–55. DOI: 10.25257/FE.2023.2.44-55.

4. Найденкова Л. И., Каримова Л. Ф. Разработка и принятие управленческих решений: учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. – 56 с.

5. Багутдинов Р. А., Нарек А. С., Красноплахтыч М. А. Аналитика, инструменты и интеллектуальный анализ больших разнородных и разномасштабных данных // Экономика. Информатика. 2021. № 47. С. 792–802. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-4-792-802.

6. Малиутин О. С., Хабибулин Р. Ш. Обзор подходов, методов и алгоритмов обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. № 32(5). С. 60–77. <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.05.60-77>.

7. Теребнев В. В., Грачев В. А. Пожарная тактика: учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 547 с.

8. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

9. Информационная поддержка специалистов оперативной дежурной смены центра управления в кризисных ситуациях на основе современных технологий / Е. Ф. Разумова, А. О. Семенов, А. А. Апарин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 134–141.

10. Апарин А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реагировании на техногенный пожар // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 5–11.

References

1. Bochkarev A. N. Analiz incidentov, svyazannyh s pozharami v aeroportah, i metody obespecheniya pozharovzryvoopasnosti ob'ektov vozdušnogo transporta [Analysis of incidents related to fires at airports and methods for ensuring fire and explosion safety at air transport facilities]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2008, vol. 17, issue 4, pp. 59–62.

2. Krymskij V. V., Golovenko V. R. Oso-bennosti upravleniya pri tushenii vozdushnyh sudov pozharnymi podrazdeleniyami [Features of aircraft firefighting by fire departments]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve*, 2023, issue 3, pp. 115–124. DOI: 10.21685/2227-8486-2023-3-8

3. Tarasov S. V., Pigusov D. Yu. Prime-nenie takticheskikh vozmozhnostej otdeleniya na osnovnom pozharnom avtomobile pri tushenii pozharov [Using the tactical capabilities of the main fire truck to extinguish fires]. *Pozhary i chrezvy-chajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2023, issue 2, pp. 44–55. DOI: 10.25257/FE.2023.2.44-55

4. Najdenova L. I., Karimova L. F. *Raz-rabotka i prinyatie upravlencheskih reshenij: uchebnoye posobiye* [Development and Adoption of Management Decisions: Textbook]. Penza: Izd-vo PGU, 2020. 56 p.

5. Bagutdinov R. A., Narek A. S., Krasno-plahtych M. A. Analitika, instrumenty i intel-lectual'nyj analiz bol'shih raznorodnyh i razno-masshtabnyh dannyh [Analytics, tools, and intelli-gent analysis of large, heterogeneous, and mul-tiscale data]. *Ekonomika. Informatika*, 2021, is-sue 47, pp. 792–802. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-4-792-802.

6. Malyutin O. S., Habibulin R. Sh. Obzor podhodov, metodov i algoritmov obosnovaniya up-ravlencheskih reshenij po snizheniyu vremeni prib-ytiya podrazdelenij pozharnoj ohrany k mestu vyzova [Overview of approaches, methods, and al-gorithms for justifying management decisions to re-duce the time it takes for fire departments to arrive at a call site]. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*, 2023, vol. 32 (5), pp. 60–77. <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.05.60-77>

7. Terebnev V. V., Grachev V. A. *Pozharnaya taktika: uchebnik* [Fire tactics: a text-book]. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2015. 547 s.

8. Ivannikov V.P., Klyus P.P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Fire Extinguish-ing Supervisor's Handbook]. Moscow: Strojizdat, 1987. 288 p.

9. Informacionnaya podderzhka specialis-tov operativnoj dezhurnoj smeny centra upravleniya v krizisnyh situacijah na osnove sovremen-nyh tekhnologij [Information support for operational duty shift specialists at the crisis management center based on modern technologies] / E. F. Razu-mova, A. O. Semenov, A. A. Aparin [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 134–141.

10. Aparin A. A. Primenenie videomoni-toringa dlya informacionnoj podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij pri reagirovanii na tekhnogennyj pozhar [Application of video monitor-ing for information support of managerial decision-making in response to a man-made fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 3 (44), pp. 5–11.

Ермилов Алексей Васильевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат педагогических наук

E-mail: skash_666@mail.ru

Ermilov Aleksey Vasilevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of pedagogical sciences

E-mail: skash_666@mail.ru

Кузнецов Александр Валерьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Никишов Сергей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: mordov5988@mail.ru

Nikishov Sergey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: mordov5988@mail.ru

Багажков Игорь Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: big-99@mail.ru

Bagazhkov Igor Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: big-99@mail.ru

УДК 004.021

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

А. В. КУЗНЕЦОВ, И. В. БАГАЖКОВ, А. В. ЕРМИЛОВ, С. Н. НИКИШОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, big-99@mail.ru, skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru

В статье рассматривается процесс управления ресурсами при тушении пожаров в арктической зоне на складах лесоматериалов, где экстремальные условия требуют принципиально новых подходов. Разработана методика поддержки принятия управленческих решений, основанная на интеграции метода Фишберна и адаптивной маршрутизации беспилотных авиационных систем (БАС). Метод Фишберна обеспечивает объективное ранжирование боевых участков по важности решаемых задач на участках тушения крупных пожаров – ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС). Разработанная методика представляет собой практический инструмент для управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении крупных пожаров (ликвидации ЧС) в условиях арктической зоны, обеспечивая лиц, принимающих решения (ЛПР) объективной информацией для принятия решений в условиях дефицита ресурсов. Она решает три ключевые задачи: устраняет субъективность в оценке приоритетов, оптимизирует распределение ресурсов и поддерживает постоянный мониторинг ситуации. Реализация метода позволяет совершенствовать процесс тушения крупных пожаров за счет надежного информационного обеспечения должностных лиц на пожаре.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, оптимизация маршрутов, поддержка принятия решений, Арктическая зона, крупный пожар.

SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISION-MAKING TO DETERMINE THE OPTIMAL ROUTES FOR MOBILE MONITORING EQUIPMENT FOR LARGE FIRES IN THE ARCTIC ZONE

A. V. KUZNETSOV, I. V. BAGHAGKOV, A. V. ERMILOV, S. N. NIKISHOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, big-99@mail.ru, skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru

The article examines the process of resource management in extinguishing Arctic fires in timber warehouses, where extreme conditions require fundamentally new approaches. A management decision support methodology based on the integration of the Fishburne method and adaptive UAS routing has been developed. The Fishburne method provides an objective ranking of combat areas according to the importance of tasks to be solved in areas of extinguishing large fires (emergency response). The developed methodology is a practical tool for managing fire and rescue units when extinguishing large fires (emergency response) in the Arctic zone, providing decision makers with objective information for decision-making in conditions of resource scarcity. It solves three key tasks: eliminates subjectivity in assessing priorities, optimizes resource allocation, and supports constant monitoring of the situation. The implementation of the method makes it possible to improve the process of extinguishing large fires due to reliable information support for officials at the fire.

Key words: unmanned aircraft systems, route optimization, decision support, Arctic zone, large fire

Введение

Тушение пожаров на складах круглого леса и пиломатериалов представляет собой одну из наиболее сложных задач в практике пожарной охраны, характеризующуюся уникальным сочетанием факторов. Экстремальные параметры горения создают беспрецедентные условия: пожарная нагрузка достигает 600 кг/м^2 (против $20\text{--}50 \text{ кг/м}^2$ в жилых зданиях). При горении штабеля высотой 15 м температура в эпицентре превышает 1100°C , а скорость распространения огня достигает $1\text{--}1.5 \text{ м/мин}$ даже при умеренном ветре $3\text{--}5 \text{ м/с}$. Особую опасность представляет глубинное тление древесины, продолжающееся неделями после видимого подавления пламени и проникающее на $2\text{--}3 \text{ м}$ внутрь бревен.

Конструктивные особенности объектов многократно усугубляют ситуацию. Плотное складирование бревен с просветами менее 0.5 м между рядами создает «эффект дымохода», ускоряя горение в геометрической прогрессии. Высота штабелей до 25 м превышает возможности большинства пожарных автолестниц, оставляя верхние ярусы вне зоны эффективного воздействия. Критическим фактором становится риск каскадных обрушений, когда горящие бревна массой $300\text{--}800 \text{ кг}$ при падении образуют новые очаги и блокируют подъездные пути.

Оперативные сложности проявляются на всех этапах тушения. Для тушения пожара на 1 га склада требуется $100\text{--}150 \text{ л/с}$ воды, что при типичных площадях объектов $10\text{--}50 \text{ га}$ требует развертывания десятков насосов и километров рукавных линий. Эффективность воды катастрофически падает до $15\text{--}20 \%$ из-за высокого поверхностного натяжения, быстрого стекания по поверхности бревен и невозможности проникновения в щели между штабелями. Температурные ограничения не позволяют применять тяжелую технику (бульдозеры, экскаваторы) для разборки горящих штабелей до снижения температуры, что занимает $8\text{--}12$ часов.

Время прибытия первых пожарно-спасательных подразделений становятся критическими в удаленных районах. Как показывает практика, 70% лесобирж расположены вне 30-километровой зоны оперативного реагирования пожарных частей. В 85% случаев водоснабжение обеспечивается только забором из естественных водоемов, что зимой требует трудоемкой подготовки прорубей. Ширина проездов между штабелями ($3\text{--}4 \text{ м}$) физически ограничивает одновременную работу более двух единиц техники [1–7].

Экологические и экономические последствия носят катастрофический характер. Стоки после тушения содержат фенолы, формальдегиды и смолы в концентрациях, превышающих

предельно допустимую концентрацию в $200\text{--}500$ раз, вызывая долговременное загрязнение водоемов. Средний ущерб от пожара составляет $\$2\text{--}5 \text{ млн}$ с учетом уничтожения сырья, повреждения техники и остановки производства. Выгорание гумусного слоя на глубину $0.5\text{--}1 \text{ м}$ делает почву непригодной для лесовосстановления на $15\text{--}20$ лет.

В арктических условиях вышеизложенная проблематика принимает отягчающий характер. Температуры ниже -40°C вызывают обледенение техники, замерзание рукавов и снижение эффективности огнетушащих составов. Значительно снижаются тактические возможности первых прибывших пожарно-спасательных подразделений ввиду необходимости затрат временных ресурсов на пробивание метрового слоя льда для забора воды. Полярная ночь ограничивает видимость, исключая применение авиации без тепловизоров, а логистические коллапсы увеличивают время доставки сил до $3\text{--}5$ суток.

Однако, стоит учитывать тот факт, что при возникновении крупного пожара на объектах хранения штабелей круглого леса в условиях арктической зоны, чрезвычайная ситуация подразумевает под собой решение многих задач, к которым можно отнести: эвакуацию и спасение людей; создание пунктов их обогрева; обеспечение бесперебойной подачи огнетушащих веществ в условиях низких температур; создание противопожарных разрывов, с целью недопущения распространения площади пожара и т.д. В связи с этим, руководитель тушения пожара (РТП) или же руководитель ликвидации ЧС (РЛЧС) должны понимать, что территория проведения оперативно-тактических действий по тушению пожара (ликвидации ЧС) будет весьма обширной и без дополнительных средств мониторинга здесь не обойтись [8]. Для реализации данной задачи техническими средствами выступают мобильные устройства мониторинга, в частности, беспилотные летательные аппараты различного исполнения [9].

Таким образом, **цель работы** заключается в разработке методики поддержки принятия управленческих решений выбора оптимальных маршрутов движения беспилотных авиационных систем для мониторинга крупных пожаров на объектах хранения лесоматериалов в условиях Арктической зоны, обеспечивающих максимальную эффективность сбора информационных данных при минимальных временных и энергетических затратах.

Основная часть

В работе [10] авторами предлагается алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара. Алгоритм

представляет собой следующую последовательность:

На *первом этапе* для каждого боевого участка производится расчет показателя тактических возможностей сил и средств пожарно-спасательных подразделений. Данный показатель определяется через анализ оперативных ресурсов, учитывающий численность личного состава, задействованного в тушении, и количество функционирующих устройств подачи огнетушащих веществ. На основе этих параметров вычисляется ключевой показатель – скорость локализации возгорания для каждого участка в отдельности.

На *втором этапе* осуществляется идентификация боевого участка, выполняющего функции решающего направления. Критериями выбора служат: максимальная среди всех участков скорость локализации пожара и оптимальное соотношение пожарных расчетов к техническим средствам. Выявленному участку присваивается индекс i , остальным участкам – индексы j .

Третий этап предполагает расчет коэффициентов относительной важности по формуле:

$$\Theta_k = \frac{E_k}{E_i}, k = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

где E_i – показатель участка решающего направления (i);

E_k – показатели других участков (j)

Для участка i коэффициент всегда принимает значение 1 ($\Theta_i = 1$), тогда как для всех остальных участков j значения коэффициентов строго меньше единицы ($\Theta_j < 1$).

На заключительном этапе осуществляется оценка значимости задач на каждом участке. Для этого используются рассчитанные коэффициенты Θ_m совместно с аналитическими зависимостями, представленные в работе [11]. Полученные значения важности задач становятся основой для:

- определения приоритетов воздушного мониторинга;
- оптимизации распределения беспилотных авиационных систем (БАС);
- выбора тактики наблюдения в соответствии с оперативной значимостью участков.

Данная методика нашла практическое применение в работе [11], которая обеспечивает объективную расстановку приоритетов в условиях одновременного ведения действий на нескольких участках, что особенно критично при ликвидации крупных пожаров с ограниченными ресурсами.

Однако, стоит отметить, что при возникновении крупного пожара на объектах хранения штабелей круглого леса в условиях Арктической зоны, перед РТП основная боевая задача заключается не только в тушении. К таким задачам можно отнести:

1. Организация обеспечения жизнедеятельности личного состава циклическостью работ пожарно-спасательных подразделений [12] с интервалом ≤ 15 мин для предотвращения обморожений и восстановления сил; развернуть обогреваемые модули для согрева и медицинской помощи; осуществлять использование морозостойкого снаряжения (маски с подогревом, термобелье).

2. Преодоление температурных ограничений (предотвратить замерзание рукавных линий, обеспечение подачи подогретых огнетушащих составов; организация круглосуточного размораживания источников воды).

3. Поиск и спасение людей (задействовать беспилотное воздушное средство (БВС) с ИК-камерами для обнаружения пострадавших в задымленной зоне; развертывание снегоходных групп для эвакуации; организация временных укрытий с комфортной температурой для обогрева).

4. Противодействие вторичным угрозам.

5. Экологическая защита.

6. Координация проведения оперативно-тактических действий с учетом приоритетов.

Следовательно, при организации тушения крупного пожара в условиях Арктической зоны, перед руководителем тушения пожара стоит комплекс задач, развернутых на обширной территории. Силы и средства, привлекаемые для ликвидации, занимаются не только тушением, соответственно, вышеуказанный алгоритм по оценке важности задач, решаемых на конкретных боевых участках, здесь не подходит. Однако, в связи с охватом обширной территории ликвидации и мультизадачности, для должностных лиц на пожаре необходимо качественное и непрерывное информационное обеспечение. Для реализации данной задачи положительно зарекомендовал себя циклический мониторинг [13, 14].

Циклический мониторинг основывается на принципе непрерывного получения информации с места пожара или чрезвычайной ситуации. Этот принцип является ключевым для обеспечения эффективного управления и принятия решений в условиях динамично развивающихся событий.

Основные элементы модели циклического мониторинга

Декомпозиция процесса сбора информации на циклы: при планировании циклического мониторинга весь процесс сбора

информации, необходимой для принятия решений, разбивается на отдельные циклы. Каждый цикл представляет собой замкнутый процесс, включающий этапы подготовки, выполнения и восстановления средств мониторинга. Такой подход позволяет структурировать процесс и обеспечить систематичность сбора данных.

Формирование циклограммы для каждого средства мониторинга: для каждого средства мониторинга создается циклограмма, которая представляет собой диаграмму, описывающую последовательность этапов его применения. Циклограмма включает этапы выполнения задач сбора информации на месте ЧС; этапы восстановления и технического обслуживания средства мониторинга после завершения работы. Циклограмма служит инструментом для планирования и контроля выполнения задач мониторинга.

Схема мониторинга представляет собой набор правил и параметров, определяющих организацию процесса. Она включает конкретные значения всех параметров циклического мониторинга или их фиксированную часть. Схема позволяет формализовать процесс и обеспечить его повторяемость и устойчивость.

Под циклическим - понимается процесс, при котором на месте мониторинга постоянно находится хотя бы одно средство наблюдения. Это обеспечивает непрерывность сбора данных и контроля ситуации.

Устойчивость процесса достигается за счет реализации мер, обеспечивающих непрерывность мониторинга даже в случае возникновения непредвиденных ситуаций. Для этого в пункте восстановления должно находиться как минимум одно резервное средство мониторинга, готовое к немедленному использованию.

Предложенная схема циклического мониторинга

Продолжительность одного цикла мониторинга обозначается как T (в минутах). Цикл включает четыре этапа:

T_1 – продолжительность этапа следования средства мониторинга к месту ЧС (время перемещения);

T_2 – продолжительность мониторинга на месте ЧС (время сбора данных);

T_3 – продолжительность следования средства мониторинга к месту его восстановления (пункту организации мониторинга);

T_4 – продолжительность восстановления средства мониторинга (время технического обслуживания и подготовки к следующему циклу).

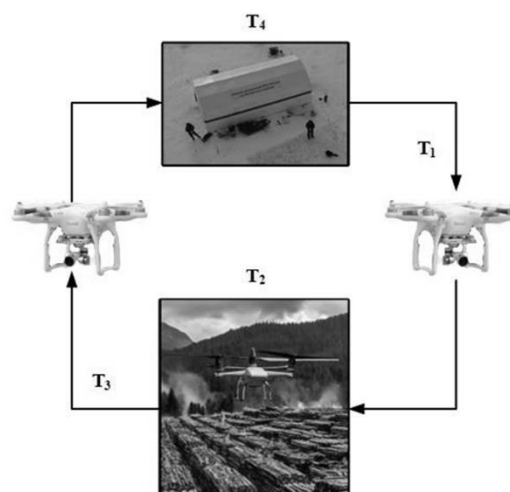


Рис. 1. Схема организации циклического мониторинга

Предложенная схема представлена на рис. 1 и включает визуализацию всех этапов цикла мониторинга. Она позволяет наглядно представить последовательность действий, временные интервалы и взаимосвязь между этапами.

При выполнении различного рода задач, решаемых на боевых участках при тушении крупного пожара или ликвидации последствий ЧС, необходимо грамотно распределить важность боевых участков для выбора оптимального маршрута следования БВС и получения непрерывного информационного обеспечения. Для реализации данной задачи воспользуемся методом Фишберна [15-18].

Метод Фишберна является одним из подходов к ранжированию и определению приоритетов задач на основе экспертных оценок. Он позволяет количественно оценить важность каждой задачи с учетом ее вклада в достижение общей цели. В контексте тушения пожара метод Фишберна может быть использован для определения приоритетности задач на различных участках, что помогает оптимизировать распределение ресурсов и усилий. Метод Фишберна является эффективным инструментом для ранжирования задач на основе их важности и приоритетности. В условиях Арктической зоны, где ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций осложнена экстремальными климатическими условиями, применение этого метода позволяет оптимизировать распределение ресурсов и усилий. Ниже приведено пошаговое описание применения метода Фишберна для определения важности задач на боевых участках ликвидации ЧС в Арктике.

Основные этапы применения метода Фишберна:

1. *Формулировка задач.* На первом этапе необходимо четко определить перечень задач, которые требуется решить на боевых участках ликвидации чрезвычайной ситуации. Например, эвакуация пострадавших; локализация очага возгорания; обеспечение безопасности персонала; предотвращение распространения огня на соседние объекты; ликвидация последствий пожара (разбор завалов, очистка территории).

2. *Определение критериев оценки.* Для оценки важности задач выбираются критерии, которые отражают их значимость. Например: влияние на безопасность людей; влияние на сохранность имущества; срочность выполнения; ресурсоемкость; возможные последствия невыполнения.

3. *Экспертная оценка.* На данном этапе осуществляется оценка каждой задачи по выбранным критериям. Оценка производится по шкале, например, от 1 до 5, где 1 – минимальная важность, а 5 – максимальная.

4. *Расчет весовых коэффициентов.* Для каждого критерия определяется его вес, отражающий его значимость в общей оценке. Весовые коэффициенты рассчитываются по формуле Фишберна (2):

$$\omega_i = \frac{2 \cdot (N - i + 1)}{N \cdot (N + 1)}, \quad (2)$$

где N – количество критериев,

i – порядковый номер критерия после ранжирования по важности.

5. *Расчет общей важности задач.* Для каждой задачи вычисляется общий балл важности по формуле:

$$S_j = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot S_{ij}, \quad (3)$$

где: S_j – общий балл важности задачи,

j, ω_i – вес критерия i ,

S_{ij} – оценка задачи j по критерию i .

6. *Ранжирование задач.* На основе рассчитанных баллов задачи ранжируются по степени важности. Задачи с наибольшими баллами получают высший приоритет.

В качестве примера рассмотрим оценку важности задач по четырем участкам ликвидации ЧС. На ж/д станции в результате повреждения железнодорожного полотна произошло столкновение пассажирского поезда с грузовым составом, перевозившим дизельное топливо. Авария привела к сходу вагонов с рельсов и их опрокидыванию, вызвав деформацию

прилегающей автомобильной дороги. В поврежденном пассажирском вагоне заблокированы люди, требующие срочной эвакуации. Одновременно из-за разрушения дорожного покрытия автобус съехал на лёд озера и полностью погрузился под воду с пострадавшими внутри. Дополнительно произошла разгерметизация цистерны с дизтопливом, вызвавшая разлив горючего и последующее возгорание штабелей пиломатериалов на территории целлюлозно-бумажного комбината. Сложившаяся ситуация требует немедленного проведения аварийно-спасательных работ по четырем направлениям: спасение людей из ж/д состава и автобуса, локализация пожара и ликвидация разлива топлива.

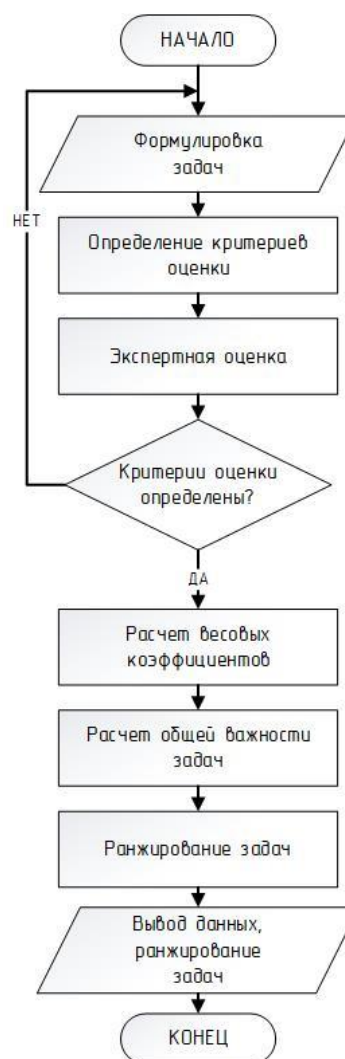


Рис. 2. Алгоритм определения важности решаемых задач на боевых участках

Ликвидация последствий чрезвычайной ситуации, вызванной столкновением железнодорожных составов и провалом автобуса под лед, требует четкого определения

приоритетности задач для эффективного распределения ресурсов и минимизации ущерба. В данном случае метод Фишберна может быть использован для ранжирования задач на основе их важности и срочности. Для определения важности решаемых задач на боевых участках при ликвидации последствий ЧС в результате столкновения железнодорожных составов и провалом автобуса под лед воспользуемся следующим алгоритмом (рис. 2).

1. Формулировка задач

На первом этапе определяются ключевые задачи, которые необходимо решить на боевых участках:

1 боевой участок – спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона

2 боевой участок – ликвидация утечки дизельного топлива

3 боевой участок – тушение пожара штабеля круглого леса

4 боевой участок – спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед

2. Определение критериев оценки

Для оценки важности задач выбираются критерии, учитывающие специфику ЧС:

- влияние на безопасность людей – приоритетность задач, направленных на сохранение жизни и здоровья людей;

- срочность выполнения – необходимость немедленного реагирования для предотвращения усугубления ситуации;

- влияние на экологию – значимость задач, связанных с минимизацией ущерба окружающей среде;

- ресурсоемкость – оценка затрат ресурсов (временных, материальных, человеческих) на выполнение задачи;

- возможные последствия невыполнения – оценка рисков, связанных с отказом от выполнения задачи.

3. Экспертная оценка. На данном этапе осуществляется оценка каждой задачи по выбранным критериям. Оценка производится по шкале от 1 до 5, где 1 – минимальная важность, а 5 – максимальная (табл.).

Таблица. Оценка каждой задачи по выбранным критериям

Задача / Критерий	Безопасность людей	Срочность	Влияние на экологию	Ресурсоемкость
Спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона	5	5	3	3
Ликвидация утечки дизельного топлива	3	4	5	4
Тушение пожара штабеля круглого леса	2	3	4	5
Спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед	5	5	2	3

4. Расчет весовых коэффициентов. Для каждого критерия определяется его вес, отражающий его значимость в общей оценке. Весовые коэффициенты рассчитываются по формуле Фишберна (2).

Для $N = 4$:

Критерий 1 (1 боевой участок):

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot (4 - 1 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,4;$$

Критерий 2 (4 боевой участок):

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot (4 - 2 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,3;$$

Критерий 3 (2 боевой участок):

$$\omega_3 = \frac{2 \cdot (4 - 3 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,2;$$

Критерий 4 (3 боевой участок):

$$\omega_4 = \frac{2 \cdot (4 - 4 + 1)}{4 \cdot (4 + 1)} = 0,1.$$

Расчет общей важности задач. Для каждой задачи вычисляется общий балл важности по формуле (3).

Для $N = 4$:

Критерий 1 (1 боевой участок):

$$S_1 = 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 4,4;$$

Критерий 2 (4 боевой участок):

$$S_2 = 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 = 4,2;$$

Критерий 3 (2 боевой участок):

$$S_3 = 0,4 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,1;$$

Критерий 4 (3 боевой участок):

$$S_j = 0,4 \cdot 2 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,0.$$

6. Ранжирование задач. На основе рассчитанных баллов задачи ранжируются по степени важности. Задачи с наибольшими баллами получают высший приоритет:

1 боевой участок – спасение пострадавших из аварийного пассажирского вагона – 4,4;

4 боевой участок – спасение пострадавших в результате съезда автобуса под лед – 4,2;

2 боевой участок – ликвидация утечки дизельного топлива – 4,1;

3 боевой участок – тушение пожара штабеля круглого леса – 3,0.

Таким образом, применение метода Фишберна для определения важности задач на боевых участках ликвидации последствий ЧС, вызванной столкновением железнодорожных составов и провалом автобуса под лед, позволяет объективно ранжировать задачи с учетом их влияния на безопасность людей, экологию, срочность и ресурсоемкость. Наиболее приоритетными задачами являются эвакуация пострадавших из аварийного вагона и спасение пассажиров автобуса, что обусловлено высоким риском для жизни людей. Данный метод обеспечивает эффективное распределение ресурсов и координацию действий спасательных подразделений, что является критически важным для успешной ликвидации последствий ЧС.

Оптимальный маршрут движения БВС строится на основе приоритетности задач, определенной методом Фишберна, и учитывает географическое расположение боевых участков (рис. 3). Маршрут начинается с наиболее важных задач (эвакуация из вагона и спасение из автобуса), затем включает локализацию разлива топлива и тушение пожара. Такой подход обеспечивает эффективное использование ресурсов БВС и своевременное выполнение критически важных задач, что способствует успешной ликвидации последствий ЧС.



Рис.3. Оптимальный маршрут движения БВС, учитывающий важность задач, решаемых на боевых участках

Заключение

Проведённое исследование обосновало необходимость новых подходов к управлению ресурсами при тушении крупных пожаров в Арктике, где экстремальные условия многократно усиливают сложность ликвидации ЧС. Результатом работы стала разработка метода поддержки принятия управленческих решений, основанной на интеграции метода Фишберна и адаптивного планирования маршрутов беспилотных авиационных систем.

Метод Фишберна выступил ключевым инструментом системной приоритизации задач, позволив объективно ранжировать боевые участки. Этот подход трансформирует субъективные решения руководителя тушения пожара в количественно обоснованные приоритеты, что особенно критично при одновременном ведении спасательных, противопожарных и аварийных работ на обширной территории. Применение данного метода обеспечивает прозрачность и обоснованность распределения ограниченных ресурсов в условиях мультизадачности.

На основе полученных приоритетов разработана модель динамической маршрутизации БВС, которая кардинально отличается от статических схем. Предложенный алгоритм корректирует траектории полётов в зависимости от количества боевых участков, а также от важности задач, решаемых на данных участках. Интеграция этой модели в управленческий цикл обеспечивает непрерывную верификацию данных мониторинга, оперативное перераспределение беспилотных систем между участками и минимизацию холостых перелётов за счёт адаптивной логистики.

Практическая ценность исследования заключается в создании универсального механизма для формирования обоснованных решений руководителя тушения пожара, предотвращения ресурсных конфликтов при параллельном ведении операций и обеспечения непрерывной информационной поддержки на всех

этапах ликвидации чрезвычайной ситуации. Предложенная методология совершенствует стандарты управления боевыми действиями по тушению пожаров и ликвидации ЧС в экстремальных условиях Арктики, где традиционные подходы демонстрируют ограниченную эффективность.

Список литературы

1. Conard S. G., Ponomarev E. Fire in the North. Wildfire, 2020, vol. 29, pp. 26–32.

2. Reviews & syntheses: arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J. L. McCarty [et al.]. Biogeosciences Discussions, 2021, vol. 18, pp. 1–59.

3. Fire in arctic tundra of Alaska: past fire activity, future fire potential, and significance for land management and ecology / N. H. F. French [et al.]. International Journal of Wildland Fire, 2015, vol. 24, issue 8, pp. 1045–1061.

4. Ищенко А. Д., Таранцев А. А., Шидловский А. Л. Об особенностях действий по тушению пожара в условиях Арктики // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 3. С. 16–20.

5. Кораев, К. В., Воропаев Н. П., Селиванова А. И. Актуальные вопросы подготовки спасателей к действиям в Арктической зоне // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: сборник материалов Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2021. С. 640–643. EDN: CHJFVC.

6. Таранцев А. А., Холостов А. Л., Кушпиль И. В. О новом подходе к тушению пожара в условиях низких температур на объектах энергетики // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 1. С. 72–80.

7. Рябошапка А. Б., Асадов Б. Р. Особенности мониторинга техногенных и природных опасностей в Арктической зоне Российской Федерации на основе картографического метода исследования // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе: сборник материалов Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской

Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. С. 343.

8. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре / Е. В. Степанов, М. Х. Х. Чан, Б. Б. Гринченко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 1(46). – С. 47–56. – EDN DGCRVX.

9. Бубнов А. Г., Сараев И. В., Семенов А. Д. Аспекты надёжности и выбора беспилотных летательных аппаратов для предупреждения и мониторинга пожаров в условиях пониженных температур // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 12–26.

10. Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27–33. EDN: KIOOMA.

11. Кузнецов А. В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2023. 150 с. EDN: ZJYNSX.

12. Шалявин Д. Н. Оценка реализации тактических задач пожарных подразделений в процессе выполнения повторных работ при тушении крупных пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 101–107. EDN: WRWZJD.

13. Кузнецов А. В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 18–23. EDN: KLWLVM.

14. Модель циклического мониторинга природных пожаров затяжного характера / М. О. Баканов, Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 2 (40). С. 14–19. DOI 10.25714/MNT.2019.40.002. EDN: VWZYHO.

15. Ремесник Е. С., Сигал А. В. Роль прогрессивных Фишберна в цифровой экономике // Исследование, систематизация, кооперация, развитие, анализ социально-экономических систем в области экономики и управления (ИСКРА – 2018): сборник трудов I Всероссийской школы молодых ученых. Симферополь-Судак: Общество с ограниченной ответственностью

«Издательство Типография «Ариал», 2018. С. 194-198. EDN: YLGIPR.

16. Ранжирование объектов критической информационной инфраструктуры системы связи / О. М. Лепешкин, К. О. Мануков, М. А. Остроумов [и др.] // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник научных статей: в 4х томах. Том 2. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 289–295. EDN: QFXLOT.

17. Майорова Л. П., Архипов Е. А., Кошельков А. М. Определение весовых коэффициентов различных факторов при комплексной оценке экологического состояния городской территории // Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 252–257. EDN: NAYCWE.

18. Постников В. М., Спиридонов С. Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №. 6. С. 267–287.

References

1. Conard S. G., Ponomarev E. Fire in the North. Wildfire, 2020, vol. 29, pp. 26–32.

2. Reviews & syntheses: arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J. L. McCarty [et al.]. Biogeosciences Discussions, 2021, vol. 18, pp. 1–59.

3. Fire in arctic tundra of Alaska: past fire activity, future fire potential, and significance for land management and ecology / N. H. F. French [et al.]. International Journal of Wildland Fire, 2015, vol. 24, issue 8, pp. 1045–1061.

4. Ishchenko A. D., Tarancev A. A., Shidlovskij A. L. Ob osobennostyah dejstvij po tusheniyu pozhara v usloviyah Arktiki [On the specifics of firefighting operations in the Arctic]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2020, issue 3, pp. 16–20.

5. Koraev K. V., Voropaev N. P., Selivanova A. I. Aktual'nye voprosy podgotovki spassatelej k dejstviyam v Arkticheskoj zone [Current issues of training rescuers for action in the Arctic zone]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problema, perspektivy. Monitoring, predotvrashchenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2021, pp. 640–643. EDN: CHJFVC.

6. Tarancev A. A., Holostov A. L., Kushpil' I. V. O novom podhode k tusheniyu pozhara v usloviyah nizkih temperatur na ob»ektah

energetiki [On a new approach to extinguishing fires in low temperature conditions at energy facilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2018, issue 1, pp. 72–80.

7. Ryaboshapka A. B., Asadov B. R. Osobennosti monitoringa tekhnogennyh i prirodnyh opasnostej v Arkticheskoj zone Rossijskoj Federacii na osnove kartograficheskogo metoda issledovaniya [Peculiarities of monitoring man-made and natural hazards in the Arctic zone of the Russian Federation based on the cartographic research method]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problema, perspektivy. Arktika–region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v Arkticheskom regione: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet Gosudarstvennoj pro-tivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2022. P. 343.

8. Model' i metodika otsenki stepeni slozhnosti sistemy upravleniya pozharo-spasatel'nymi podrazdeleniyami na pozhare [Model and methodology for assessing the complexity of the fire and rescue unit management system during a fire] / Ye. V. Stepanov, M. Kh. Kh. Chan, B. B. Grinchenko [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 47–56. EDN: DGCVRX.

9. Bubnov A. G., Saraev I. V., Semenov A. D. Aspekty nadyozhnosti i vybora bespil'nyh letatel'nyh apparatov dlya preduprezhdeniya i monitoringa pozharov v usloviyah ponizhennyh temperatur [Aspects of reliability and selection of unmanned aerial vehicles for fire prevention and monitoring in low temperature conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 1 (54), pp. 12–26.

10. Kuznecov A. V., Butuzov S. Yu., Taranov D. V. Algoritm ocenki vazhnosti zadach organizacii monitoringa krupnogo pozhara [Algorithm for assessing the importance of tasks for organizing monitoring of a major fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 27–33. EDN: KIOOMA.

11. Kuznecov A. V. Modeli i algoritmy podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij pri monitoringe krupnyh pozharov. Diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms for supporting management decision-making when monitoring large fires. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2023. 150 p. EDN: ZJYNSX.

12. Shalyavin D. N. Ocenka realizacii tak-ticheskikh zadach pozhar'nyh podrazdelenij v processe vypolneniya povtornyh rabot pri tushenii krupnyh pozharov [Evaluation of the implementation of tactical tasks of fire departments in the process of performing repeated work when

extinguishing large fires]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 101–107. EDN: WRWZJD.

13. Kuznecov, A. V. Model' ciklicheskogo monitoringa krupnyh pozharov i poiskovo-spatatel'nyh rabot [A model for cyclic monitoring of large fires and search and rescue operations]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, vol. 4 (41), pp. 18–23. EDN: KLWLVM.

14. Model' ciklicheskogo monitoringa prirodnyh pozharov zatyazhnogo haraktera [Model of cyclic monitoring of natural fires of protracted nature] / M. O. Bakanov, D. V. Tarakanov, A. V. Kuznecov [et al.]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*, 2019, vol. 2 (40), pp. 14–19. DOI: 10.25714/MNT.2019.40.002. EDN: VWZYHO.

15. Remesnik E. S., Sigal A. V. Rol' progressij Fishberna v cifrovoj ekonomike [The Role of Fishburne Progressions in the Digital Economy]. *Issledovanie, sistematizaciya, kooperaciya, razvitie, analiz social'no-ekonomicheskikh sistem v oblasti ekonomiki i upravleniya (ISKRA – 2018): sbornik trudov I Vserossijskoj shkoly molodyh uchenyh*. Simferopol'-Sudak: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2018, pp. 194–198. EDN: YLGIPR.

16. Ranzhirovanie ob»ektov kriticheskoy informacionnoj infrastruktury sistemy svyazi [Ranking of objects of critical information infrastructure of the communication system] / O. M. Lepeshkin, K. O. Manukov, M. A. Ostroumov [et al.]. *Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii: sbornik nauchnyh statej*, v 4h tomah, Sankt-Peterburg, 24–25 fevralya 2021 goda. Tom 2. SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. M. A. Bonch-Bruевичa, 2021. Pp. 289–295. EDN: QFXLOT.

17. Opredelenie vesovyh koefficientov razlichnyh faktorov pri kompleksnoj ocenke ekologicheskogo sostoyaniya gorodskoj territorii [Determination of weighting coefficients of various factors in a comprehensive assessment of the ecological state of an urban area] / L. P. Majorova, E. A. Arhipov, A. M. Koshel'kov. *Innovacii i investicii*, 2023, issue 7, pp. 252–257. EDN: NAYCWE.

18. Postnikov V. M., Spiridonov S. B. Metody vybora vesovyh koefficientov lokal'nyh kriteriev [Methods for selecting weighting coefficients of local criteria]. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii*, 2015, issue 6, pp. 267–287.

Кузнецов Александр Валерьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Багажков Игорь Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: big-99@mail.ru

Bagazhkov Igor Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: big-99@mail.ru

Ермилов Алексей Васильевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: skash_666@mail.ru

Ermilov Aleksey Vasilevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of pedagogical sciences, associate professor
E-mail: skash_666@mail.ru

Никишов Сергей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: mordov5988@mail.ru

Nikishov Sergey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: mordov5988@mail.ru

УДК 374.71

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КАДРОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

Л. Б. ТИХАНОВСКАЯ, С. В. НАЙДЕНОВА, С. В. ГОРИНОВА
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

Служба надзорных органов МЧС России организует и проводит контрольные (надзорные) мероприятия для обеспечения пожарной безопасности на подконтрольных объектах защиты, что позволяет снизить количество пожаров, травмированных и погибших людей при пожарах, а также уменьшить прямой материальный ущерб. На сегодняшний день предельная численность сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, осуществляющих функции федерального государственного пожарного надзора регламентирована количеством 21110 единиц положением «О федеральном государственном пожарном надзоре», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2012 г. № 290.

Это показывает, что на сегодняшний день отсутствует методика обоснования численности сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, которая на научной основе определяла бы оптимальное количество инспекторского состава.

В статье исследуются три субъекта РФ: Ивановская, Владимирская и Нижегородская области на предмет обстановки состояния пожарной безопасности на объектах защиты и последствий от пожаров. В ходе исследования был предложен авторский подход к разработке показателей оценки эффективности привлечения кадров для осуществления федерального государственного пожарного надзора.

В качестве основных показателей системы были выбраны следующие: количество поднадзорных объектов защиты, определение объектов защиты по категориям риска, численность населения, площадь территории и уровень цифровизации. Перечисленные показатели влияют на количество контрольных (надзорных) мероприятий, численность штата, нагрузку инспекторов государственного пожарного надзора, количество пожаров, интенсивность документооборота, прозрачность надзорно-профилактической деятельности, затраты и длительность выполнения процедур надзора.

Ключевые слова: инспектор, пожарная безопасность, численность сотрудников, объект защиты.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF INDICATORS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ATTRACTING PERSONNEL FOR IMPLEMENTATION FEDERAL STATE FIRE SUPERVISION

L. B. TIKHANOVSKAYA, S. V. NAIDENOVA, S. V. GORINOVA
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

The Service of the Supervisory Authorities of the Ministry of Emergency Situations of Russia organizes and conducts control (supervisory) measures to ensure fire safety at controlled protection facilities, which reduces the number of fires, injured and dead people in fires., as well as reduce direct material damage. To date, the maximum number of employees of the Federal Fire Service of the State Fire Service performing the functions of federal state fire supervision is regulated by the number of 21110 units in the regulation «On Federal State Fire Supervision», approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated April 12, 2012 No. 290. This shows that today there is no methodology for substantiating the number of employees of the federal Fire Service of the State Fire Service, which would scientifically determine the optimal number of inspectors.

The article examines three subjects of the Russian Federation: the Ivanovo, Vladimir, and Nizhny Novgorod regions for fire safety conditions at fire protection facilities and the consequences of fires. During the study, the author's approach to the development of indicators for assessing the effectiveness of attracting personnel for the implementation of federal state fire supervision was proposed.

The following were selected as the main indicators of the system: the number of supervised protection facilities, the definition of protection facilities by risk category, the population, the area of the territory and the level of digitalization. These indicators affect the number of control (supervisory) measures, the number of staff, the workload of state fire supervision inspectors, the number of fires, the intensity of document management, transparency of supervisory and preventive activities, costs and duration of supervision procedures.

Keywords: inspector, fire safety, number of employees, object of protection.

Система обеспечения пожарной безопасности находится в процессе совершенствования в следствие чего деятельность федерального государственного пожарного надзора (ФГПН) постоянно регулируется новыми изменениями. Это определяется политикой государства в области реструктуризации экономики, ослабления административной нагрузки на бизнес и объекты экономики.

Исследования по оценке влияния государственного контроля на деятельность хозяйствующих субъектов [1], проведенные в Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ в 2017 году показали влияние федерального государственного пожарного надзора на качество и безопасность продукции организации и на риск причинения вреда сотрудникам и организации. Результаты исследования выявили, что федеральный государственный пожарный надзор в значительной степени влияет на повышение качества и безопасности продукции, и степень влияния составляет 16,6 %, и более чем на 57 % влияет на риск причинения вреда жизни и здоровью граждан, а также на 54 % оказывает влияние на риск нанесения ущерба имуществу граждан и организаций.

Результаты исследования показали актуальность реформирования системы федерального государственного пожарного надзора. Система деятельности ФГПН совершенствовалась постепенно: от всеобщих проверок по обеспечению пожарной безопасности на объектах защиты к переходу на риск-ориентированный подход, основанный на периодичности проведения проверок в зависимости от категорий риска. В связи с введением риск-ориентированного подхода был запущен процесс сокращения предельной численности лиц ФПС с 2016 года.

Вступивший в силу федеральный закон «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» оказал влияние на систему федерального государственного пожарного надзора.

Во-первых, позволяет формировать новую систему взаимодействия проверяющих и проверяемых, которая основывается на приоритетах соблюдения и защиты прав граждан и организаций.

Во-вторых, регламентирует шесть категорий риска для объектов защиты и соответствующую им периодичность проведения проверок.

При этом не раскрывает механизма или методики определения численности должностных лиц, которые будут выполнять государственные функции по федеральному государственному пожарному надзору в конкретном регионе [2].

На сегодняшний день отсутствуют подходы к обоснованию необходимой численности органов государственного пожарного надзора (ГПН) региона, что прослеживается при анализе статистических данных по трем регионам: Ивановской, Владимирской и Нижегородской областям.

Среди исследуемых регионов Нижегородская область лидирует по численности и наибольшей по площади территории 76624 км², а также наименьшей плотностью населения, равную 39,94 чел./ км².

В табл. 1 представлена динамика изменения количества сотрудников и поднадзорных объектов защиты по регионам за трехлетний период с 2022 года по 2024 год.

Таблица 1. Динамика изменения количества сотрудников и поднадзорных объектов защиты по регионам за трехлетний период с 2022 года по 2024 год

Регион	Период	Количество сотрудников	Количество поднадзорных объектов защиты
Ивановская область	2022	73	17926
	2023	73	18423
	2024	70	19560
Владимирская область	2022	94	15228
	2023	84	16598
	2024	84	17631
Нижегородская область	2022	330	52732
	2023	326	54528
	2024	316	54746

Количество поднадзорных объектов в Нижегородской области существенно больше, чем во Владимирской и Ивановской областях. В 2024 году количество поднадзорных объектов защиты в Нижегородской области зарегистрировано в количестве 54746 ед., во Владимирской области – 17631 ед., в Ивановской области – 19560 ед. Количество поднадзорных объектов во Владимирской и Ивановской областях почти одинаково, но количество сотрудников ГПН во Владимирской области было почти на 27 % больше, чем в Ивановской области.

Получается, что в 2024 году в Ивановской области инспекторский состав в количестве 70 человек контролировал 19560 объектов защиты, в тоже время как во Владимирской области сотрудники ГПН в количестве 84 инспекторов, что больше на 27,0 %, контролировали 17631 объектов защиты, что на 10,0 % меньше.

В каждом из исследуемых регионов в определенные годы наблюдается дисбаланс между количеством сотрудников и контролируемых ими объектов надзора:

– Ивановская область – 73 инспектора контролируют 18423 объекта защиты в 2023 году, а в 2024 году 70 сотрудников (что меньше на 4 %) контролируют 19560 объектов защиты (что больше на 6 %);

– Владимирская область – 94 инспектора контролируют 15228 объектов защиты в 2022 году, а в 2023 году 84 сотрудника (что меньше на 11 %) контролируют 16598 объектов защиты (что больше на 9 %);

– Нижегородская область – 330 инспекторов контролируют 52732 объекта защиты в 2022 году, а в 2023 году 326 сотрудников (что меньше на 2 %) контролируют 54528 объектов защиты (что больше на 4 %).

Представленные зависимости позволяют предположить, что основой системы эффективности оценивания привлечения кадров для осуществления ФГПН является нахождение показателей, которые позволяют оптимизировать численность персонала ГПН для каждого конкретного региона.

Исследуемые данные табл. 1 свидетельствуют о ежегодном изменении количества поднадзорных объектов защиты в исследуемых регионах.

Количество поднадзорных объектов защиты, взятых на учет, напрямую влияет на численность инспекторского состава в виду проведения обязательных плановых проверок на объектах защиты. За каждым инспектором федерального государственного пожарного надзора закрепляется определенное количество объектов защиты. На каждый из объектов в установленном порядке делается расчет категории риска, от которого зависит количество плановых проверок в год.

Поэтому первым показателем системы является количество поднадзорных объектов защиты, поставленных на учет в ФГПН региона.

Изменения количества поднадзорных объектов защиты касаются всех категорий риска, как показано в табл. 2^{1,2,3}.

¹ Перечень объектов защиты, которым присвоены категории риска //Официальный сайт ГУ МЧС России по Ивановской области [электронный ресурс]. URL: <https://37.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota>.

² Перечень объектов защиты, которым присвоены категории риска //Официальный сайт ГУ МЧС России по Владимирской области [электронный ресурс]. URL: <https://33.mchs.gov.ru/deyatelnost/>

profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/14-perechni-obektov-zashchity-kotorym-prisvoeny-kategorii-riskov.

³ Перечень объектов защиты, которым присвоены категории риска //Официальный сайт ГУ МЧС России по Нижегородской области [электронный ресурс]. URL: <https://52.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/13-perechni-obektov-zashchity-kotorym-prisvoeny-kategorii-riskov>.

Таблица 2. Динамика изменения количества поднадзорных объектов защиты по категориям риска

Регион	Период	Категория риска					
		чрезвычайно высокий риск	высокий риск	значительный риск	средний риск	умеренный риск	низкий риск
Ивановская область	2022	34	408	1702	2993	3779	9010
	2023	34	572	2962	1221	10569	3065
	2024	35	651	3403	1390	11175	2906
Владимирская область	2022	43	635	2544	1467	1633	8906
	2023	63	848	3905	1374	6891	3517
	2024	63	934	3927	1747	7928	3032
Нижегородская область	2022	145	3095	11255	5281	27054	5902
	2023	181	3047	12939	5850	27354	5157
	2024	171	3169	14251	5679	26264	5212

В каждом регионе в 2022 году количество объектов защиты чрезвычайно высокой категории риска было меньше, чем в последующие два года.

Изменение количества поднадзорных объектов защиты чрезвычайно высокой категории риска значительно влияет на нагрузку инспекторского состава ГПН в связи с тем, что на объектах защиты чрезвычайно высокого риска частота плановых проверок чаще и составляет 1 раз в год. Поэтому чем меньше количество объектов защиты чрезвычайно высокого риска, тем больше высвобождается нагрузка на кадры ФГПН.

Изменение количества объектов защиты чрезвычайно высокого риска стало возможным после введения калькулятора отнесения объектов защиты к определенной категории риска при осуществлении ФГПН (калькулятор), который определяет категорию риска объекта защиты в зависимости от определенных условий: был ли зарегистрирован пожар на объекте, выявлялись ли нарушения, работает ли пожарная охрана на объекте, имеется ли наличие маломобильных групп населения на объекте, проведен ли аудит пожарной безопасности и

другие. Наличие или отсутствие определенных условий влияет на понижение или повышение категории риска.

С помощью онлайн-калькулятора, который размещен на официальном сайте МЧС России юридические лица и индивидуальные предприниматели, в чьей собственности находятся объекты защиты, могут дистанционно самостоятельно проверить категорию риска своего объекта по каждому виду надзора МЧС России: в сфере гражданской обороны, ФГПН, а также федеральный государственный пожарный надзор в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Калькулятор постоянно совершенствуется, изменяются динамические показатели, вследствие чего ежегодно обновляются количественные показатели всех объектов защиты по категориям риска. Поэтому вторым показателем системы является уточнение количества поднадзорных объектов защиты по категориям риска.

Исследуем состояние пожарной безопасности трех регионов, статистические данные по которым представлены в таблице 3^{4,5,6}.

⁴ Планы и результаты проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий и проверок //Официальный сайт ГУ МЧС России по Ивановской области [электронный ресурс]. URL: <https://37.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/plan-y-proverok-i-ih-rezultaty>.

⁵ Планы и результаты проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий и проверок //Официальный сайт ГУ МЧС России по Владимирской области [электронный ресурс]. URL:

<https://33.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/5-plan-y-rezultaty-provedeniya-planovyh-proverok>.

⁶ Планы и результаты проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий и проверок //Официальный сайт ГУ МЧС России по Нижегородской области [электронный ресурс]. URL: <https://52.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/5-plan-y-rezultaty-provedeniya-planovyh-proverok>.

Таблица 3. Состояние пожарной безопасности трех регионов

Регион	Период	Численность населения, чел.	Количество сотрудников ГПН, чел.	Количество поднадзорных объектов защиты, ед.	Количество пожаров, ед.
Ивановская область	2022		73	17926	3237
	2023	914700	73	18423	2937
	2024		70	19560	2781
Среднее значение			72	18636	2985
Владимирская область	2022		94	15228	3450
	2023	1297936	84	16598	3115
	2024		84	17631	2522
Среднее значение			87	16486	3029
Нижегородская область	2022		330	52732	4128
	2023	3081817	326	54528	4325
	2024		316	54746	3864
Среднее значение			324	54002	4106

Среди трех регионов численность населения Нижегородской области превышает по этому показателю Владимирскую область на 57,1 %, а Ивановскую область на 70,6 %. Анализируя данные по количеству пожаров среди трех регионов, видно, что наибольшее количество пожаров за трехлетний период с 2022 года по 2024 год было зарегистрировано в Нижегородской области.

Количество поднадзорных объектов защиты в Ивановской области сравнимо с Владимирской областью, в тоже время количество пожаров ниже, чем во Владимирской области.

Численность инспекторского состава пожарного надзора в Нижегородской области выше, чем в других регионах.

Среднегодовое количество пожаров за трехлетний период в Нижегородской области составило 4 106 единиц, что на 26,2 % больше, чем во Владимирской области и на 27,2 % больше, чем в Ивановской области. Прослеживается прямая связь между численностью населения в регионе и количеством пожаров.

Поэтому третьим показателем системы является показатель численности населения в регионе.

Среди кадров ГПН есть инспекторы, исполняющие функции дознавателей, которые занимаются расследованием пожаров, чрезвычайных происшествий. По данным табл. 4, большое количество пожаров происходит на объектах защиты, которые относятся к низкой категории риска и которые не подлежат категорированию⁷.

Так, только во Владимирской области есть объекты, не подлежащие категорированию, на которых произошел пожар, среднестатистическая доля таких объектов составляет 39 %.

Многоквартирные дома высотой до 28 метров подлежат отнесению к категории умеренного риска, поэтому большое количество пожаров наблюдается в жилых помещениях. Основными причинами возникновения пожаров в жилых домах, как правило, являются нарушения правил эксплуатации электрооборудования, бытовых электроприборов и неосторожное обращение с огнем. В совокупности эти причины составляют 28 % от общего числа причин пожаров в РФ в 2024 году.

⁷ Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-

аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ П 46 ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

Таблица 4. Динамика состояния пожарной безопасности на объектах защиты по категориям риска

	Ивановская область			Владимирская область			Нижегородская область		
Площадь территории региона, км ²	23900			29084			76624		
Период	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Чрезвычайно высокий риск	-	-	-	1	1	0	145	181	171
Высокий риск	2	7	16	4	6	1	3095	3047	3169
Значительный риск	18	24	46	39	29	37	11255	12939	14251
Средний риск	21	18	29	92	56	36	5281	5850	5679
Умеренный риск	366	295	366	384	293	120	27054	27354	26264
Низкий риск	3	8	8	954	586	705	5902	5157	5157
Не подлежит категорированию	-	-	-	1972	356	393	-	-	-
Всего				3446	1327	1292	52732	54528	54688
Доля объектов, не подлежащих категорированию, на которых произошел пожар, %				39	36	44	-	-	-
Среднестатистическая доля объектов, не подлежащих категорированию, на которых произошел пожар за трехлетний период, %				39,0					

Чтобы расследовать причины пожара, инспектору необходимо выехать на место пожара. В России есть регионы, расположенные, например, в Сибири, которые имеют большие площади территории, как исследуемая нами Нижегородская область.

Площадь ее территории составляет 76624 км².

Расстояния между населенными пунктами в этом регионе бывают большими, особенно между сельскими поселениями. Не во всех сельских поселениях работает подразделение надзорной деятельности. На несколько сельских поселений, расположенных в одном муниципальном образовании, организовывается одно подразделение надзорной деятельности, поэтому инспектору и дознавателю требуется больше времени, чтобы прибыть на объект для проведения контрольных (надзорных) мероприятий (КНМ), расследования пожаров.

Можно предположить, что, чем больше площадь территории региона, тем более чрезмерная нагрузка ложится на инспекторский

состав ГПН. Этот показатель необходимо учитывать при привлечении кадров.

Проанализировав статистические данные по пожарам и их последствиям (табл. 3, 4), встает вопрос повышения эффективности работ по предотвращению пожаров на основе улучшения деятельности ГПС, а именно ее основного надзорно-профилактического органа – ГПН, в рамках цифровизации.

На сегодняшний день МЧС России предоставляет 16 видов государственных услуг, которые нацелены на обеспечение пожарной безопасности и мониторинг объектов защиты. МЧС России разработало специальную информационную систему для государственных инспекторов по пожарному надзору.

Эта система осуществляет обмен информацией между государственными инспекторами по ГПН и проверяемыми предприятиями, торгово-развлекательными центрами и другими объектами защиты. Данная система стала использоваться государственными инспекторами по пожарному надзору с 2021 года.

С этого же года в своей работе государственные инспекторы ГПН стали на практике проводить КНМ без взаимодействия с контролируемым лицом. Если 2023 году КНМ без взаимодействия с контролируемым лицом составляли 429 единицы в Нижегородской области, во Владимирской области – 87 единиц, а в Ивановской области – 265 единиц, то в 2024 году количество КНМ без взаимодействия с контролируемым лицом превысило количество КНМ,

проведенных с участием контролируемых лиц, во Владимирской области – на 22,3 %, в Ивановской области – на 11,3 %, а в Нижегородской области уменьшилось на 16,5 %.

По мнению авторов работы [10] внедрение в деятельность государственного инспектора по пожарному надзору цифровых технологий, позволяющих активно автоматизировать их деятельность, имеет много преимуществ, которые представлены на рисунке.

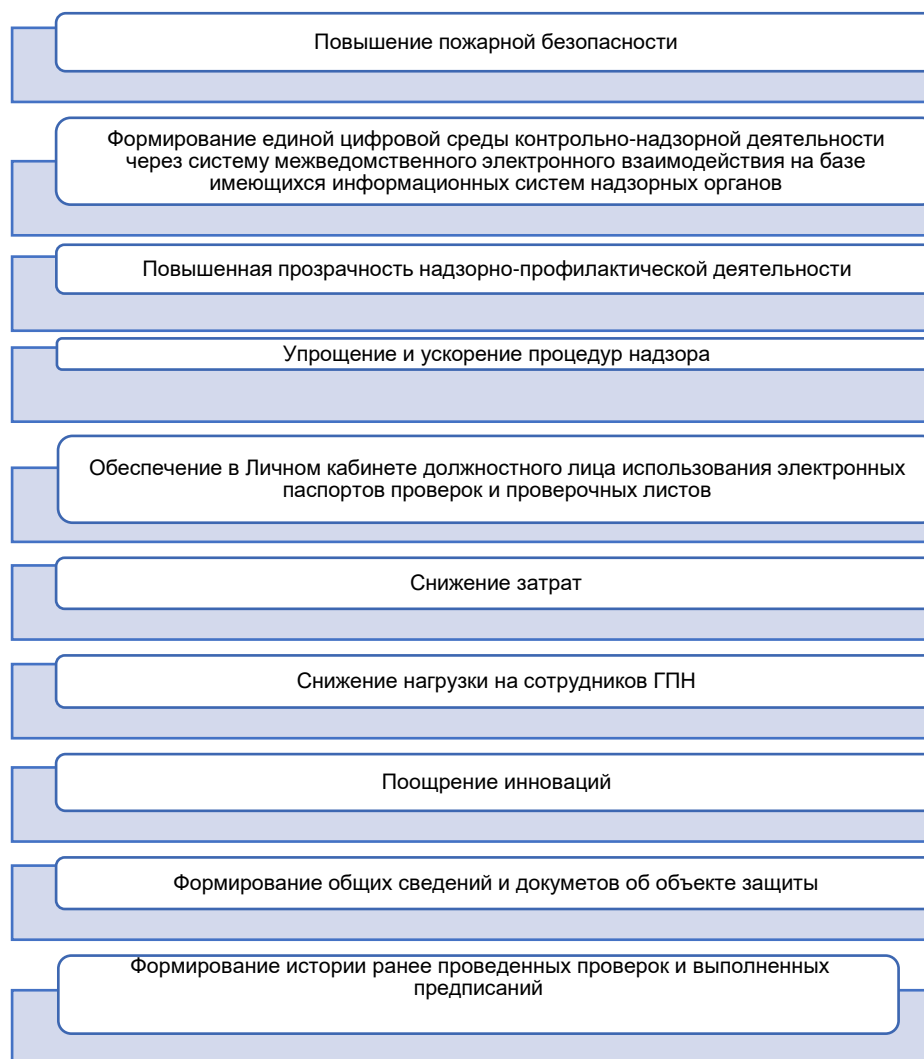


Рисунок. Преимущества цифровизации ГПН [3]

Как видим, перечисленные авторами работы [4] преимущества цифровизации деятельности сотрудников ГПН позволяют снизить рабочую нагрузку на инспекторов, упростить ведение документооборота, сформировать файл на каждый объект защиты, в котором отражаются сведения, а также история надзорно-профилактической деятельности конкретного объекта.

Среди трех исследуемых нами субъектов, можно отметить, что уровень цифровизации выше в Нижегородской области, чем в двух других субъектах, но при этом недостаточен, так как доля объектов защиты, внесенных в информационную систему для государственных инспекторов ГПН, составляет менее 2 % от общего количества поднадзорных объектов защиты (2024 год).

Уровень цифровизации в деятельности инспекторов ГПН также необходимо учитывать, как показатель в системе привлечения кадров для осуществления ФГПН в регионах.

При описании системы показателей оценивания эффективности привлечения кадров для осуществления ФГПН региона был проведен анализ трех субъектов, в ходе которого анализировалась совокупность показателей, которые напрямую и косвенно способствуют оптимизации равномерности загруженности профессиональных ресурсов, а значит и эффективности привлечения кадров.

По итогам проведенного исследования, предлагается система показателей оценивания эффективности привлечения кадров для осуществления ФГПН региона, состоящая из нескольких показателей, нормативной основой которой являются федеральные законы, постановления Правительства Российской Федерации, приказы МЧС России и другие нормативные методические документы в сфере пожарной безопасности и стратегического планирования.

Таблица 5. Система показателей эффективности оценивания привлечения кадров ГПН

№ п/п	Показатель	Что оценивает	На что влияет
1	Поднадзорные объекты защиты	Количество объектов защиты, взятых на учет	Численность штата
2	Определение объектов защиты по категориям риска	Уточнение количества объектов защиты по категориям риска	Количество КНМ, численность штата, нагрузку инспекторов ГПН
3	Население	Показатель численности населения региона	Количество пожаров, нагрузку инспекторов ГПН
4	Территория	Площадь территории региона	Нагрузку инспекторов ГПН
5	Уровень цифровизации	Использование информационной системы, наполнение информационной системы данными объектов защиты региона	Нагрузку инспекторов ГПН, документооборот, прозрачность надзорно-профилактической деятельности, затраты, длительность выполнения процедур надзора

В результате исследования были определены пять основных показателей для оценки эффективности привлечения кадров для осуществления ФГПН.

Система показателей эффективности оценивания привлечения кадров для осуществления ФГПН представлена табл. 5.

Перечисленные показатели влияют на количество КНМ, численность штата, нагрузку инспекторов ГПН, количество пожаров, интенсивность документооборота, прозрачность надзорно-профилактической деятельности, затраты и длительность выполнения процедур надзора.

Список литературы

1. Оценка влияния органов государственного контроля (надзора) на деятельность хозяйствующих субъектов / Е. И. Добролюбова, Н. В. Зыбуновская, А. Н. Покида [и др.] // Вопросы государственного и муниципального управления, 2017, № 2. С. 7–25.

2. Шукшин Е. Е., Лазарев А. А., Тихановская Л. Б. Андрагогико-экзистенциальный подход при подготовке управленческих кадров к определению численности государственных инспекторов по пожарному надзору // Пожарная и

аварийная безопасность. 2023. № 1 (28). С. 97–104.

3. Савенкова А. Е., Завьялов Д. Е., Шимов Д. Р. Применение цифровых технологий при обеспечении пожарной безопасности в работе надзорных органов. // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2023. № 1. С. 6–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenietsifrovyyh-tehnologiy-pri-obespechenii-pozharnoy-bezopasnosti-v-rabote-nadzornyh-organov/viewer> (дата обращения: 29.07.2025).

4. Репин С. В., Ляхвицкий Г. Н. О разработке метода определения фактических затрат и описание упрощенной математической модели определения численности надзорных органов МЧС России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2021. № 39. С. 169–188.

References

1. Ocenka vliyaniya organov gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) na deyatel'nost' hoz'yajstvuyushhix sub`ektov [Assessment of the influence of state control (supervision) bodies on the activities of economic entities] / E. I. Dobrolyubova, N. V. Zybunovskaya, A. N. Pokida [et al.]. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya*, 2017, issue 2, pp. 7–25.

2. Shukshin E. E., Lazarev A. A., Tikhanovskaya L. B. Andragogiko-e`kzistencial'ny`j podxod pri podgotovke upravlencheskix kadrov k opredeleniyu chislennosti gosudarstvenny`x inspektorov po pozharnomu nadzoru [Andragogical-existential approach in the training of managerial personnel to determine the number

of state fire inspectors]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2023, vol. 1 (28), pp. 97–104.

3. Savenkova A. E., Zavyalov D. E., Shimov D. R. Primenenie cifrovyy`x tekhnologij pri obespechenii pozharnoj bezopasnosti v rabote nadzorny`x organov [The use of digital technologies in ensuring fire safety in the work of supervisory authorities]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharной sluzhby MCHS Rossii»*, 2023, issue 1, pp. 6–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tsifrovyyh-tehnologiy-pri-obespechenii-pozharной-bezopasnosti-v-rabote-nadzornyh-organov/viewer> (accessed 29.07.2025).

4. Repin S. V., Lakhvitsky G. N. O razrabotke metoda opredeleniya fakticheskix trudozatrata i opisaniye uproshhennoy matematicheskoy modeli opredeleniya chislennosti nadzorny`x organov MChS Rossii [On the development of a method for determining actual labor costs and a description of a simplified mathematical model for determining the number of supervisory authorities of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya*, 2021, issue 39, pp. 169–188.

Тихановская Людмила Борисовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС

E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

Tikhanovskaya Lyudmila Borisovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Economics of the Russian Emergencies Ministry

E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

Найденова Светлана Викторовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель кафедры основ экономики функционирования РСЧС

E-mail: finogina71@mail.ru

Naidenova Svetlana Viktorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Senior Lecturer of the Department of Fundamentals of Economics of the Russian Emergencies Ministry

E-mail: finogina71@mail.ru

Горинова Светлана Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры основ экономики
функционирования РСЧС

E-mail: swetagor37@mail.ru

Gorinova Svetlana Vladimirovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Fundamentals of Economics of the Russian
Emergencies Ministry

E-mail: swetagor37@mail.ru

УДК 004.853, 004.051, 681.518

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЧС РОССИИ

В. В. ЧУРИЛИНА¹, К. З. БИЛЯТДИНОВ²

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

² ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
E-mail: v_v_ch97@mail.ru, k74b@mail.ru

Предлагаемая базовая модель предназначена для организации процесса информационного обеспечения принятия управленческих решений в подразделениях информационной безопасности МЧС России путем рациональной обработки и систематизации информации, подготовки вариантов решений в зависимости от сложившейся ситуации и интеграции знаний для обеспечения и повышения устойчивости и эффективности организационных систем в условиях неопределённости.

В составе базовой модели разработаны схема взаимодействия компонентов, представляющих собой математические модели, унифицированные табличные формы для систематизации данных, метрики кластеризации и схема классификации данных, что на практике позволит снизить время принятия рациональных управленческих решений.

Ключевые слова: база знаний, управленческие решения, неопределённость, интеграция, информационные ресурсы, устойчивость, эффективность.

BASIC MODEL OF INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN ORGANISATIONAL SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY UNITS OF EMERCOM OF RUSSIA

V. V. CHURILINA, K. Z. BILYATDINOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia»,
Russian Federation, Saint-Petersburg,
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Russian Federation, Saint-Petersburg
E-mail: v_v_ch97@mail.ru, k74b@mail.ru

The proposed basic model is designed to organize the process of information support of managerial decision-making in the information security units of EMERCOM of Russia by means of rational processing and systematization of information, preparation of decision options depending on the current situation and knowledge integration to ensure (improve) the sustainability and efficiency of organisational systems under conditions of uncertainty.

As part of the basic model the scheme of interaction of components representing mathematical models, unified tabular forms for data systematisation, clustering metrics and data classification scheme have been developed, which in practice allows to reduce the time of making rational management decisions.

Key words: knowledge base, rational management decisions, uncertainty, integration, information resources, sustainability, efficiency.

Введение

Актуальность темы исследования основывается на объективной необходимости постоянного совершенствования информационного обеспечения (далее – ИО) принятия управленческих решений в организационных системах с целью обеспечения (повышения)

эффективности их функционирования в различных условиях [1].

Под организационными системами подразделений информационной безопасности МЧС России (далее – ОС) понимаются структурированные совокупности взаимосвязанных элементов, включающие персонал, технологии,

нормативно-правовую базу и информационные процессы, предназначенные для обеспечения защиты информации, противодействия киберугрозам и выполнения других задач в системе МЧС России в зависимости от специфики и уровня управления.

Анализ результатов научных исследований [1–5] выявил определённые пробелы в развитии научно-методологического базиса ИО управления сложными системами [4–7], применимого для ИО принятия управленческих решений в ОС с учётом временных ограничений, неопределённости, заведомо неблагоприятных воздействий внешней среды и специфики функционирования подразделений информационной безопасности (далее – ПИБ) МЧС России.

В связи с этим осуществлена **постановка задачи исследования**: разработать базовую модель информационного обеспечения принятия решений в ОС (далее – БМ) для повышения устойчивости и эффективности управления за счет интеграции процессов сбора, обработки, классификации, прогнозирования и хранения информации с учетом требований к свойствам информации в информационных ресурсах ПИБ МЧС России (далее – ИР) по достоверности, полноте, своевременности, доступности, структурированности и актуальности для принятия своевременных, обоснованных рациональных управленческих решений в заданный период времени функционирования ОС.

Основная часть

Назначение базовой модели (рис. 1) заключается в обеспечении эффективной организации процесса информационного обеспечения принятия управленческих решений в организационных системах ПИБ. Модель ориентирована на реализацию комплексного подхода, включающего рациональную обработку и систематизацию поступающей информации, формирование и обоснованный выбор альтернативных вариантов решений с учётом текущей оперативной обстановки, а также интеграцию накопленных знаний. Это позволяет повысить устойчивость и эффективность функционирования организационных систем в условиях неопределённости, динамично изменяющейся внешней среды и ограниченных временных ресурсов на реагирование.

Применение базовой модели информационного обеспечения принятия решений предполагает наличие организационно-правовых условий и технической готовности к формированию, регулярному пополнению и

поддержанию в актуальном состоянии информационных ресурсов подразделений информационной безопасности. Это включает доступ к необходимым источникам данных, а также обеспечение их достоверности, полноты, своевременности и защищённости. При этом внедрение и эксплуатация модели сопряжены с рядом ограничений, направленных на обеспечение её практической реализуемости и совместимости с существующими системами управления:

1. Внедрение БМ не должно требовать существенных затрат ресурсов, времени и изменений в существующей организационно-штатной структуре ПИБ МЧС России.

2. Внедрение БМ не должно нарушать режимы безопасного функционирования ПИБ МЧС России и требования информационной безопасности.

3. Базовая модель должна быть разработана с учётом возможности использования как существующих, так и перспективных аппаратно-программных комплексов, включая доверенный искусственный интеллект и квантовые технологии.

На основе допущений и ограничений, БМ (рис. 1) включает в себя параметрические модели:

1. Модель сбора и предварительной обработки данных (далее – МСиПОД).

МСиПОД предназначена для оценки качества входных данных, их нормализации, проверки полноты, а также оценки временных задержек информации, поступающей из внутренних и внешних источников.

Оценка качества входных данных Q для принятия решений в ОС определяется по формуле (1) [6, 10]

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i * \left(1 - \frac{|x_i - x_i^*|}{x_i}\right), \quad (1)$$

где n – количество параметров, подвергаемых оценке;

w_i – весовой коэффициент i -го параметра, определяющий его значимость [3];

x_i – эталонное (ожидаемое) значение i -го параметра, определяющееся на основе нормативных требований, экспертных оценок или исторических данных, характеризующих штатное функционирование организационной системы;

x_i^* – фактическое значение i -го параметра, полученное от источника.

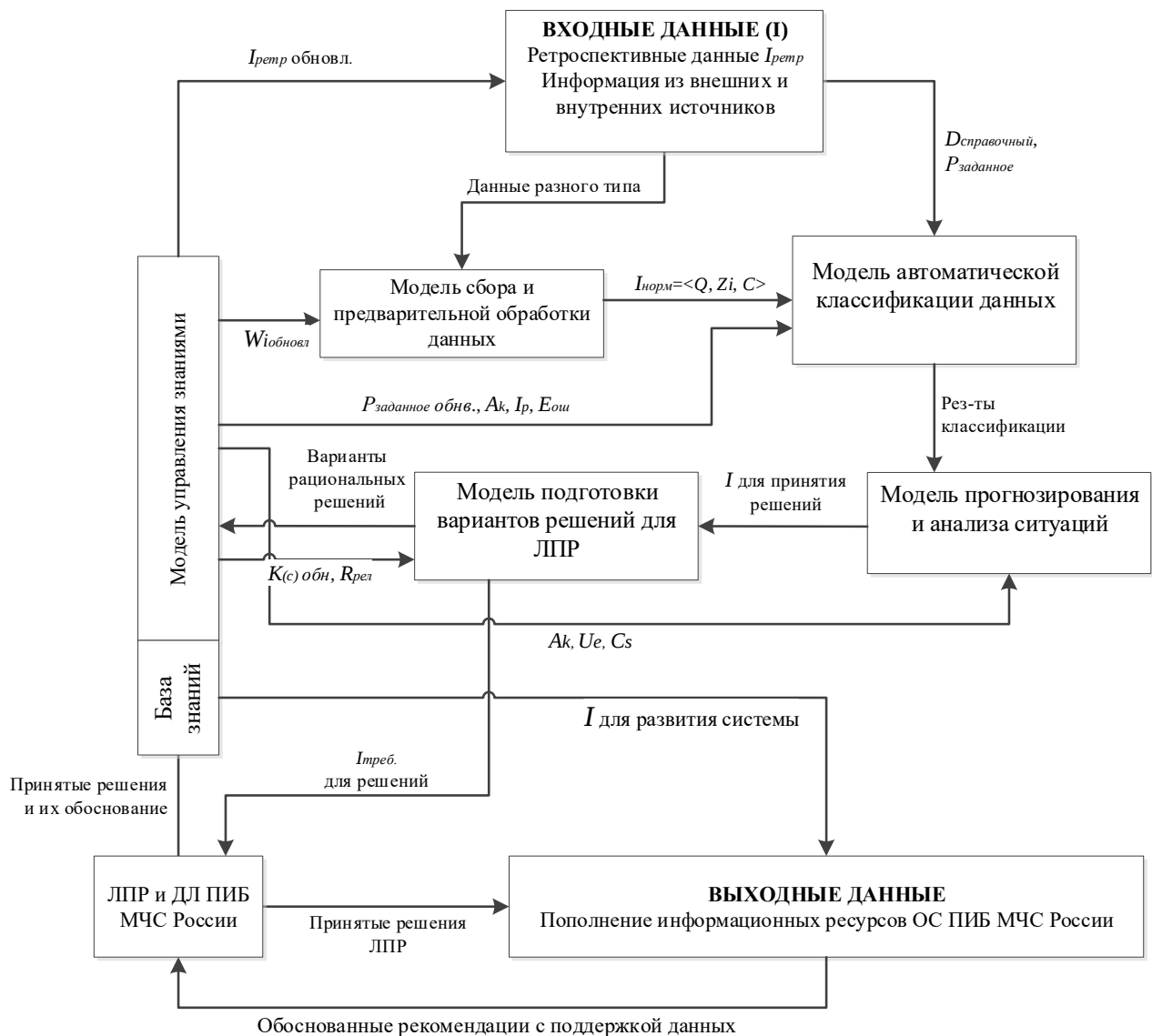


Рис. 1. Схема базовой модели ИО принятия решений в ОС ПИБ МЧС России

Если $x_i=0$, то в знаменателе формулы (1) добавляется малая положительная константа ε ($\varepsilon = 10^{-9}$) и знаменатель преобразуется ($|x_i| + \varepsilon$), чтобы избежать некорректности формулы при делении на ноль.

Поскольку данные могут поступать в различных форматах и шкалах измерения, для унификации их представления применяется процедура нормализации по формуле (2). Эта операция приводит все данные к единой шкале $[0; 1]$, что необходимо для последующего анализа и сравнения.

$$Z_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

где x_i – исходное значение;

$x_{\max}, x_{\min}$ – минимальное и максимальное значения диапазона для данного параметра.

Для оценки того, насколько полно собраны данные по заданному событию в МСи-ПОД применяется формула (3):

$$C = \frac{k}{m}, \quad (3)$$

где C – степень полноты информации;

k – количество фактически собранных характеристик события;

m – общее число необходимых характеристик события.

Если $C < 0,5$, то необходимо запросить дополнительные данные из других источников.

Для оценки временной задержки T_3 после начала события применяется формула (4):

$$T_3 = t_{\phi} - t_d, \quad (4)$$

где t_r – время фактического получения информации;

t_t – допустимое время получения.

Если $T_3 < 0$, информация поступила своевременно; если $T_3 > 0$, произошла задержка, требующая анализа причин сложившейся ситуации.

Полученные в МСиПОД данные систематизируются как выходные данные для других компонентов БМ и для пополнения ИР. Рекомендуемая табличная форма для систематизации данных представлена в виде табл. 1.

Таблица 1. Систематизация данных модели сбора и первичной обработки данных для пополнения информационных ресурсов ОС

Качество входных данных	Нормализация	Степень полноты данных	Временная задержка
Q	z_i	C	T_3
0,87	0,75	0,8	120

2. Модель автоматической классификации данных (далее – МАКД).

Назначение МАКД заключается в определении и уточнении вероятности наличия аномального события на основе анализа дополнительных признаков, оценке уровня риска, определении наиболее значимых характеристик для классификации, а также кластеризации событий с целью повышения точности прогнозирования путём снижения неопределённости.

В МАКД поступают входные данные из МСиПОД в виде нормализованных данных, ретроспективной информации [3], справочные значения ущерба D для различных типов неблагоприятных событий для системы информационной безопасности. Для автоматического определения подозрительных событий [7] предлагается расчёт вероятности наличия аномального события $P(A)$ по формуле (5):

$$P(A) = \frac{N_a}{N_t}, \quad (5)$$

где N_a – количество зарегистрированных аномальных событий;

N_t – общее количество событий за период.

Если $P(A) \leq P_{\text{заданное}}$, то событие классифицируется как «нормальное», $P(A) > P_{\text{заданное}}$, событие классифицируется как аномальное. $P_{\text{заданное}}$ может задаваться на основе ретроспективной информации и экспертных оценок или для автоматизации процесса с помощью Байесовского порога (6) [4]:

$$P_{\text{заданное}} = \frac{C_{\text{ложный}}}{C_{\text{ложный}} + C_{\text{пропущенный}}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{ложный}}$ – стоимость ложного срабатывания;
 $C_{\text{пропущенный}}$ – стоимость пропущенной аномалии.

Формула Байеса (8) применяется для уточнения вероятности аномального события $P(A|B)$ с учетом наличия определенного признака B [4]:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}, \quad (8)$$

где $P(A)$ – априорная вероятность аномалии A (до учета признака B);

$P(B|A)$ – вероятность наблюдения признака B при условии, что аномалия A произошла;

$P(B)$ – общая вероятность наблюдения признака B в любых условиях (с аномалией или без неё), рассчитанная по формуле (9):

$$P(B) = P(A|B) \cdot P(A) + P(B|\neg A) \cdot P(\neg A), \quad (9)$$

где $P(B|\neg A)$ – вероятность наблюдения B при отсутствии аномалии;

$P(\neg A) = 1 - P(A)$ – вероятность отсутствия аномалии.

Если событие сопровождается несколькими признаками ($B_1, B_2, \dots, B_n$), формула Байеса (9) применяется последовательно для каждого признака, обновляя значения $P(A)$ на каждом шаге.

Оценка уровня риска (7):

$$R = P(A) \cdot D \quad (7)$$

Для кластеризации числовых данных применяется расстояние Евклида (10):

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (10)$$

где, y – набор признаков события (время, ущерб и т.д.).

Для категориальных данных, таких как типы событий, код ошибки, применяется расстояние Хэмминга (11):

$$d_H(x, y) = \sum_{i=1}^n \delta(x_i, y_i), \quad (11)$$

где $\delta(x_i, y_i)$ – функция, принимающая значение 1, если $x_i \neq y_i$ и 0, если $x_i = y_i$.

$$D_{L,i,j} = \begin{cases} \max(i, j) & \text{если } i = 0 \text{ или } j = 0 \\ D[i-1][j-1] & \text{если } A[i-1] = B[j-1] \\ 1 + \min(D[i-1][j], D[i][j-1], D[i-1][j-1]) & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

В модели расстояние Левенштейна применяется для сравнения текстовых описаний событий (например, названия угроз). События с минимальными расстояниями между собой объединяются в кластеры по схожим признакам (табл. 2). С помощью формул логистической регрессии (13, 14) рассчитывается вероятность принадлежности события к классу «аномальное» $\sigma(\eta)$ с линейной комбинацией признаков и весов η .

$$\sigma(\eta) = \frac{1}{1+e^{-z}}, \quad (13)$$

$$\eta = w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (14)$$

где w_0 – смещение, отвечающее за сдвиг решающей границы;

w_i – веса признаков, определяющие их влияние на результат.

Формула расстояния Левенштейна (12) рассчитывается с помощью динамического программирования. Для двух строк A и B длиной m и n соответственно строится матрица D размером $(m+1) \times (n+1)$, где D_{ij} – это расстояние между первыми i символами строки A и первыми j символами строки B.

x_i – нормированные данные из МСиПОД (например, частота активности, время).

Формула энтропии множества $H(S)$ применяется для оценки количества информации в потоке событий (15), для выбора наиболее важных признаков классификации событий (например, «тип события», «временная метка», «источник») и для повышения точности прогнозирования рисков за счет уменьшения неопределенности:

$$H(S) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i), \quad (15)$$

где p_i – частота встречаемости класса i среди всех событий.

Полученные в МАКД данные систематизируются как выходные данные для других компонентов БМ (табл. 3) и пополнения ИР (рис. 1).

Таблица 2. Таблица сравнения метрик кластеризации

Метрика	Применение в модели	Особенности
Расстояние Евклида	Кластеризация числовых параметров (R , c_i , T_z)	Работает с непрерывными значениями, но не с категориями
Расстояние Хэмминга	Классификация категориальных событий (тип события, источник события и т.д.)	Учитывает только точные совпадения символов на позициях
Расстояние Левенштейна	Анализ текстовых описаний (названия КВС, отчеты и т.д.)	Учитывает вставки, удаления и замены символов

Таблица 3. Систематизация данных МАКД для пополнения ИР ОС

Классифицированное событие	Уровень риска	Вероятность аномального события	Кластер события
аномальное/нормальное	R	$P(A B)$	Описание события
аномальное	0,85	0,91	Ddos-атака

3. Модель прогнозирования и анализа ситуаций (далее – МПиАС) предназначена для оценки потенциальных потерь, прогнозирования изменений уровня риска, оценки эффективности прогнозных моделей, прогнозирования затрат по кластерам из МАКД, оценки среднего времени реакции на обработку заявок, а также

корректировки уровня риска в условиях неопределенности и недостатка информации.

Применение понятия уровня риска потерь R (16) позволяет количественно оценить возможные потери:

$$R = P(A) * D, \quad (16)$$

где $P(A)$ – вероятность возникновения аномального события;

D – нормализованная или абсолютная оценка потенциального ущерба.

Для прогнозирования динамики уровня риска применяется модель экспоненциального сглаживания (17) [8]:

$$\hat{R}_t = \alpha * R_t + (1 - \alpha) * \hat{R}_{t-1}, \quad (17)$$

где $\hat{R}_t$ – прогнозируемый уровень риска на момент времени t ;

α – коэффициент сглаживания ($0 < \alpha < 1$);

R_t – фактический уровень риска на момент t ;

$\hat{R}_{t-1}$ – предыдущее прогнозное значение.

Оценка эффективности прогноза по методу средней абсолютной ошибки (MAE) (18) и среднеквадратической ошибки (MSE) (19):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (18)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (19)$$

где y_t – фактическое значение уровня риска в момент t ;

$\hat{y}_t$ – прогнозное значение.

Чем меньше MAE и MSE, тем точнее прогноз.

Для прогнозирования затрат по кластерам применяется формула (20):

$$C_{\text{прогноз}} = C_0 + k * t, \quad (20)$$

где C_0 – начальная стоимость;

k – прирост затрат;

t – временной фактор (например, дни, недели).

Для оценки времени реакции системы применяется формула Литтла (21) по среднему пребыванию заявки в системе W :

$$W = \frac{L}{\lambda}, \quad (21)$$

где L – среднее число заявок в системе;

λ – интенсивность входящего потока заявок.

Скорректированный уровень риска (22) по потенциальному ущербу D с учетом контекста $P(A|B)$:

$$R_{\text{кор}} = P(A|B) * D, \quad (22)$$

Полученные в МПиАС данные систематизируются как выходные данные для других компонентов БМ (табл. 4) и пополнения ИР (рис. 1).

Таблица 4. Систематизация данных МПиАС для пополнения ИР

Уровень риска потерь	Прогнозируемый уровень риска на момент времени	Оценка эффективно- сти прогноза	Прогнозы затрат	Оценки времени реакции модели	Скорректированный уровень риска
R	$\hat{R}_t$	MAE/MSE	$C_{\text{прогноз}}$	W	$R_{\text{кор}}$
0,85	0,82	0,03/0,0012	125	15	0,78

4. Модель подготовки вариантов рациональных решений для ЛПР (далее – МПВРР) предназначена для ранжирования вариантов решений из МПиАС по нескольким параметрам, их попарного сравнения, рационального выбора и оценки эффективности управленческих решений (на основе обратной связи (рис. 1)), что позволяет своевременно выбрать наиболее рациональное управленческое решение с учетом сложившейся ситуации.

Формула многокритериальной оценки решения позволяет ранжировать варианты управленческих воздействий на основе их суммарного рейтинга. Для j -го варианта решения этот рейтинг рассчитывается по формуле (23):

$$R_j = \sum_{i=1}^m k_i * v_{ij} \quad (23),$$

где k_i – весовой коэффициент i -го критерия, отражающий его относительную значимость при выборе оптимального решения;

v_{ij} – нормализованное значение j -го варианта по i -му критерию.

Метод АНР (Analytic Hierarchy Process) (24) позволяет проводить попарное сравнение вариантов решений на основе экспертных оценок и строить матрицу предпочтений.

$$M = [m * n] \quad (24)$$

где m – количество сравниваемых элементов (критериев или альтернатив);

n – количество признаков или параметров, по которым осуществляется сравнение.

Использование линейного программирования для выявления наиболее выгодного сценария реагирования (25) [8]:

$$\text{minimize } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \text{ при } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (25)$$

c_j – стоимость ресурса j ;
 x_j – количество ресурса j ;
 a_{ij} – потребление ресурса j в процессе i ;
 b_i – доступный объем ресурса i .

Оценка эффективности управленческих решений (26), которая представляет собой относительный показатель эффективности, учитывающий соотношение достигнутого эффекта и затраченных ресурсов [9]:

$$K(c) = \frac{\Delta R}{c} * \alpha - \beta * \frac{c}{c_{\max}}, \quad (26)$$

где α – коэффициент приоритета цели, отражающий значимость конкретного направления деятельности ПИБ МЧС России (например,

противодействие DDoS-атакам, защита персональных данных и т.д.) в рамках общей целевой функции системы. Значение $\alpha \in [0; 1]$ устанавливается на основе анализа угроз и стратегических задач;

B – базовая эффективность подразделения, определяемая как интегральный показатель, включающий суммарную производительность должностных лиц (ДЛ), степень готовности технических средств и уровень автоматизации процессов. Может рассчитываться как взвешенная сумма частных показателей (например, время реакции, количество предотвращенных инцидентов);

β – коэффициент значимости затрат ресурсов;

c – заданные дополнительные затраты на повышение эффективности функционирования ПИБ МЧС России и (или) ДЛ и (или) ЛПР.

Полученные в МПВРР данные систематизируются как выходные данные для модели управления знаниями (табл. 5) и пополнения ИР.

Таблица 5. Систематизация данных МПВРР для пополнения ИР

Ранжированные варианты решений	Сравнение вариантов решений	Наиболее выгодный сценарий реагирования	Оценка эффективности управленческих решений
R_j	M_{ij}	$\min Z$	$K(c)$
0,92	4	138	0,15
0,76	3	140	0,1
0,83	2	142	0,08

5. Модель управления знаниями (далее – МУЗ) предназначена для оценки релевантности события, определения актуальности знаний, выявления уникальных событий, идентификации часто повторяющихся инцидентов, анализа качества прогнозов и сложности событий, а также своевременного обновления базы знаний (БЗ) МУЗ для повышения точности и адаптивности системы в условиях неопределённости.

Для оценки релевантности события $R_{\text{рел}}$ при поиске аналогичных случаев в БЗ применяется формула (27) для объективизации выбора решений:

$$R_{\text{рел}} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i * \delta_i}{\sum_{i=1}^k w_i}, \quad (27)$$

где k – количество характеристик события (например: тип события, уровень риска R , время t);

δ_i – функция совпадения для i -го признака (1 – совпадает, 0 – нет).

Для оценки актуальности знания A_k [11] применяется формула (28):

$$A_k = e^{-\beta * t_k} * E_k, \quad (28)$$

где t_k – время с момента добавления знания в базу знаний;

β – коэффициент затухания, определяющий скорость устаревания знания (подбирается эмпирически или на основе анализа жизненного цикла угроз);

E_k – эффективность ранее примененного решения.

Формула (28) обеспечивает отбор релевантных знаний, актуальных для текущей ситуации, и позволяет выявлять устаревшие данные, требующие обновления или исключения из базы знаний.

Для оценки уникальности события U_e [7] применяется формула (29):

$$U_e = 1 - \frac{n_{\text{совп}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (29)$$

где $n_{\text{совп}}$ – количество совпадений события с ретроспективной информацией, а $N_{\text{общ}}$ – общее число событий в БЗ.

Таким образом, формула (29) рекомендуется для выявления уникальных событий, которые могут потребовать адаптации БМ.

Индекс повторяемости события I_p рассчитывается по формуле (30) для выявления часто встречающихся событий и предназначен для разработки наиболее рациональных вариантов решений в типовой ситуации. I_p является дополнением к показателю уникальности U_e и позволяет дифференцировать подход к обработке типовых и новых инцидентов:

$$I_p = \frac{n_{\text{совп}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (30)$$

Для оценки качества прогнозов применяется формула (31) и, при возможности включения доверенного искусственного интеллекта (ДИИ) в МУЗ, позволяет обучать ДИИ на основе ошибок прогнозирования и корректировки параметров МПиАС:

$$E_{\text{ош}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |R_{\text{факт}} - R_{\text{прогн}}|, \quad (31)$$

где $E_{\text{ош}}$ – средняя абсолютная ошибка прогноза уровня риска за n циклов принятия и реализации решений;

$R_{\text{факт}}$ – фактический уровень риска после реализации решения;

$R_{\text{прогн}}$ – прогнозный уровень риска, полученный в МПиАС.

Для оценки сложности события для обучения ДИИ C_s [11] применяется формула (32), что позволяет разделять события на разные уровни сложности для обучения ДИИ и повышать качество обучающих выборок:

$$C_s = H(S) + \log(n_{\text{парам}}), \quad (32)$$

где $n_{\text{парам}}$ – количество входных параметров события.

Для постепенного и контролируемого обновления базы знаний $B_{\text{обн}}$ без потери устойчивости модели применяется формула (33), которая интерпретируется как поэлементное взвешенное обновление многомерной базы знаний, аналогичное механизму экспоненциального сглаживания в динамических системах и алгоритмах адаптивного обучения.

$$B_{\text{обн}} = B_{\text{тек}} * (1 - \gamma) + S_{\text{нов}} * \gamma, \quad (33)$$

где $B_{\text{тек}}$ – текущее состояние базы знаний на определенный момент времени;

$S_{\text{нов}}$ – новый фрагмент знаний, полученный на основе результатов реализованного управленческого решения ЛПР;

γ – коэффициент адаптации, определяющий степень влияния новых данных.

Систематизированные выходные данные МУЗ указаны в табл. 6.

Таблица 6. Систематизация данных в модели управления знаниями и в ИР

Оценка релевантности события	Оценка актуальности знания	Оценка уникальности события	Индекс повторяемости события	Средняя абсолютная ошибка прогноза уровня риска	Оценка сложности события для обучения ДИИ
$R_{\text{рел}}$	A_k	U_e	U_p	$E_{\text{ош}}$	C_s
0,85	0,62	0,9	0,1	0,13	4

Таким образом, в БМ (рис. 1) после того, как ЛПР принимает решение, результаты его реализации и все связанные с ним данные сохраняются в БЗ и в ИР ПИБ МЧС России, что в перспективе будет способствовать формированию интеграционных ресурсов развития ПИБ МЧС России.

Заключение

Научная новизна БМ заключается в синтезе и адаптации комплекса математических моделей, охватывающих полный цикл подготовки управленческих решений – от сбора и первичной обработки данных до

формирования, выбора вариантов решений и управления знаниями в условиях неопределённости.

Теоретическая значимость исследования состоит в адаптации, развитии и применении апробированного математического аппарата в новой предметной области – управлении организационными системами ПИБ МЧС России. При этом разработаны схема классификации данных и унифицированные табличные формы для систематизации данных в ИР, охватывающие ключевые этапы ИО принятия управленческих решений в ПИБ МЧС России.

Практическая значимость БМ заключается в возможности существенного сокращения времени принятия управленческих решений в ПИБ МЧС России, а также в применении для

научного обоснования технических заданий на опытно-конструкторские работы и технических решений по разработке (модернизации) АСУ и СППР для ПИБ МЧС России.

Список литературы

1. Билятдинов К. З., Кривчун Е. А., Карпов А. Н. Методы получения данных, идентификации моделей и совершенствования управления организационными системами на основе экспертной информации // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 1. С. 67–77.

2. Варламов О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. – М.: Научно-техническое издательство «Радио и связь», 2002. – 286 с.

3. Чурилина В. В., Билятдинов К. З. Комплекс методик и модель процесса получения данных для совершенствования управления организационными системами подразделений информационной безопасности МЧС России // Инженерный вестник Дона. 2025 № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10142. (дата обращения: 02.05.2025).

4. Бутырский Е. Ю., Матвеев А. В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с.

5. Совершенствование методов построения экстремальных систем управления / Д. В. Болдырев, А. И. Колдаев, А. А. Евдокимов [и др.] // Инженерный вестник Дона. № 10. 2023. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8756. (дата обращения: 02.05.2025).

6. Соколова Е. С. Методы оценки качества учетной информации // Статистика и экономика. 2011. № 2. С. 118–123. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-kachestva-uchetnoy-informatsii> (дата обращения: 02.05.2025).

7. Шелухин О. И., Раковский Д. И. Выбор метрических атрибутов редких аномальных событий компьютерной системы методами интеллектуального анализа данных // Т-Comm. 2021. № 6. С. 40–47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-metriceskikh-atributov-redkih-anomalnyh-sobytiy-kompyuternoy-sistemy-metodami-intellektualnogo-analiza-dannyh> (дата обращения: 02.05.2025).

8. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

9. Новиков Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. 161 с.

10. Bauen A., Hart D., Chase A. Fuel cells for distributed generation in developing countries – An analysis. International Journal of Hydrogen Energy, 2003, Vol. 28, issue 7, pp. 695–701.

11. Блохина С. В., Адамова Л. Е., Варламов О. О. Рекомендации по разработке учебных программ для обучения по безопасности персональных данных // Информация и образование: границы коммуникаций. 2009. № 1 (9). С. 126–129.

12. Mazzocchi F. Knowledge organization system (KOS): an introductory critical account. KO Knowledge Organization, 2018, vol. 45, issue 1, pp. 54–78.

13. Heller M. Rethinking historical methods in organization studies: Organizational source criticism. Organization Studies, 2023, vol. 44, issue 6, pp. 987–1002.

References

1. Bilyatdinov K. Z., Krivchun E. A., Karpov A. N. Metody polucheniya dannyh, identifikatsii modelej i sovershenstvovaniya upravleniya organizatsionnymi sistemami na osnove ekspertnoj informatsii [Methods for obtaining data, identifying models, and improving management of organizational systems based on expert information]. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*, 2024, issue 1, pp. 67–77.

2. Varlamov O. O. *Evolucionnyye bazy dannyh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektual'nyh sistem. Mivarnoe informacionnoe prostranstvo* [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space]. Moscow: Nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo «Radio i svyaz'», 2002. 286 p.

3. Churilina V. V., Bilyatdinov K. Z. Kompleks metodik i model' processa polucheniya dannyh dlya sovershenstvovaniya upravleniya organizatsionnymi sistemami podrazdelenij informacionnoj bezopasnosti MCHS Rossii [A set of methods and a model of the data acquisition process for improving the management of organizational systems of information security units of the EMERCOM of Russia]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2025, issue 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10142. (accessed 02.05.2025)

4. Butyrskiy E. Yu., Matveev A. V. *Matematicheskoe modelirovanie sistem i processov* [Mathematical modeling of systems and processes]. SPb.: Informatsionnyy izdatel'skiy uchebno-nauchnyy centr «Strategiya budushchego», 2022. 733 p.

5. Sovershenstvovanie metodov postroeniya ekstremal'nyh sistem upravleniya [Improving the methods of building extreme control systems] / D. V. Boldyrev, A. I. Koldaev, A. A. Evdokimov [et al.]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2023, issue 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8756. (accessed 02.05.2025)

6. Sokolova E. S. Metody ocenki kachestva uchetnoj informacii [Methods for assessing the quality of accounting information], *Statistika i ekonomika*, 2011, issue 2, pp. 118–123. URL: cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-kachestva-uchetnoy-informatsii. (accessed 02.05.2025)

7. Sheluhin O. I., Rakovskij D. I. Vybor metriceskikh atributov redkih anomal'nyh sobytij komp'yuternoj sistemy metodami intellektual'nogo analiza dannyh [Selection of metric attributes of rare anomalous computer system events by data mining methods]. *T-Comm*, 2021, issue 6, pp. 40–47. URL: cyberleninka.ru/article/n/vybor-metriceskikh-atributov-redkih-anomalnyh-sobytyi-kompyuternoy-sistemy-metodami-intellektualnogo-analiza-dannyh. (accessed 02.05.2025)

8. Ventcel' E. S. *Issledovanie operacij: zadachi, principy, metodologiya* [Operations

research: tasks, principles, methodology]. Moscow: Nauka, 1988. 208 p.

9. Novikov D. A. *Mekhanizmy funkcionirovaniya mnogourovnevnyh organizacionnyh sistem* [Mechanisms of functioning of multilevel organizational systems]. Moscow: Fond «Problemy upravleniya», 1999. 161 p.

10. Bauen A., Hart D., Chase A. Fuel cells for distributed generation in developing countries – An analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2003, Vol. 28, issue 7, pp. 695–701.

11. Blohina S. V, Adamova L. E., Varlamov O. O. Rekomendacii po razrabotke uchebnyh programm dlya obucheniya po bezopasnosti personal'nyh dannyh [Recommendations for the development of training programs for personal data security training], *Informaciya i obrazovanie: graniцы kommunikacii*, 2009, vol. 1 (9), pp. 126–129.

12. Mazzocchi F. Knowledge organization system (KOS): an introductory critical account. *KO Knowledge Organization*, 2018, vol. 45, issue 1, pp. 54–78.

13. Heller M. Rethinking historical methods in organization studies: Organizational source criticism. *Organization Studies*, 2023, vol. 44, issue 6, pp. 987–1002.

Чурилина Валерия Валерьевна

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации

E-mail: v_v_ch97@mail.ru

Churilina Valeriya Valerievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia»,

Russian Federation, Saint Petersburg

postgraduate student at the faculty of higher education

E-mail: v_v_ch97@mail.ru

Биятдинов Камиль Закирович

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

доктор технических наук, и.о. зав. кафедрой, профессор кафедры «Информатика и информационная безопасность»

E-mail: k74b@mail.ru

Bilyatdinov Kamil Zakirovich

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Russian Federation, Saint Petersburg

Doctor of Technical Sciences, Acting Head of Department, Professor of the Department of Informatics and Information Security

E-mail: k74b@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальностям журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.
- экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в журнале;

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

- формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;

- графики, рисунки и фотографии монтируются в текст после первого упоминания о них. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде

ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обязательно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;

- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;

- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;

- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;

- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: *Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;*

- единственная в статье таблица не нумеруется: *Таблица. Анализ оборудования для задачи воздушно-механической пены;*

- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;

- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;

- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

- список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;

- список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

Материалы предоставляются по адресу:
Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Современные проблемы гражданской защиты»,
тел.: (4932) 93-08-00 доб. 15-60; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 3 (56), 2025

16+

Дата выхода в свет 25.09.2025 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 17,3. Тираж 100 экз.
Заказ № 908. Цена свободная.

Оригинал-макет подготовлен
Ивановской пожарно-спасательной академией ГПС МЧС России
АДРЕС РЕДАКЦИИ (ИЗДАТЕЛЯ): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33;
тел.: (4932) 93-08-00, доб. 1560; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в АО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90