

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ
ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**Пустовалов И. А., Иванов А. В. **2****ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ НОЧНЫХ КЛУБОВ**Парфененко А. П., Брюхов Е. Н., Кузнецов А. А. **12****ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С АДАПТИВНЫМ АЛГОРИТМОМ
АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА ГОРЮЧИХ
ЖИДКОСТЕЙ**Корнилов А. А., Бородин А. А. **26****ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ТИПА ПРИ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ В УСЛОВИЯХ
СТАНДАРТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА**Головина Е. В., Ефимов И. А., Крехтунов А. А. **40****АНАЛИЗ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ
ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**Скрипник И. Л., Дементьев Ф. А., Савельев Д. В., Булатов В. О. **47****БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ****ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ГРОЗ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ
ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Проскова Н. Ю. **58****ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЛЁГКОГО
КЛАССА В ПОЖАРОТУШЕНИИ И ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ
РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ
РЕШЕНИЯ**Мураев Н. П., Вишняков А. В., Карапузиков А. А., Дьяков К. В. **74****ПОЖАРЫ И ВЗРЫВЫ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ
И НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ РОССИИ В 2018-2022 ГОДАХ**Ивахнюк С. Г., Петрова Н. В., Плешаков В. В. **90**

УДК 614.844.2

ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**Пустовалов Илья Андреевич¹, Иванов Алексей Владимирович²**¹Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия²Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, Россия**АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассмотрены результаты исследований в области повышения огнетушащей эффективности тонкораспыленной воды за счет применения добавок, а также возможность ее использования в целях тушения пожаров горючих жидкостей. Представлен обзор основных добавок к тонкораспыленной воде, предложенных исследователями за последние восемь лет: органические соединения, наноматериалы, неорганические соединения, поверхностно-активные вещества, многокомпонентные добавки. Рассмотрены характеристики различных видов добавок: свойства, механизмы действия при тушении модельных очагов пожаров класса «В». Предложена классификация основных видов добавок. Определены доминирующие способы тушения пожара горючей и легковоспламеняющейся жидкостей при добавлении различных добавок в состав ТРВ. Сделан вывод о возможности применения тонкораспыленной воды, содержащей добавки, для тушения пожаров нефтепродуктов, что подтверждается экспериментальными данными. Подбор добавок к тонкораспыленной воде следует осуществлять исходя из вида объекта защиты, установки пожаротушения и условий эксплуатации. Отмечена высокая эффективность огнетушащих составов на водной основе с применением углеродных наноструктур (астраленов) при тушении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Данная добавка интенсифицирует процессы теплоотвода, что оказывает значительный эффект на скорость охлаждения пламенной зоны горения.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода, добавка, горючая жидкость, тушение, модульная установка пожаротушения, нефтепродукты, астралены

ADDITIVES FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF FINE SPRAY WATER IN EXTINGUISHING OIL PRODUCT FIRES**Ilya A. Pustovalov¹, Alexey V. Ivanov²**¹Academy of the State Fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia²Saint-Petersburg University of State Fire service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

This article reviews the results of research in the field of increasing the extinguishing efficiency of fine spray water through the use of additives, as well as the possibility of its use for extinguishing fires of flammable liquids. An overview of the main additives to finely dispersed water proposed by researchers over the past eight years is presented: organic compounds, nanomaterials, inorganic compounds, surfactants, multicomponent additives. Characteristics of different types of additives are considered: properties, mechanisms of action in extinguishing model fires of class "B". Classification of the main types of additives is proposed. The dominant methods of fire extinguishing of combustible and flammable liquids when adding various additives to the composition of TRVs are determined. It is concluded that it is possible to use fine spray water containing additives for extinguishing fires of oil products, which is confirmed by experimental data. Selection of additives to fine spray water should be based on the type of protection object, fire extinguishing installation and operating conditions. High efficiency of water-based fire extinguishing compositions with the use of carbon nanostructures (astralenes) in extinguishing flammable and combustible liquids has been noted. This additive intensifies the processes of heat removal, which has a significant effect on the cooling rate of the flame combustion zone.

Keywords: fine spray water, additive, flammable liquid, extinguishing, modular fire extinguishing unit, petroleum products, astralenes

Введение

Затяжные пожары нефтепродуктов приводят к загрязнению окружающей среды, наносят большой материальный ущерб предприятию и государству. Сосредоточение значительной пожарной нагрузки, ограниченность способов доставки огнетушащего вещества в зону горения создают угрозу жизни и здоровью персонала и личного состава пожарных подразделений, задействованных для ликвидации возгорания. Для пожаров нефтепродуктов характерна высокая динамика развития и скорость распространения пламени на ранней стадии пожара [1]. В условиях невозможности предотвращения возникновения пожара возникает необходимость разработки новых способов пожаротушения, обеспечивающих локализацию и ликвидацию возгорания на ранней стадии развития пожара.

Основная часть

В целях обеспечения пожарной безопасности на потенциально опасных объектах существует два принципиально различных подхода [2]. Первый подход направлен на предотвращение возникновения пожаров, второй – на формирование условий, позволяющих достичь ликвидации на ранней стадии развития пожара (рисунок 1).

Наиболее перспективным огнетушащим веществом с точки зрения величины материального ущерба, причиненного в результате тушения, безопасности для людей и затрат на монтаж оборудования является тонкораспыленная вода (ТРВ). Данный вид огнетушащего вещества хорошо зарекомендован для обеспечения защиты от пожаров на следующих объектах: складские системы стеллажного хранения, подземные автостоянки, различные виды транспортной техники, электрооборудование, находящееся под напряжением, архивы, книгохранилища и другие

объекты [8–11]. Однако для тушения пожаров нефтепродуктов тонкораспыленная вода применяется редко.

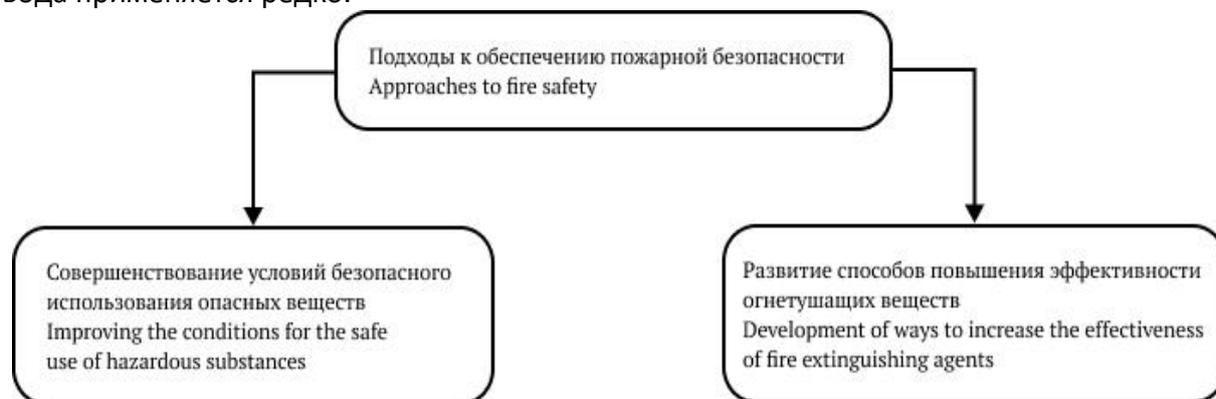


Рис. 1. Подходы к обеспечению пожарной безопасности на объектах с обращением опасных веществ

Fig. 1. Approaches to ensuring fire safety at facilities with hazardous substances handling

Известны основные механизмы тушения горючей жидкости тонкораспыленной водой: достижение значения массовой концентрации водяного пара, при котором достигается нижний концентрационный предел горения горючей газовой смеси; охлаждение горючей газовой смеси в пламенной зоне за счет испарения воды до температуры вспышки горючих паров [6]. При объемном тушении основными характеристиками тонкораспыленной воды являются скорость достижения требуемой концентрация водяного пара (разбавление) и скорость испарения капель воды (охлаждение пламенной зоны). Мощность теплового потока при горении нефтепродуктов в зависимости от расстояния до очаговой зоны может достигать более

20 кВт/м² [7], в результате чего капли среднего диаметра 150 мкм уносятся из зоны горения, не достигнув пламенной зоны и вышеуказанные механизмы не работают.

В последние годы активно развивается направление модифицирования воды различными добавками. В данной статье приведен обзор добавок, влияющих на огнетушащую способность системы тушения тонкораспыленной водой без учета внешних характеристик окружающей среды и очага, таких как наличие механической вентиляции, наклон поверхности, несколько очаговых зон и прочие факторы. Классификация добавок, представленная на рис. 2, учитывает механизм подавления пламени горючей жидкости и природы добавки.

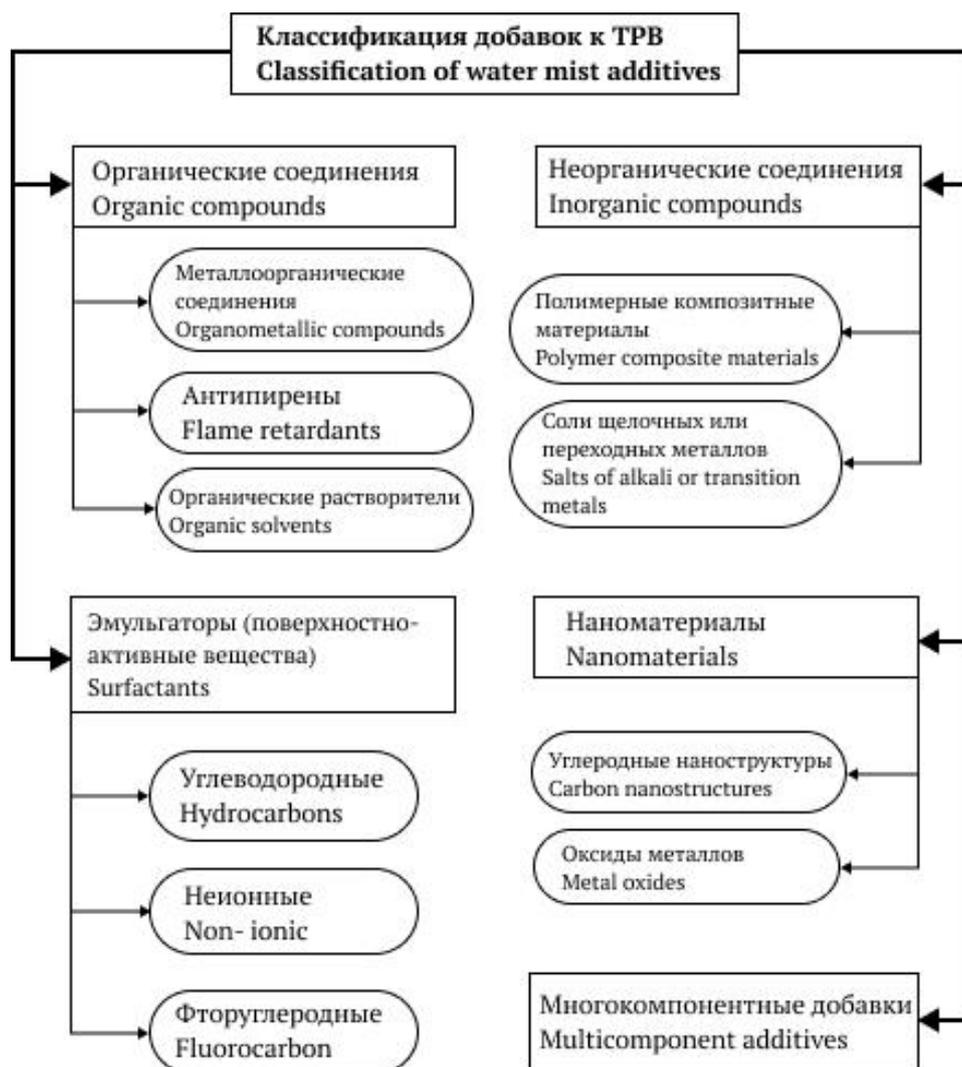


Рис. 2. Классификация добавок, повышающих огнетушащие свойства тонкораспыленной воды при тушении пожаров нефтепродуктов

Fig. 2. Classification of additives that increase the extinguishing properties of finely dispersed water when extinguishing fires of petroleum products

Неорганические соединения

Научным коллективом [3] были проведены исследования с целью оценки влияния 10-процентного бромида калия (10 % KBr) на эффективность тушения модельного очага пожара класса В тонкораспыленной водой. Время свободного горения легковоспламеняющейся жидкости составляло 15 с., а подача на тушение тонкораспыленной воды без добавок осуществлялась с высоты 2 м. В результате было установлено резкое увеличение температуры (от 27 до 416 °С) в зоне горения, расположенной на высоте 10 см от зеркала

жидкости. При этом ликвидация возгорания в модельном очаге класса В объемом 200 мл не была достигнута. Это указывает на недостаточные теплоотводящие свойства водяного тумана без добавок. В тоже время применение тонкораспыленной воды с содержанием 10 % KBr препятствует увеличению температуры в зоне горения выше 284 °С. Кроме того, обнаружено смещение эндотермического пика на высоту 20 см от зеркала жидкости. Это связано с образованием продуктов разложения KBr, которые сосредотачиваются в промежутке между зеркалом жидкости и уров-

нем размещением термопары № 2 (на высоте 20 см), образуя нестабильный зазор. Ликвидация модельного очага пожара класса В в условиях применения добавки 10 % КВг была достигнута на 81 секунде.

Авторским коллективом [2] рассматривался вопрос снижения негативных последствий пожаров нефтепродуктов с точки зрения предотвращения несчастных случаев, обеспечения сохранности окружающей среды и энергосбережения. С этой целью изучалась возможность применения тонкораспыленной воды в системах низкого, среднего и высокого давления как чистой, так и с применением экологически чистых добавок для тушения пожаров горючих жидкостей. В качестве добавок к воде применялся полимерный композит собственного производства и хлорид натрия (NaCl). Результаты исследований демонстрируют эффективность чистой тонкораспыленной воды в системах пожаротушения высокого давления. В тоже время применение добавки – полимерного композиционного материала в концентрации 1 масс. % – позволило обеспечить тушение возгорания горючей жидкости в системе пожаротушения низкого давления. Тонкораспыленная вода с содержанием 1 масс. % NaCl не продемонстрировала стабильный эффект тушения возгорания горючей жидкости.

Доминирующим способом тушения горючей жидкости тонкораспыленной водой, содержащей неорганические соединения, является ингибирование.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Применение полисорбата-80 в качестве добавки к ТРВ позволяет получить эмульсию бензина и воды, что приводит к снижению давления насыщенного пара. В условиях воздействия окислителя и температуры скорость образования горючих паров над поверхностью эмульсии ниже по сравнению с бензином. Этот эффект

способствует тушению пожаров класса В. Так, добавление 0,5 об. % полисорбата-80 к тонкораспыленной воде позволяет ликвидировать модельный очаг пожара с высоты 2 м за 32 с [3].

В исследовании [4] изучалось влияние углеводородного поверхностно-активного вещества (кокамидопропилбетаин), а также фторуглеродного поверхностно-активного вещества (Capstone FS-1157) на ТРВ, концентрации которых составили 1 масс. %. Применение кокамидопропилбетаина позволяет значительно снизить поверхностное натяжение воды для усиления эффекта распыления. Применение Capstone FS-1157 обусловлено способностью образовывать тонкослойную пленку на поверхности масла и эмульгировать ГЖ после распыления из форсунки. В результате исследования установлено, что среднее время тушения пожара было значительно сокращено по сравнению с использованием чистого водяного тумана, особенно для Capstone FS-1157, огнетушащий эффект которого является наилучшим при тушении трансформаторного масла. Время тушения пожара трансформаторного масла составило 6 с, что на 90 % ниже по сравнению с чистым водяным туманом. Данный результат главным образом связан с эмульгированием поверхностно-активного вещества на поверхность горючей жидкости.

В исследовании [12] было изучено влияние четырех видов ПАВ в составе ТРВ на время тушения пожара в бассейне с трансформаторным маслом. Было зафиксировано изменение температуры и формы пламени пожара в процессе тушения горящего трансформаторного масла. Эффективность тушения пожара водяным туманом, содержащим ПАВ, оказалась выше по сравнению с чистой тонкораспыленной водой. Это связано со снижением поверхностного натяжения воды, изоляцией кислорода за счет образования пленки на поверхности горючей жидкости

и эмульгирования трансформаторного масла при поверхностно-объемном тушении. Водяной туман, содержащий фторуглеродное ПАВ, продемонстрировал лучший огнетушащий эффект пожара в очаге с трансформаторным маслом, чем водяной туман, содержащий углеводородное ПАВ. Так, с помощью тонкораспыленной воды с содержанием 5 % фторуглеродного ПАВ время тушения пожара составило 7 с. Это связано с высокой электроотрицательностью и низкой поляризуемостью фторуглеродной цепи в ПАВ, а также с низкой стабильностью углеводородных ПАВ в условиях повышенной температуры. Фторуглеродное ПАВ обладает высокой поверхностной активностью в водном растворе, что приводит к образованию устойчивой пленки на поверхности горючей жидкости и изолированию кислорода.

Таким образом, основным способом тушения пожара ТРВ с содержанием ПАВ является изоляция – образование на поверхности горючей жидкости изолирующего слоя, позволяющего снизить скорость образования горючих паров над горючей жидкостью, а также эмульгирование горючей жидкости, что приводит к снижению скорости её испарения. Также применение фторсодержащих ПАВ позволяет уменьшить размер частиц водяного тумана.

Органические соединения

Добавка, представляющая собой соль щелочного металла (KHSO_3), способна образовывать активные радикалы при тушении пожаров горючих жидкостей. Калиевая соль, используемая в качестве добавки к тонкораспыленной воде продемонстрировала положительный эффект по сравнению с чистой водой [4]. Среднее время тушения модельного очага с бензином составило 30 с, с дизельным топливом – 25 с, а с трансформаторным маслом – 37 с.

Органический антипирен (карбамид) при попадании в зону горения выделяет большое количество инертных газов и поглощает энергию пламени путем разложения. Эффективность тушения диамидом угольной кислоты ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) бензиновых и дизельных пожаров оказалась выше, чем у KHSO_3 и поверхностно-активных веществ [4]. Время тушения составило 16 и 19 с для бензиновых и дизельных топлив соответственно. Это связано с реакцией разложения карбамида, поглощающего большое количество тепла, что приводит к снижению температуры пламени, а также с образованием инертных газов, таких как NH_3 и CO_2 , которые разбавляют окислитель.

В работе [5] проведено исследование влияния азеотропных смесей органических растворителей с водой на эффективность тушения модельного очага пожара класса В (гептана) водяным туманом. В качестве органических растворителей использовались: этанол (от 1 до 20 об. %), пропанол (от 1 до 20 об. %). Минимальное время тушения продемонстрировали водяной туман с концентрацией этанола 7 об. % (3,1 с) и водный состав с концентрацией пропанола 3 об. % (1,7 с). Исследование скорости испарения капель тонкораспыленного раствора показало, что скорость испарения капель увеличивается по мере увеличения доли летучего спирта в растворителе с 0 до 20 об. %. В результате математической обработки данных, полученных в ходе эксперимента, было установлено, что увеличение скорости испарения капель огнетушащей жидкости повышает эффективность пожаротушения.

В исследовании [13] оценивалось влияние водных дисперсий металлоорганического соединения (ферроцена). В каплях тонкораспыленной воды содержались частицы ферроцена микронного размера и ПАВ, такие как Triton X-100 (ТХ), Noigen TDS-80 (NT), Tween 60 (Т60) и Tween 80

(Т80). Ферроцен и его производные являются хорошими ингибиторами пламени и антипиренами. Эксперименты по тушению пожаров в бассейнах показали, что водные дисперсии ферроцена, содержащие ТХ и ферроцен микронного размера, $s = 16,9$ мкм, обладают более коротким временем тушения, чем обычный влажный химикат. Однако, когда ферроцен используется в качестве добавки к воде, он имеет два явных недостатка: нерастворимость в воде и снижение эффективности тушения при более высоких фракциях ферроцена.

В исследовании [3] упоминается об использовании угольной кислоты в составе ТРВ, которая образуется при растворении в воде диоксида углерода. Раствор, насыщенный CO_2 хранится в герметичной емкости под давлением 0,7 Мпа и температуре 20 °С. При распылении водяного тумана давление в системе снижается, что приводит к улетучиванию свободных групп CO_2 , а молекулы угольной кислоты доставляются в зону горения. Количество теплоты, поглощаемое при разрушении молекулярных связей H_2CO_3 при температуре 25 °С, составляет около 19,4 кДж/моль. Таким образом, применение растворенного в воде диоксида углерода улучшает охлаждающий эффект и снижает высоту пламени. Однако в исследовании [3] ликвидировать модельный очаг пожара класса В с помощью тонкораспыленной воды, насыщенной CO_2 , не удалось.

Таким образом, доминирующим способом тушения горючей жидкости тонкораспыленной водой, содержащей органические соединения, также является ингибирование.

Многокомпонентная добавка

С целью комбинации нескольких огнетушащих эффектов часто применяются многокомпонентные добавки. Так, при тушении модельного очага пожара с высоты 2 м с помощью многокомпонентных

добавок, содержащих: 5 % KBr + 0.5 об. % полисорбата-80, 10 % KBr + 0.5 об. % полисорбата-80, 5 % KBr + 0.5 об. % полисорбата-80 + раствор 6,4 л CO_2 , 10 % KBr + 0.5 об. % полисорбата-80 + раствор 6,4 л CO_2 , тушение горючей жидкости было достигнуто за 21, 16, 4 и 3 с соответственно [3].

В исследовании [14] оценивались эффективность тушения и механизм подавления пламени при возгорании этанола с помощью водяного тумана, содержащего инертный газ (N_2), комплексную добавку KQ (6 об. % фторсодержащего ПАВ и K_2CO_3), и растворы солей. Практическая значимость данного исследования заключалась в создании условий безопасного хранения и транспортировки топлива на спиртовой основе. Участие солей и двухатомного азота в составе тонкораспыленной воды заметно сокращало время снижения температуры пламенной зоны горения по сравнению с чистой тонкораспыленной водой.

Использование ТРВ без добавок снизило температуру пламени с 660 °С до 145 °С в среднем за 114 с, при добавлении N_2 – за 102 с, а при охлаждении пламени 5–10-процентными водными растворами солей (K_2CO_3 , $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$, RCl, KH_2PO_4) и N_2 время снижения температуры до 145 °С варьировалось в промежутке от 52 до 68 с в зависимости от вида применяемого солевого раствора. Эксперименты по тушению модельного очага пожара этанола объемом 100 мл продемонстрировали наилучшие результаты тушения при использовании следующих видов добавок в составе тонкораспыленной воды: N_2 + 5 об. % K_2CO_3 – 14,58 с, N_2 + 10 об. % K_2CO_3 – 12,31 с, N_2 + 10 об. % KQ – 10,05 с.

Также замечено, что применение добавки KQ способствовало уменьшению диаметра капель водяного тумана по сравнению с водными солевыми растворами. Это позволяло увеличить скорость образования ионов и приводило к уменьшению

турбулентности пламени, вызываемой поступлением водяного тумана.

Таким образом, действие многокомпонентных добавок при тушении пожара ЛВЖ и ГЖ показывает комбинированный механизм. Так, присутствие инертного газа способствует увеличению удельной теплоемкости смеси, благодаря чему снижаются концентрация паров горючей жидкости в зоне горения и интенсивность пламени, а химические добавки способны ингибировать цепную реакцию горения.

Наноструктуры

Механизм работы наноструктур в составе ТРВ заключается в увеличении эффективной теплопроводности базовой жидкости, улучшая при этом охлаждающие свойства жидкости. В качестве нанодобавок могут выступать такие наноразмерные материалы, как золото, окись меди, карбид кремния, диоксид титана и т. п. [15].

В работе [16] представлены результаты исследований по определению влияния многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT) на огнетушащие характеристики тонкораспыленной воды в условиях тушения пламени легковоспламеняющихся жидкостей. Увеличение концентрации MWCNT до 1 об. % в огнетушащих суспензиях повышает огнетушащую эффективность тонкораспыленной воды за счет изменения теплофизических и реологических характеристик суспензии, которые влияют на скорость отвода тепла из зоны горения. Дальнейшее увеличение концентрации наноструктур снижает теплофизические свойства, и, соответственно, эффективность огнетушащего вещества.

В исследовании [17] описаны результаты тушения модельных очагов пожара класса В с помощью ТРВ, в состав которой диспергированы астралены – гидрофобные углеродные наноструктуры

с высокой термической устойчивостью. Концентрация астраленов составляла от 0,05 до 1 об. %. Привнесение астраленов в состав дистиллированной воды оказало влияние на ее характеристики, такие как поверхностное натяжение, динамическая вязкость, удельная теплота парообразования и прочие. При тушении модельного очага пожара класса В, наилучший результат продемонстрировало огнетушащее вещество с содержанием астраленов 0,5 об. %. Ликвидация горения бензина марки АИ-95 объемом 100 мл была достигнута на 3 с, в то время как с помощью чистой тонкораспыленной воды потушить данный очаг не удалось.

Таким образом, основным способом тушения пожара горючей жидкости при добавлении углеродных наноструктур в состав ТРВ является охлаждение в результате интенсификации процессов теплоотвода в момент доставки тонкораспыленной суспензии в зону горения.

Выводы

Экспериментальные данные демонстрируют, что применение добавок в составе тонкораспыленной воды приводит к значительному повышению ее огнетушащей эффективности, которая выражается в сокращении времени тушения пожаров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Данную особенность целесообразно учитывать при проектировании систем водяного пожаротушения, в том числе модульных установок пожаротушения. Эффект, оказываемый добавками на ТРВ, значительно отличается в зависимости от вида и концентрации. Поэтому для корректной работы огнетушащего вещества требуются дополнительные исследования, учитывающие вид объекта защиты, установки пожаротушения и условий эксплуатации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гравит М. В., Бардин А. В. Углеводородный режим пожара // Комплексная безопасность и физическая защита. 2017. С. 46–57.
2. Liu Y. C., Jiang J. C., Huang A. C. Experimental study on extinguishing oil fire by water mist with polymer composite additives // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2023. Vol. 148. Pp. 4811–4822.
3. Lv D. Tan W., Zhu G., Liu L. Gasoline fire extinguishing by 0.7 MPa water mist with multicomponent additives driven by CO₂ // *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 129. Pp. 168–175.
4. Investigation of the fire-extinguishing performance of water mist with various additives on typical pool fires / J. Lu et al. // *Combustion Science and Technology*. 2019. P. 6.
5. Koshiba Y., Yamamoto Y., Ohtani H. Fire suppression efficiency of water mists containing organic solvents // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019. Vol. 62. P. 103973.
6. Корольченко Д. А., Пузач С. В. Оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. 2021. Т. 30, № 1. С. 54–63.
7. Копылов Н. П., Хасанов И. Р. Эффективность применения теплозащитных экранов для защиты от тепловых потоков при пожарах // *Безопасность труда в промышленности*. 2016. № 11. С. 38–43.
8. Павлов А. Опыт использования модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой для защиты объектов различного назначения // *Алгоритм безопасности*. 2008. № 5. С. 28–31.
9. Фомин В. И., Миначев Р. И. Пожаротушение карьерной техники тонкораспыленной водой // *Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности*. 2018. С. 346–349.
10. Кожин С. Тушение тонкораспыленной водой электрооборудования, находящегося под напряжением // *Безопасность. Достоверность. Информация*. 2008. № 79. С. 46–47.
11. Романовская Д. П., Носенко М. О. Применение установки пожаротушения тонкораспыленной водой на примере книгохранилища библиотеки ТОГУ // *Новые идеи нового века*. 2014. Т. 3. С. 373–378.
12. Experimental study on the effectiveness of water mist containing surfactant on extinguishing transformer oil fire / P. Liang et al. // *2021 IEEE 5th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. 2021. Pp. 3698–3703.
13. Koshiba Y., Okazaki S., Ohtani H. Experimental investigation of the fire extinguishing capability of ferrocene-containing water mist // *Fire Safety Journal*. 2016. Vol. 83. Pp. 90–98.
14. Evaluation of the suppression effect on the flame intensification of ethanol fire by N₂ twin-fluid water mist containing KQ compound additive / B. Pei et al. // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 149. Pp. 289–298.
15. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Ч. 1: Синтез и свойства наножидкостей // *Теплофизика и аэромеханика*. 2010. Т. 17, № 2. С. 173–188.
16. Toropov D., Ivanov A., Dali F., Perlin A., Lebedev A. Extinguishing characteristics of water suspensions with carbon nanostructures at extinguishing liquid hydrocarbons fires (oil and gas industry) // *Delta*. 2019. Vol. 13, No. 1. Pp. 22–31.
17. Пустовалов И. А. Экспериментальное исследование огнетушащей способности модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой, модифицированной астраленами // *Пожаровзрывобезопасность*. 2021. Т. 30, № 5. С. 84–97.

REFERENCES

1. Gravit M. V., Bardin A. V. Hydrocarbon fire regime. Comprehensive security and physical protection. 2017; 46–57. (rus).
2. Liu Y.C., Jiang J.C., Huang A.C. Experimental study on extinguishing oil fire by water mist with polymer composite additives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2023; 148: 4811–4822.
3. Lv D. Tan W., Zhu G., Liu L. Gasoline fire extinguishing by 0.7 MPa water mist with multicomponent additives driven by CO₂. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 129: 168–175.
4. Lu J., Liang P., Chen B., Wu C. & Zhou T. Investigation of the fire-extinguishing performance of water mist with various additives on typical pool fires. *Combustion Science and Technology*. 2019; 6.
5. Koshiba Y., Yamamoto Y., Ohtani H. Fire suppression efficiency of water mists containing organic solvents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019; 62: 103973.
6. Korolchenko D. A., Puzach S. V. The assessment of extinction mechanisms involving water mist applied to combustible liquids. *Pozharovzryvobezopasnost*. 2021; 30 (1): 54–63. (rus).
7. Kopylov N. P., Khasanov I. R. Efficiency of thermal shields application for protection against thermal flows in case of fires. *Occupation safety in industry*. 2016; 11: 38–43. (rus).

8. Pavlov A. Experience in using modular fire extinguishing systems with thinly sprayed water to protect objects for various purposes. The security algorithm. 2008; 5: 28–31. (rus).
9. Fomin V. I., Minachev R. I. Modular fire-fighting of quarry equipment. Historical experience, current problems and prospects of educational and scientific activities in the field of fire safety: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, October 18-19, 2018; Moscow: Academy of the State Fire service of EMERCOM of Russia, 2018; 346–349. (rus).
10. Kozhinov S. Extinguishing with fine spray water of electrical equipment under voltage. Safety. Credibility. Information. 2008; 79: 46–47. (rus).
11. Romanovskai D. P., Nosenko M. O. Application of fire suppression by the example of water mist book depository libraries in PNU. New Ideas of New Century: Proceedings of the International Scientific Conference FAD PNU. 2014; 3: 373–378. (rus).
12. Liang P., Zhou T., Chen B., Wu C., Liu Y. Experimental study on the effectiveness of water mist containing surfactant on extinguishing transformer oil fire. Energy Internet and Energy System Integration (EI2): Proceedings of the 5th Scientific Conference, Taiyuan, October, 22-24, 2021, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2021; 3698–3703.
13. Koshiba Y., Okazaki S., Ohtani H. Experimental investigation of the fire extinguishing capability of ferrocene-containing water mist. Fire Safety Journal. 2016; 83: 90–98.
14. Pei B., Zhu Z., Yang S., Wei S., Pan R., Yu M., Chen L. Evaluation of the suppression effect on the flame intensification of ethanol fire by N₂ twin-fluid water mist containing KQ compound additive. Process Safety and Environmental Protection. 2021; 149: 289–298.
15. Terekhov V. I., Kalinina S. V., Lemanov V. V. Mechanism of heat transfer in nanofluids: current state of the problem (review). Part 1: Synthesis and properties of nanofluids. Thermophysics and Aeromechanics. 2010; 17 (1): 173–188. (rus).
16. Toropov D. Ivanov A, Dali F., Perlin A., Lebedev A. Extinguishing characteristics of water suspensions with carbon nanostructures at extinguishing liquid hydrocarbons fires (oil and gas industry). Delta. 2019; 13 (1): 22–31.
17. Pustovalov I. A. An experimental study of the fire extinguishing ability of modular fire extinguishing installations if astralene-modified water mist is used. Pozharovzryvobezopasnost. 2021; 30 (5): 84–97.

Информация об авторах

Иванов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, СПб УГПС МЧС России, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149; РИНЦ ID: 792929; e-mail: spark002@mail.ru

Пустовалов Илья Андреевич, преподаватель кафедры механики инженерной графики, Академия ГПС МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 1122887; ORCID: 0000-0002-8059-6988; e-mail: ilya_pustovalov_2020@bk.ru

Information about the authors

Alexey I. Ivanov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Productions, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moskovskiy prospect, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; ID RISC: 792929; e-mail: spark002@mail.ru

Ilya A. Pustovalov, Lecturer of the Department of Mechanics of Engineering Graphics, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 1122887; ORCID: 0000-0002-8059-6988; e-mail: ilya_pustovalov_2020@bk.ru

УДК 614.849

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ НОЧНЫХ КЛУБОВ

Парфененко Александр Павлович¹, Брюхов Евгений Николаевич²,
Кузнецов Антон Александрович²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением размеров эвакуационных путей и выходов в ночных развлекательных заведениях. Выявлено, что в нормативной и научной литературе отсутствуют какие-либо подходы к определению закономерностей движения потоков людей в зданиях подобного назначения. Указанные проблемы мешают адекватной оценке проектируемых и существующих планировочных решений ночных клубов с точки зрения обеспечения безопасной эвакуации людей. Как следствие, возникает техническая проблема осуществления расчетов пожарного риска в зданиях подобного типа. Проведен анализ пожаров, который показал, что основной причиной гибели людей при возникновении пожаров в ночных клубах является несвоевременная эвакуация из-за образования скоплений перед выходами из здания. Для выявления закономерностей движения потоков людей в ночных клубах были проведены наблюдения в действующих заведениях. Статистический анализ полученных данных позволил установить зависимость движения людей по лестницам вверх и вниз, горизонтальному пути и через дверные проемы. Результаты моделирования эвакуации людей показали существенные различия между используемыми данными, которые указаны в методике по оценке величины индивидуального пожарного риска, и данными, полученными в результате практических исследований.

Ключевые слова: пожарный риск, моделирование эвакуации, людской поток, безопасность, пожар, ночной клуб

PROBLEMS OF MODELING THE EVACUATION OF PEOPLE FROM NIGHTCLUBS

Alexander P. Parfenenko¹, Evgeniy N. Bryukhov², Anton A. Kuznetsov²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

The article discusses issues related to determining the size of escape routes and exits in night entertainment venues. It is revealed that in the normative and scientific literature there are no approaches to determining the patterns of movement of human flows in

buildings of this purpose. These problems prevent an adequate assessment of the projected and existing planning solutions of nightclubs, from the point of view of ensuring the safe evacuation of people. As a result, there is a technical problem of calculating fire risk in buildings of this type. An analysis of fires was carried out, which showed that the main cause of death in the event of fires in nightclubs is untimely evacuation due to the formation of clusters before leaving the building. In order to identify patterns of movement of people's flows in nightclubs, observations were carried out in existing establishments. Statistical analysis of the data obtained made it possible to establish the dependence of people's movement up and down stairs, horizontal paths and through doorways. The results of the evacuation simulation showed significant differences between the data used, which are indicated in the methodology for assessing the magnitude of individual fire risk, and the data obtained as a result of practical research.

Keywords: fire risk, evacuation modeling, human flow, safety, fire, nightclub

Введение

Своевременная и беспрепятственная эвакуация людей из здания или сооружения любого назначения является главным параметром безопасного нахождения в них [1]. При оценке параметров эвакуации из зданий и сооружений определенного назначения учитывают различные модели движения потоков людей и условия развития опасных факторов пожара [2]. При проектировании и эксплуатации зданий ночных клубов первостепенное значение имеет соблюдение требований по организации беспрепятственного движения людских потоков по эвакуационным путям и через эвакуационные выходы. При этом планировочные решения коммуникационных путей определяют функциональные процессы в здании, одним из которых является процесс движения людей, а их параметры (скорость, плотность и интенсивность) определяют геометрические размеры путей эвакуации при возникновении пожара. В настоящее время в действующих нормативных документах [3, 4] размеры эвакуационных путей определены по параметрам здоровых людей без физических и психологических ограничений. При этом существующие требования не учитывают психофизиологические особенности поведения и движения людских

потоков в ночных клубах. В научной и нормативной литературе научно-обоснованные данные отсутствуют [5–12], что не позволяет достоверно определить оптимальные размеры эвакуационных путей и выходов.

Результаты и их обсуждение

Несоблюдение требований пожарной безопасности в заведениях, предназначенных для организации питания и досуга людей в ночное время, только за последние 20 лет стало причиной гибели более 1000 человек. В табл. 1 приведена статистика пожаров в ночных клубах как в России, так и за рубежом с числом погибших и пострадавших людей.

Большое число погибших и пострадавших обуславливается совокупностью факторов, самым опасным из которых является небезопасная эвакуация посетителей. Гости ночных клубов не успевают выйти из помещений до наступления критических значений опасных факторов пожара. Далее, образуется давка в течение продолжительного времени из-за недостаточной пропускной способности эвакуационных выходов, как следствие, отравление продуктами горения.

Таблица 1.
Статистика пожаров в ночных клубах
Table 1.
Statistics of fires in nightclubs

№	Клуб club	Дата date	Местонахождение location	Погибших, чел. dead, human	Пострадавших, чел. injured, human
1	<u>Colectiv</u>	30.10.2015	<u>Бухарест, Румыния</u> Bucharest, Romania	64	146
2	<u>Kiss</u>	27.01.2013	<u>Санта-Мария, Бразилия</u> Santa Maria, Brazil	242	630
3	<u>Взрывы на дискотеке</u> Explosions at a disco	19.02.2012	<u>Сигету-Мармацией, Румыния</u> Sighetu Marmatiei, Romania	1	20
4	<u>Хромая лошадь</u> lame horse	05.12.2009	<u>Пермь, Россия</u> Perm, Russia	156	78
5	<u>Сантика</u> Santika	01.01.2009	<u>Бангкок, Таиланд</u> Bangkok, Thailand	66	222
6	<u>Ночной клуб в городе Шэньчжэнь</u> Night club in Shenzhen city	21.10.2008	<u>Шэньчжэнь, КНР</u> Shenzhen, China	43	88
7	<u>911</u>	25.03.2007	<u>Москва, Россия</u> Moscow, Russia	10	8
8	<u>Республика Кроманьон</u> Republic of Cro-Magnon	30.12.2004	<u>Буэнос-Айрес, Аргентина</u> Buenos Aires, Argentina	194	1 432
9	<u>Стейшн</u> Station	20.02.2003	<u>Уэст-Уорик, США</u> West Warwick, USA	100	230
10	<u>Санесão Mineiro</u>	24.11.2001	<u>Белу-Оризонти, Бразилия</u> Belo Horizonte, Brazil	7	197

Для качественной оценки безопасной эвакуации необходимо определить функциональное назначение объекта защиты. Здесь мы сталкиваемся с проблемой неоднозначности определения ноч-

ных клубов по функционалу, в одном случае – это Ф2.1, в некоторых случаях определяют как Ф2.2.

Характерной особенностью современных ночных клубов является ненормированное количество посетителей. Если

зона отдыха может подразумевать определенное число посетителей, то танцевальная площадка предполагает хаотичное распределение большого количества людей (рис. 1).

При этом площадь, занимаемая каждым человеком, предельно мала, и возникает риск образования ситуации

с превышением числа посетителей, что не соответствует нормативному расчетному показателю. Отсюда следует неспособность существующих объемно-планировочных решений (а именно эвакуационные пути и выходы) соответствовать критериям безопасной эвакуации.



Рис. 1. Танцпол ночного клуба Москвы

Fig. 1. Dance floor of a Moscow night club

Нормативный акт [3], определяющий подход в этом вопросе, призывает определять вместимость клубов по количеству посадочных мест. Наполняемость ночных клубов зачастую превышает все допустимые нормы и грубо не соответствует количеству посадочных мест, указанных в плане, основная масса в первую очередь находится на танцполе. В таком случае применение требований [3] при проектировании неправомерно.

С целью определения параметров путей эвакуации и эвакуационных выходов производятся расчеты исходя из допустимого количества посетителей, при этом учитывается соотношение площади танцевальной площадки, предусмотренной на одного человека (1,35 м² согласно п. 7.4.1 [4]), и реальной площади зала.

На рис. 1 мы с вами можем видеть до 9 человек на указанной площади.

Кроме нарушения допустимого количества посетителей таких заведений, также не учитывается и характер их психофизиологического состояния (алкогольное опьянение различной степени), что несомненно сказывается на скорости и характере эвакуации.

Для качественной и объективной оценки параметров движения людей и установления показателя нормативной площади на одного человека нами был проведен эксперимент в виде натурного наблюдения в действующем ночном клубе.

Для определения максимального количества людей, одновременно находя-

щихся в ночном клубе, нами была произведена видеосъемка пропускного режима на входной группе в течение времени ра-

боты клуба (с 23:00 до 04:00). В табл. 2 указаны результаты эксперимента по установлению максимального количества гостей в определенный временной интервал t .

Таблица 2.

Посещаемость в различные интервалы времени

Table 2.

Number of visitors depending on time interval

№ п/п	Временной интервал Time interval	Количество посетителей в определенный временной интервал, чел. Number of visitors in a certain time interval, human
1	23:00 – 00:00	368
2	00:00 – 01:00	472
3	01:00 – 02:00	627
4	02:00 – 03:00	593
5	03:00 – 04:00	593

Для определения расчетной площади на одного человека, находящегося в ночном клубе, необходимо площадь основного зала S_3 соотнести с максимальным количеством человек N_{max} в момент времени t . На основе данных наших натуральных наблюдений расчетная площадь на одного человека составила $0,55 \text{ м}^2/\text{чел.}$

С целью определения взаимосвязи скорости и плотности потока людей при движении по лестницам вверх и вниз также производилась непрерывная видеозапись в течение времени работы ночного клуба. Анализ видеозаписей (рис. 2) позволил установить скорость свободного движения потоков людей, но при этом требуются дополнительные исследования.



Рис. 2. Натурные наблюдения в ночном клубе

Fig. 2. Field observations in a nightclub

Распределение скоростей свободного движения потоков людей по лестницам вверх и вниз представлено в виде гистограмм на рис. 3 и 4.

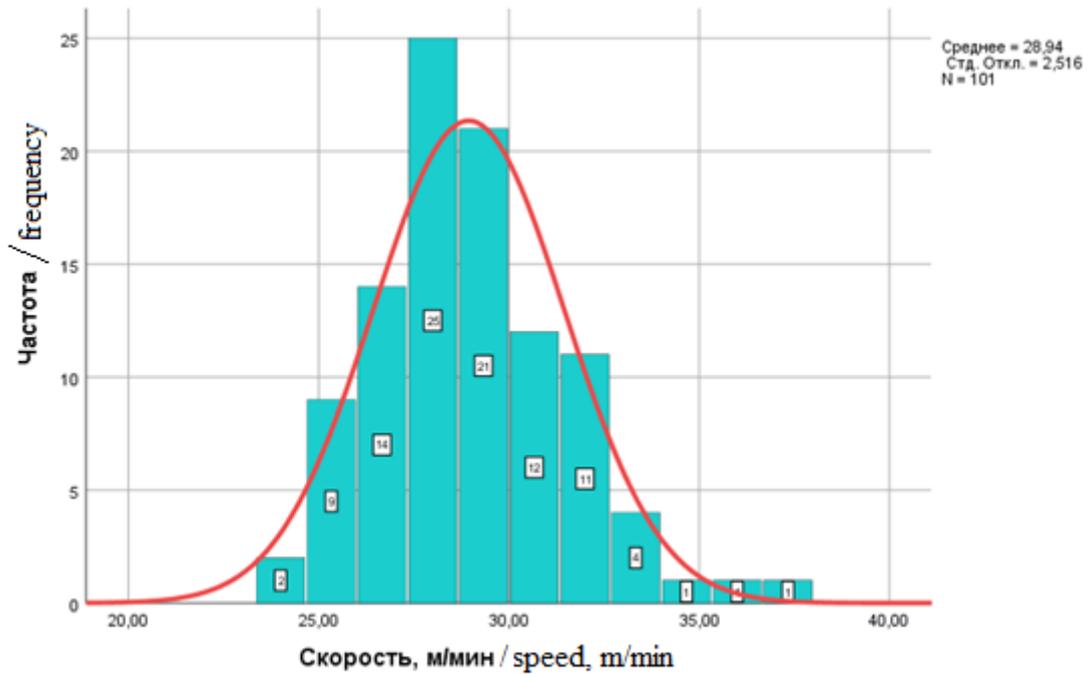


Рис. 3. Распределение скорости свободного движения потоков людей по лестнице вверх
Fig. 3. Histogram of the distribution of the speed of free movement of human flows up the stairs

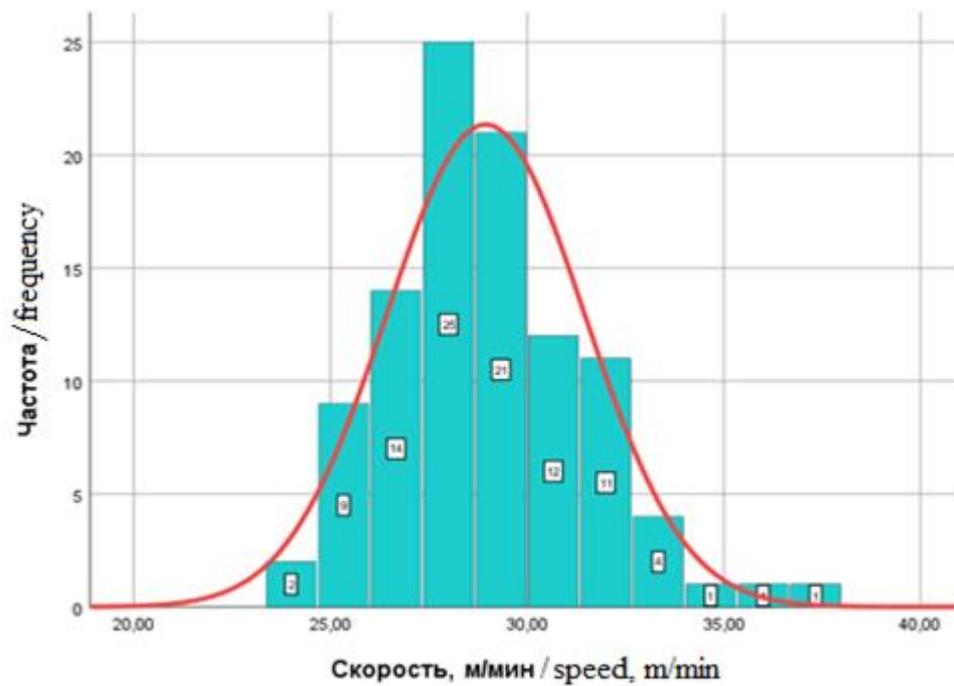


Рис. 4. Распределение скорости свободного движения потоков людей по лестнице вниз
Fig. 4. Histogram of free movement speed distribution streams of people down the stairs

Исследуя полученные скорости свободного движения V_0 с учетом психофизиологического состояния посетителей в ночном клубе, были установлены зависимости скорости и интенсивности движения

от плотности людского потока для лестниц вверх и вниз с использованием ранее установленных коэффициентов a и D_0 [13, 14] (рис. 5–8).

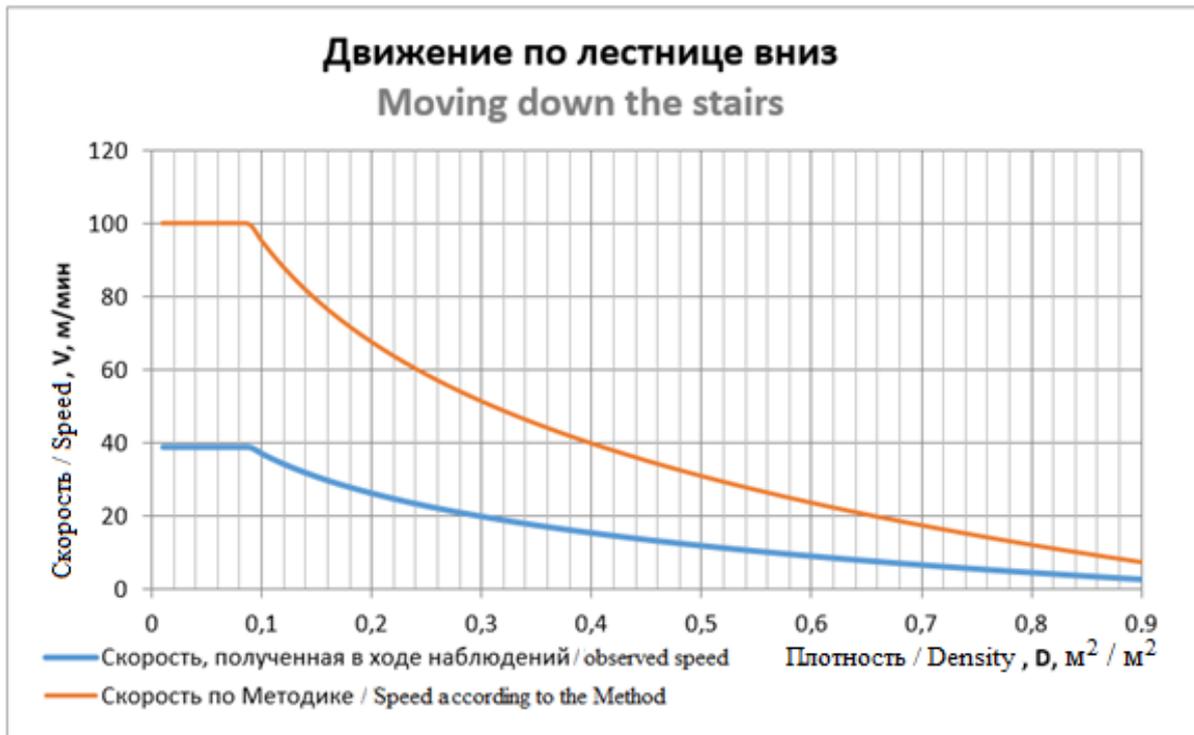


Рис. 5. Зависимость скорости движения по лестнице вниз от плотности людского потока
Fig. 5. Dependence of the speed of movement down the stairs on the density of human flow

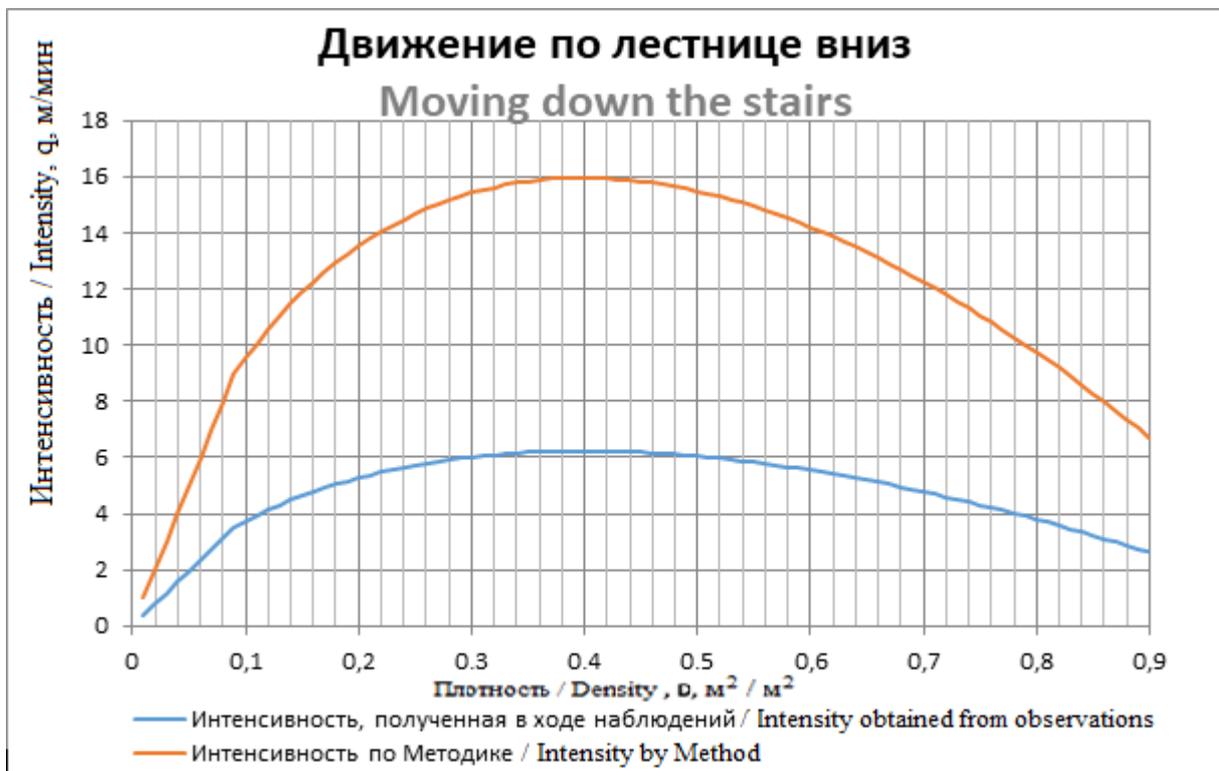


Рис. 6. Зависимость интенсивности движения по лестнице вниз от плотности людского потока
Fig. 6. Dependence of the intensity of traffic down the stairs on the density of human flow

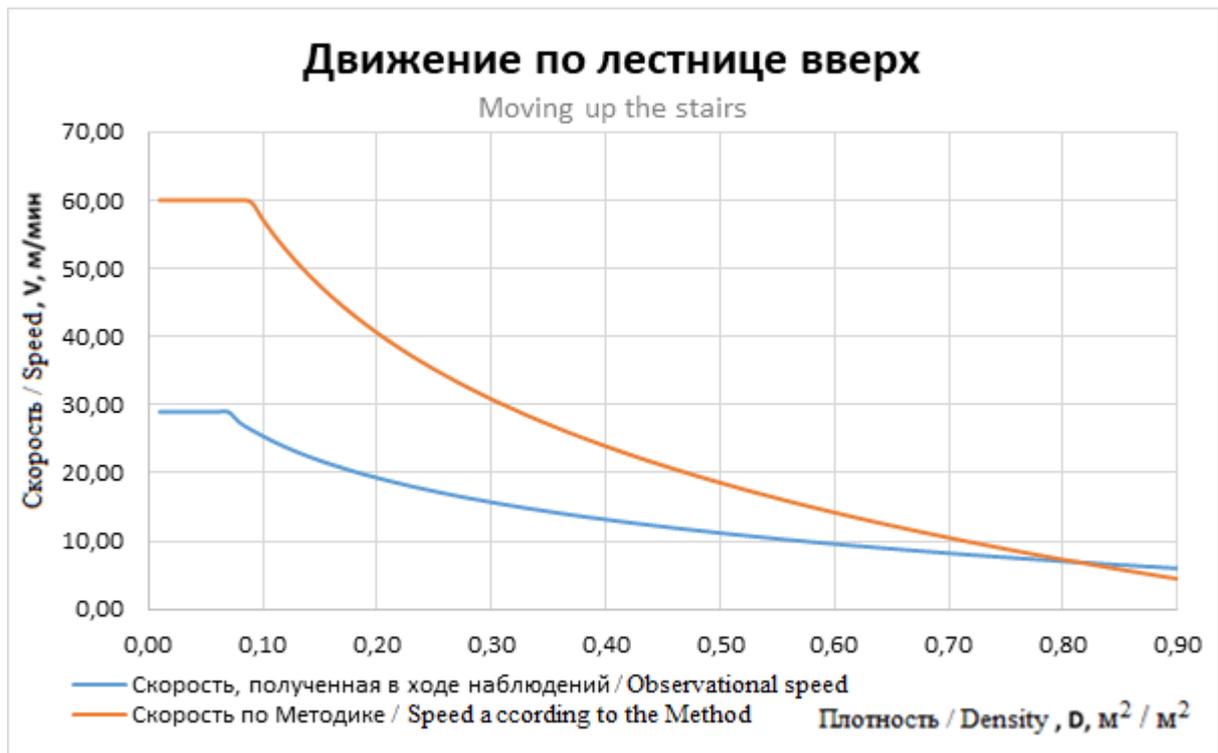


Рис. 7. Зависимость скорости движения по лестнице вверх от плотности людского потока
Fig. 7. Dependence of the speed of movement up the stairs on the density of human flow

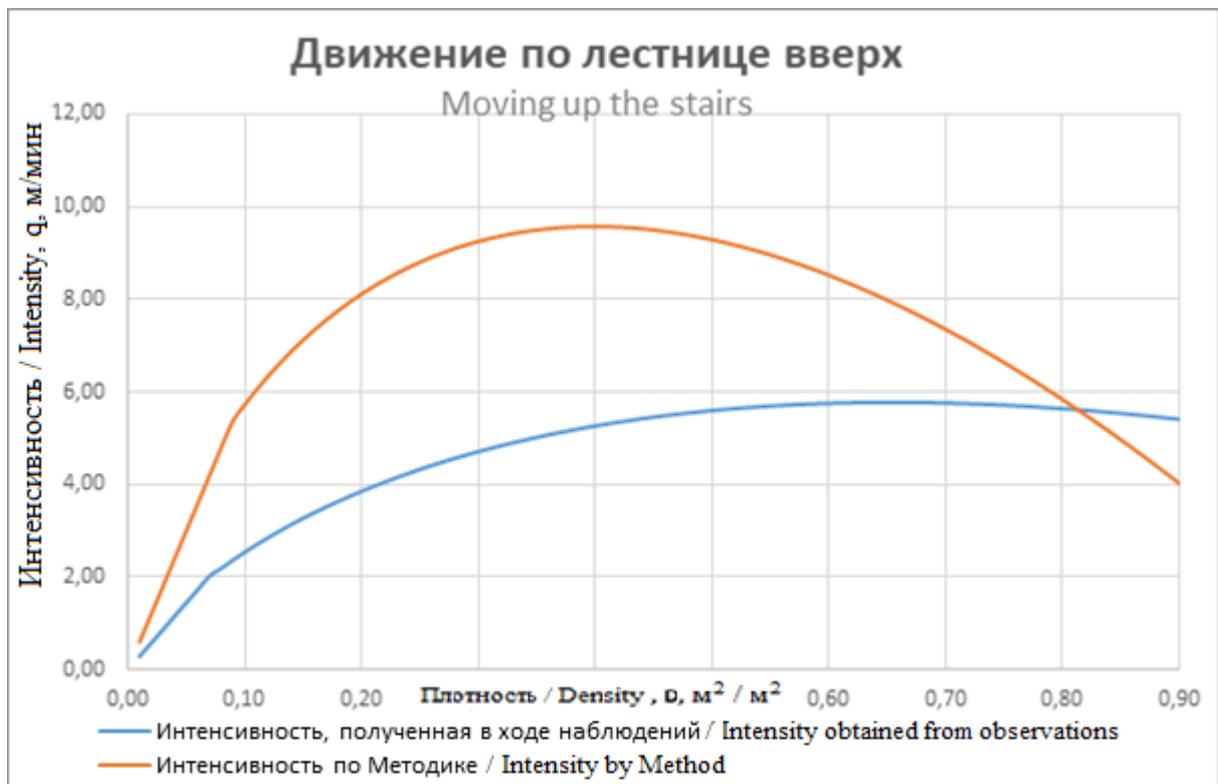


Рис. 8. Зависимость интенсивности движения по лестнице вверх от плотности людского потока
Fig. 8. Dependence of traffic intensity up the stairs on the density of human flow

На основании установленных ранее закономерностей движения людских потоков по различным участкам пути (В. В. Холщевников) для определения взаимосвязи между движением потоков людей по горизонтальному участку пути и через дверной проем, приняли, что скорость свободного движения вниз по лестнице соответствует

скорости свободного движения по горизонтальному участку пути и через проемы [13]. В результате были построены предварительные графики зависимости скорости и интенсивности движения от плотности людского потока, представленные на рис. 9–11.

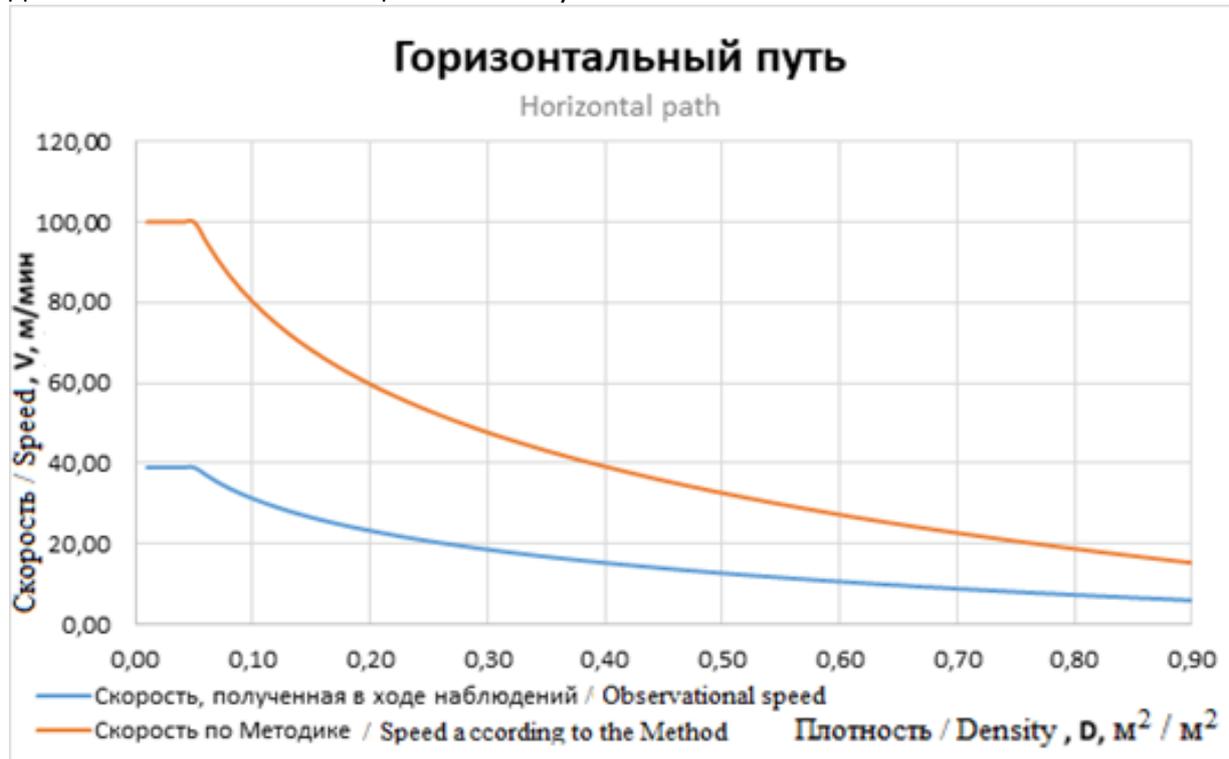


Рис. 9. Зависимость скорости движения по горизонтальному пути от плотности людского потока

Fig. 9. Dependence of the speed of movement along a horizontal path on the density of human flow

Натурные наблюдения и анализ этих данных позволили выявить существенные отличия от требований нормативных документов [2]. В табл. 3 приведено сравнение скорости свободного движения людей, выявленной в ходе проведения эксперимента, с данными указанными в Методике.

Ниже, на рис. 12, представлена индивидуально-поточная модель движе-

ния людей, созданная при помощи моделирования в программном продукте Pathfinder. Она отражает сравнительную оценку влияния параметров движения людей на расчетное время эвакуации. Модели построены с учетом объемно-планировочных решений ночного клуба, в котором проводились натурные наблюдения, при этом были рассмотрены сценарии движения людских потоков по лестницам вверх и вниз.

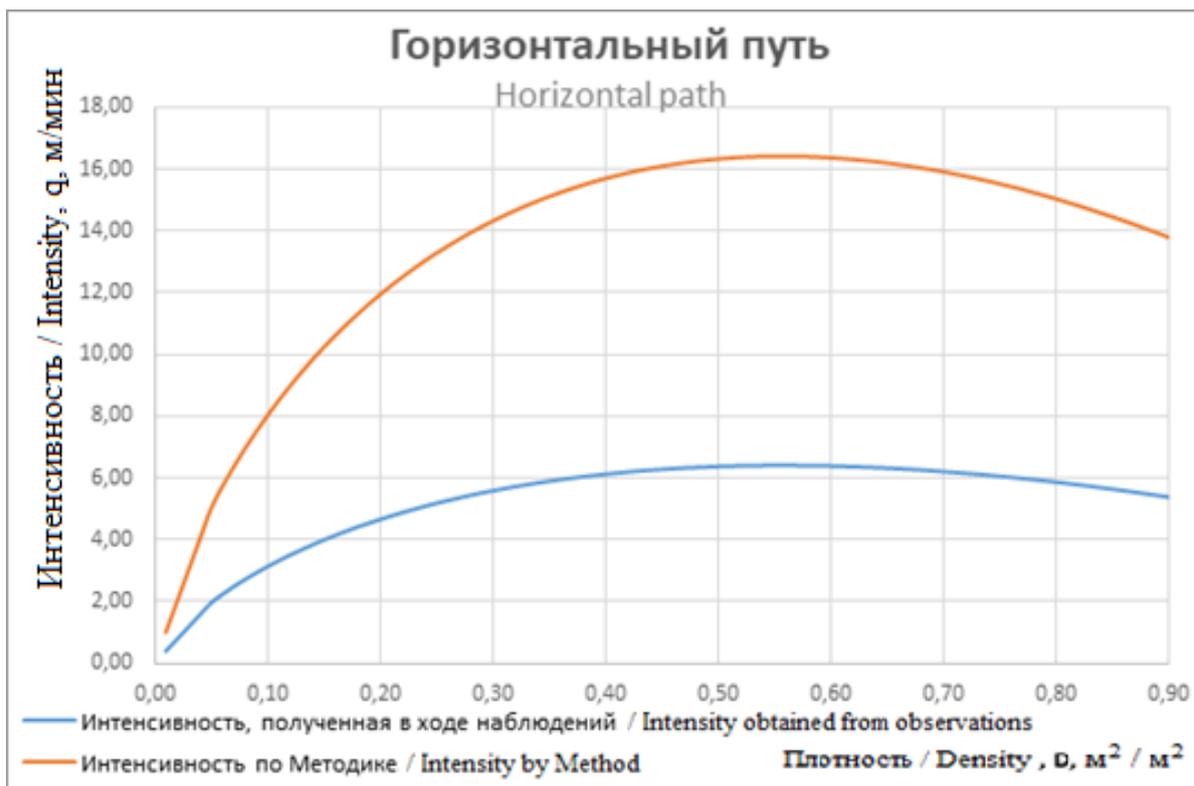


Рис. 10. Зависимость интенсивности движения по горизонтальному пути от плотности людского потока

Fig. 10. Dependence of traffic intensity along a horizontal path on the density of human flow

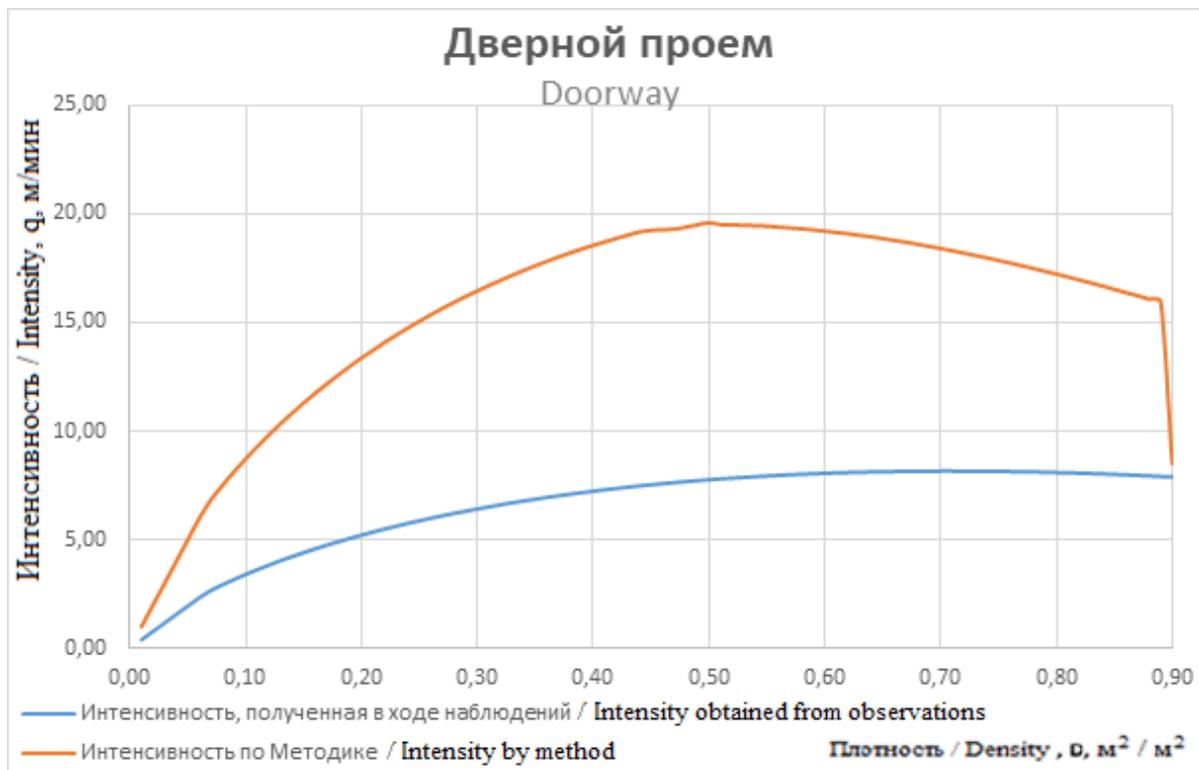


Рис. 11. Зависимость интенсивности движения через выходы от плотности людского потока

Fig. 11. Dependence of traffic intensity through exits on the density of human flow

Таблица 3.

Сравнение скорости свободного движения людей

Table 3.

Comparison of the speed of free movement of people

Вид пути Type of path	Скорость свободного движения, полученная в ходе натуральных наблюдений, м/мин Speed of free movement obtained during field observations, m/min	Расчетная скорость свободного движения в Методике, м/мин Estimated speed of free movement in the Methodology, m/min	Разница Difference
Лестница вниз Stairs down	39,27	100	в 2,5 раза 2.5 times
Лестница вверх Stairs up	28,94	60	в 2 раза 2 times

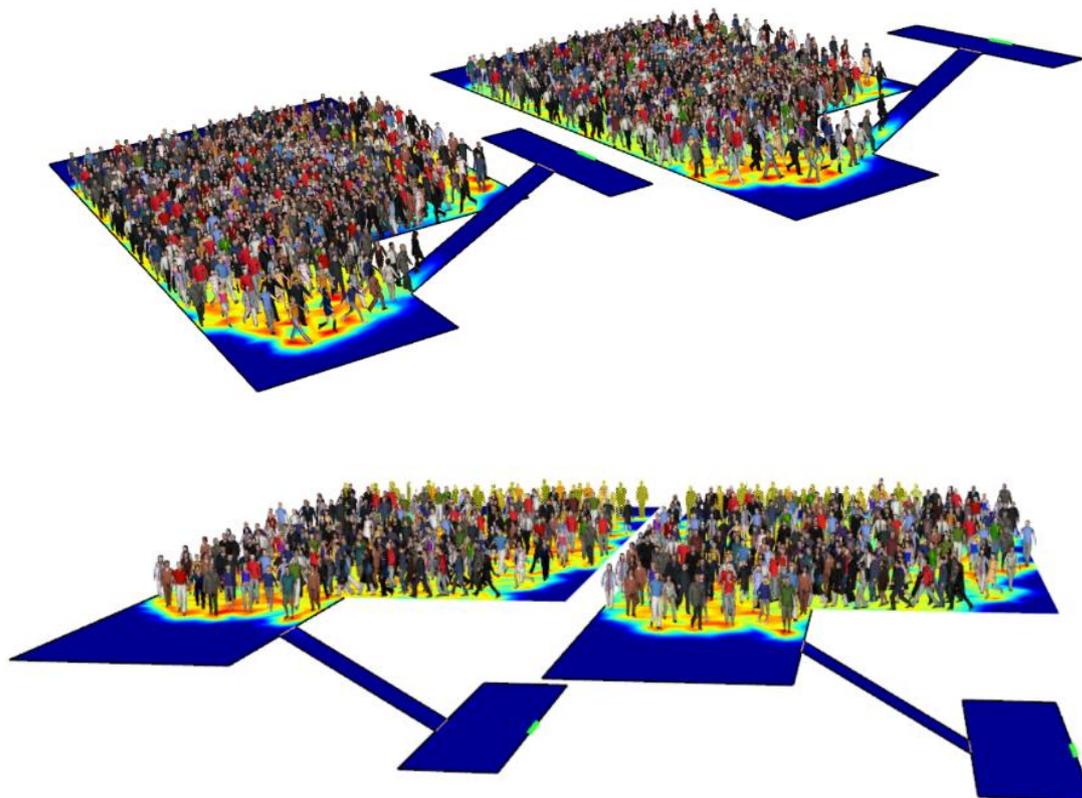


Рис. 12. Компьютерная модель в программном продукте Pathfinder

Fig. 12. Computer model in the Pathfinder software product

Результаты моделирования сведены в табл. 4.

Таблица 4.
Результаты моделирования
Table 4.
Simulation results

Расчетная ситуация Design situation	Скорость свободного движения, V_0 , м/мин Free movement speed, V_0 , m/min	Расчетное количество человек Estimated number of people	Расчетное время эвакуации, с Estimated evacuation time, s
Движение по лестнице вверх / Moving up the stairs			
Нормативная ситуация Regulatory situation	60	СП1.13130.2020 in normative literature $350 / 1,35 = 260$ чел / people	176,7
Фактическая ситуация Actual situation	30	Результат эксперимента Experiment result $350 / 0,55 = 637$ чел / people	615,1
Движение по лестнице вниз / Moving down the stairs			
Нормативная ситуация Regulatory situation	100	СП1.13130.2020 in normative literature $350 / 1,35 = 260$ чел / people	133,4
Фактическая ситуация Actual situation	40	Результат эксперимента Experiment result $350 / 0,55 = 637$ чел / people	515,5

Выводы

Подводя итоги, можно резюмировать, что существует колоссальная разница между реальной ситуацией и данными, указанными в нормативных актах в области пожарной безопасности.

В случае эвакуации по лестнице вверх, время составило 438,4 с, что на 71 % больше расчетных данных, представленных в Методике. При эвакуации по лестнице вниз расчетное время составило 382,1 с, что на 74 % превышает расчетные данные, используемые в действующих нормативных актах.

Результаты исследования говорят о необходимости дальнейших изысканий в данной области. Комплексный подход

к изучению движения потоков людей в ночных клубах при различных сценариях развития событий, к изучению особенностей поведения при движении в различных психофизиологических состояниях позволит установить достоверные данные для проведения соответствующих расчетов.

Образованные на данном этапе результаты могут быть теоретической основой для моделирования эвакуации людей из ночных клубов, а также стать отправной точкой для актуализации действующих нормативных актов в области пожарной безопасности, касающихся нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях соответствующего назначения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
2. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : с учетом изменений, утвержденных приказом № 632 МЧС РФ от 02.12.2015.
3. СП 118.13330.2022. Общественные здания и сооружения.
4. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
5. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дисс. ... д-ра техн. наук. М., 1983.
6. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1951.
7. Предтеченский В. М., Тарасова Т. А., Калинин В. А. Методика натурных наблюдений за процессами движения людей при помощи кино-фотосъемки // XXI науч.-техн. конф. М., 1962.
8. Исследование движения людей в условиях, близких к вынужденным : отчет / В. М. Предтеченский и др. ; Высшая школа МООН РСФСР. М., 1964.
9. Калинин В. А. Проектирование залов кинотеатров с учетом движения людских потоков : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1966. 186 с.
10. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации : монография. М., 2016.
11. СНиП 2.08–02–89*. Общественные здания.
12. Проектирование клубов: пособие к СНиП 2.08–02–89*.
13. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24–5. Научные открытия. М., 2006.
14. Холщевников В. В. Гносеология людских потоков : монография. М., 2019. 592 с.

REFERENCES

1. Federal Law "Technical Regulations on Fire Safety Requirements" dated July 22, 2008 No. 123-FZ. (rus).
2. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated June 30, 2009 No. 382 "On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard", taking into account the changes approved by Order No. 632 of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation dated 02.12.2015. (rus).
3. SP 118.13330.2022 Public buildings and structures. (rus).
4. SP 1.13130.2020 Fire protection systems. Evacuation routes and exits. (rus).
5. Kholshchevnikov V.V. Human flows in buildings, structures and on the territory of their complexes. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. MISI, 1983. (rus).
6. Milinsky A.I. Study of the process of evacuation of mass buildings: Dis... Cand. tech. Sci. Moscow, 1951. (rus).
7. Predtechensky V.M., Tarasova T.A., Kalintsev V.A. Methods of field observations of the processes of people's movement using film and photography. XXI scientific-technical. conf. MISS, 1962. (rus).
8. Predtechensky V.M., Tarasova G.A. and others. Study of the movement of people in conditions close to forced ones: Report. Higher School of the Ministry of Education and Science of the RSFSR. Moscow, 1964. (rus).
9. Kalintsev, V.A. Design of cinema halls taking into account the movement of human flows: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.23.10. Moscow, 1966; 186. (rus).
10. Samoshin D. A. Composition of human flows and parameters of their movement during evacuation: Monograph. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. (rus).
11. SNiP 2.08–02–89*. Public buildings. (rus).
12. Manual for SNiP 2.08–02–89* "Design of clubs" (rus).
13. Kholshchevnikov, V.V. Patterns of connection between the parameters of human flows: Diploma No. 24–5. Scientific discoveries. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, 2006. (rus).
14. Kholshchevnikov V.V.. Epistemology of human flows: monograph. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2019; 592.

Информация об авторах

Парфёненко Александр Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

Брюхов Евгений Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 767262; e-mail: bryuxov@mail.ru

Кузнецов Антон Александрович, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры пожарно-прикладной подготовки, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 850940; e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru

Information about the authors

Aleksander P. Parfenenko, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 800496; Scopus Author ID: 57214086032; ResearcherID: AAP-2933-2020; ORCID: 0000-0001-7490-8773; e-mail: parf01@inbox.ru

Evgeniy N. Bryukhov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 767262; e-mail: bryuxov@mail.ru

Anton A. Kuznetsov, Candidate of Psychological Sciences, Senior lecturer of the Department of Fire-applied Training, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 850940; e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru

УДК 614.841.4

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С АДАПТИВНЫМ АЛГОРИТМОМ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Корнилов Алексей Александрович, Бородин Александр Александрович

АО «Эридан», г. Березовский, Свердловская область, Россия

АННОТАЦИЯ

При разработке проектов автоматической противопожарной защиты проектировщик определяет преобладающий фактор пожара для обеспечения своевременности его обнаружения, не всегда имея достаточно информации для принятия решения. В работе была предпринята попытка определить ориентировочные размеры обнаруживаемого очага (на примере этилового спирта) за время, которое может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта. Для более достоверного численного моделирования проведен литературный обзор и натурные эксперименты по определению удельной массовой скорости выгорания этилового спирта для очагов различного диаметра. Полученные данные подтвердили зависимость величины удельной массовой скорости выгорания от диаметра очага, для небольших очагов она оказалась существенно ниже справочных значений. Кроме того, результаты измерения продемонстрировали зависимость удельной массовой скорости выгорания от времени стабилизации горения. Экспериментальные данные легли в основу расчетной оценки времени срабатывания дифференциального теплового пожарного извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры. Расчет производился для помещений высотой 3,5 м и 6 м. Данные о соотношении мощности очага и времени его обнаружения в помещениях различной высоты могут быть использованы при проектировании для поиска оптимального решения для системы автоматической противопожарной защиты.

Ключевые слова: пожарная сигнализация, тепловой пожарный извещатель, адаптивный алгоритм анализа температуры, удельная массовая скорость выгорания, моделирование пожара

ESTIMATION OF THE RESPONSE TIME OF THE MAXIMUM DIFFERENTIAL THERMAL FIRE DETECTOR WITH AN ADAPTIVE ALGORITHM FOR TEMPERATURE ANALYSIS AT THE INITIAL STAGE OF A FIRE OF FLAMMABLE LIQUIDS

Aleksej A. Kornilov, Aleksandr A. Borodin

JSC «E`ridan», Berezovskij, Sverdlovsk region, Russian Federation

ABSTRACT

When developing automatic fire protection projects, the designer determines the predominant fire factor to ensure timely detection, without always having enough information to make a decision. An attempt was made to determine the approximate size of

the detected hearth (using the example of ethyl alcohol) in the time that may be acceptable to achieve the objectives of fire protection of the object. For a more reliable numerical simulation, a literature review and field experiments were conducted to determine the specific mass burnout rate of ethyl alcohol for foci of various diameters. The data obtained confirmed the dependence of the specific mass rate of burnout on the diameter of the hearth, for small foci it turned out to be significantly lower than the reference values. In addition, the measurement results demonstrated the dependence of the specific mass rate of burnout on the time of gorenje stabilization. The data obtained formed the basis for a calculated estimate of the response time of a differential thermal fire detector with an adaptive temperature analysis algorithm. The calculation was performed for rooms with a height of 3.5 m and 6 m. Data on the ratio of the power of the hearth and the time of its detection in rooms of different heights can be used in the design to find the optimal solution for an automatic fire protection system.

Keywords: fire alarm system, thermal fire detector, adaptive analysis algorithm, specific mass burnout rate, fire simulation

Для промышленных объектов требование о применении взрывозащищенного электрооборудования зачастую обусловлено обращением легковоспламеняющихся или горючих жидкостей. При разработке проектов автоматической противопожарной защиты, руководствуясь требованиями [1, 2], проектировщик определяет преобладающий фактор пожара для обеспечения своевременности его обнаружения. При этом в случае воспламенения горючих жидкостей могут присутствовать одновременно несколько факторов, которые обеспечат достаточно быстрое срабатывание разных типов извещателей, тогда критериями выбора могут быть одновременно своевременность обнаружения и помехоустойчивость. Нередко выбор делается в пользу тепловых пожарных извещателей. Для них характерны простота конструкции, монтажа и пусконаладочных работ, низкая стоимость, устойчивость к помехам и агрессивному воздействию, обусловленному технологическим процессом. Однако по опыту анализа динамики опасных факторов пожара процессы нагрева среды помещения и распространения нагретых продуктов горения весьма инерционны. И там, где срабатывание теп-

лового извещателя может занять продолжительное время, извещатель пламени, например, справился бы в течение нескольких секунд. Поэтому для того, чтобы помочь проектировщику сделать выбор способа обнаружения пожара основанным на более конкретных параметрах, была предпринята попытка определить ориентировочные размеры обнаруживаемого очага (на примере этилового спирта) за время, которое может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта при использовании конкретного типа изделия, а именно: максимально-дифференциального теплового извещателя с адаптивным алгоритмом анализа [3, 4], в том числе с учетом его тепловой инерционности. Ранее авторами уже рассматривался вопрос оценки времени обнаружения возгорания твердых горючих материалов (на примере древесины) с учетом равномерного увеличения линейной скорости распространения пламени на начальной стадии пожара [5].

Одним из основных параметров, влияющих на мощность очага, является удельная массовая скорость выгорания ($\Psi_{уд}$). При моделировании горения очага с небольшим диаметром можно восполь-

зваться справочными данными о величине $\Psi_{уд.}$, однако результаты исследований процесса горения горючих жидкостей [6–12] говорят о том, что на данный параметр влияет несколько факторов, одним из которых является переход из ламинарного в турбулентный режим горения при

увеличении диаметра очага. Данную особенность можно наглядно продемонстрировать на примере скорости выгорания тракторного керосина в зависимости от диаметра очага согласно данным приведенным на рис.1 [6].

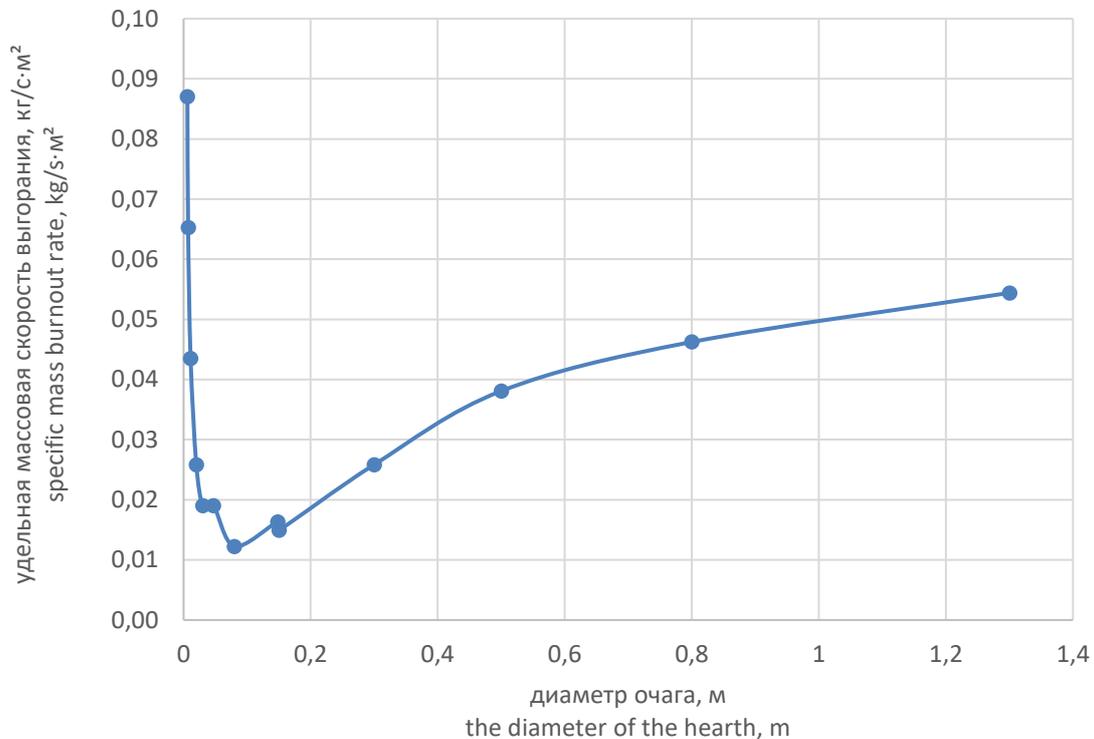


Рис. 1. Удельная массовая скорость выгорания тракторного керосина в зависимости от диаметра очага согласно данным [6]

Fig. 1. Specific mass burnout rate of tractor kerosene depending on the diameter of the burner according to [6]

В тестовом очаге ТП-6 площадью $0,19 \text{ м}^2$ (эффективный диаметр около $0,5 \text{ м}$) согласно [13] используется этиловый спирт, данные об удельной массовой скорости выгорания которого в разных источниках варьируются в весьма широком диапазоне. Например, согласно данным [14] часто используемым при проведении оценки динамики опасных факторов пожара в рамках расчетов пожарного риска, эта величина составляет $0,031 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. В работах [15, 16] приводится величина $0,033 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. Согласно данным справочника [17] она составляет $0,037 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. В [10, 19 – 23] указан диапазон значений для резервуаров диаметром более $1,3 \text{ м}$,

приблизительно соответствующий $0,027 \div 0,033 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. Автор [18] приводит значение, равное $0,04 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. В работе [24] при моделировании очага с этанолом площадью $0,14 \text{ м}^2$ удельная массовая скорость выгорания изменялась линейно до максимального значения $0,021 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$. По мнению автора [25], данные об установившейся скорости выгорания различных горючих жидкостей, представленные в [14], относятся к очагам с эквивалентным диаметром $\geq 1 \text{ м}$. Согласно исследованиям [6] удельная массовая скорость выгорания этилового спирта в значительной степени зависит от размера очага, эксперименталь-

ные данные, полученные с помощью горелок небольшого диаметра, представлены на рис. 2.

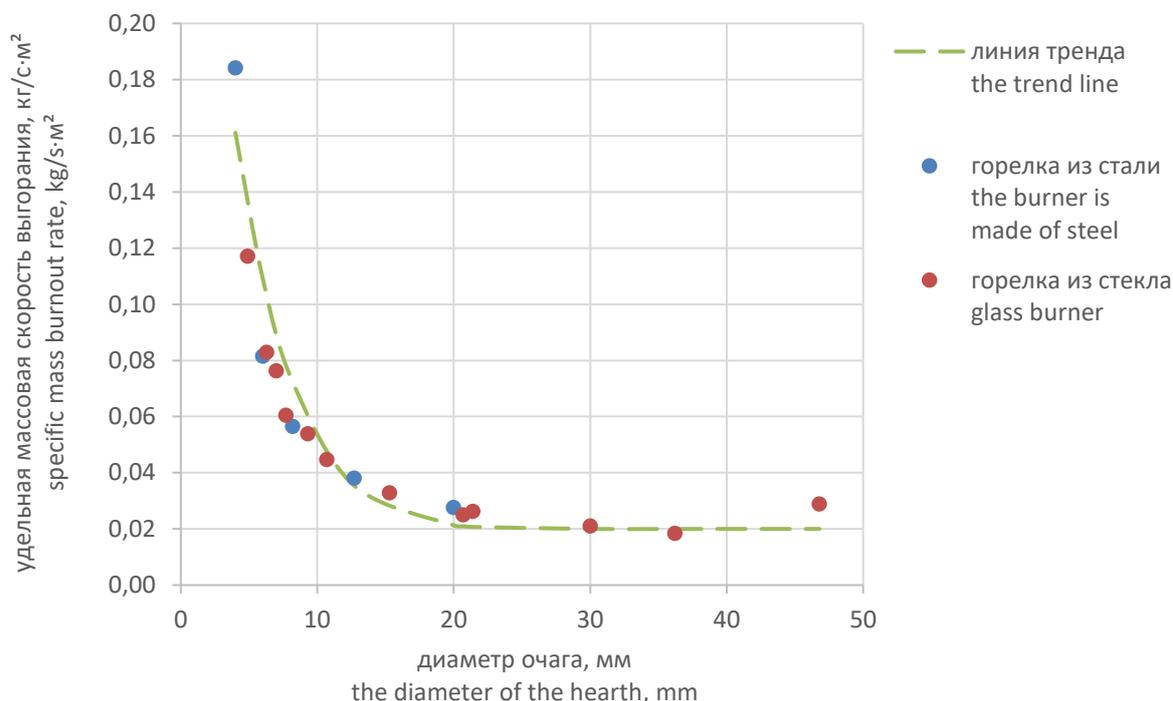


Рис. 2. Удельная массовая скорость выгорания этилового спирта в зависимости от диаметра горелки согласно данным [6]

Fig. 2. The specific mass burn-out rate of ethyl alcohol depending on the diameter of the burner according to the data [6]

Авторы [25, 26] справедливо указывают на то, что в начальной стадии пожара изменение температуры среды и парциальной плотности кислорода не окажет влияния на процесс неустановившегося горения ГЖ, следовательно, для численного моделирования могут быть применены данные об удельной массовой скорости выгорания в неограниченном пространстве. Время срабатывания системы обнаружения, если правильно выбран и размещен пожарный извещатель, будет меньше критической продолжительности

пожара и времени стабилизации процесса горения очага. Поэтому интересно изменение массовой скорости выгорания не только в зависимости от размера очага, но и от длительности начального периода.

Для проведения испытания был подготовлен стенд, схема которого изображена на рис. 3. Испытания проводились на открытом воздухе в безветренную погоду. Для тестовых очагов использовались стальные емкости размерами, приведенными в табл. 1.

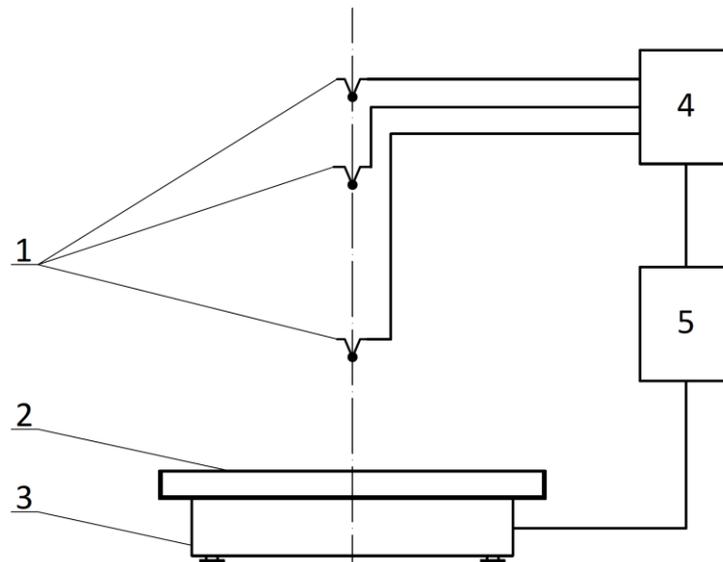


Рис. 3. Схема экспериментального стенда. 1 – термопары на высоте 0,2 м, 0,6 м и 0,9 м над очагом; 2 – очаги различного размера; 3 – электронные лабораторные весы; 4 – электронный самописец; 5 – запоминающее устройство

Fig. 3. Scheme of the experimental stand. 1 – thermocouples at a height of 0,2 m, 0,6 m and 0,9 m above the hearth; 2 – foci of various sizes; 3 – electronic laboratory scales; 4 – an electronic recorder; 5 – a storage device

Таблица 1.
Размеры тестовых очагов
Table 1.
Dimensions of test foci

№	Геометрические размеры		Эффективный диаметр, м Effective diameter, m	Площадь поверхности горения, м ² Gorenje surface area, m ²
	диаметр, м diameter, m	длина×ширина, м length×width, m		
1	0,061	-	0,061	0,003
2	0,100	-	0,100	0,008
3	0,216	-	0,216	0,037
4	-	0,33 × 0,33	0,372	0,11
5	-	0,435 × 0,435	0,491	0,19
6	-	0,6 × 0,6	0,677	0,36

Анализ результатов проводился двумя способами. Посредством усреднения с начала наблюдения по формуле (1) и методом скользящего среднего за период времени 30 с по формуле (2) (условно назовем мгновенной удельной массовой скоростью выгорания):

- средняя с момента начала наблюдения:

$$\Psi_{уд i} = \frac{m_0 - m_i}{0,25 \cdot \pi \cdot d_{эф} \cdot \tau_i}, \quad (1)$$

- за период времени (условно, мгновенная):

$$\psi_{уд i}^l = \frac{m_i - m_{i-30}}{0,25 \cdot 30 \cdot \pi \cdot d_{эф}}, \quad (2)$$

где m_0, m_i, m_{i-30} – масса очага на момент времени соответственно 0, $\tau_i, \tau_i - 30$, с; $d_{эф}$ – эффективный диаметр очага, м.

Результаты анализа по формулам (1) и (2) приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

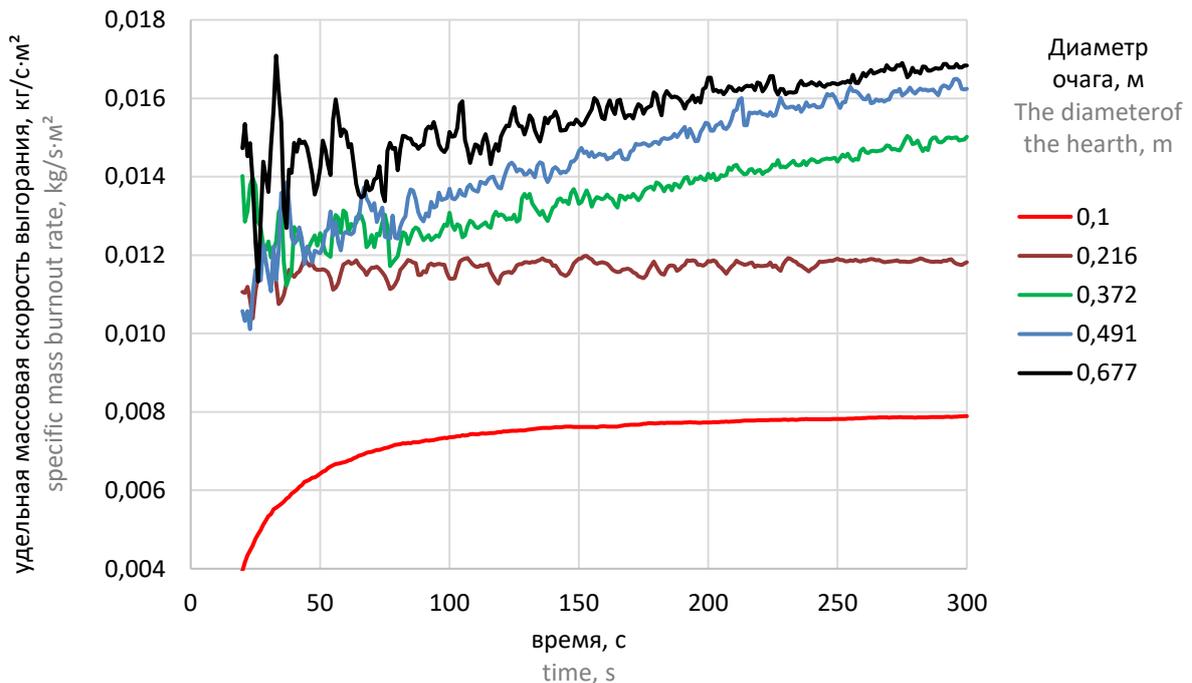


Рис. 4. Изменение средней массовой скорости выгорания, вычисленной по формуле (1)
Fig. 4. The change in the average mass burnout rate, calculated by the formula (1)

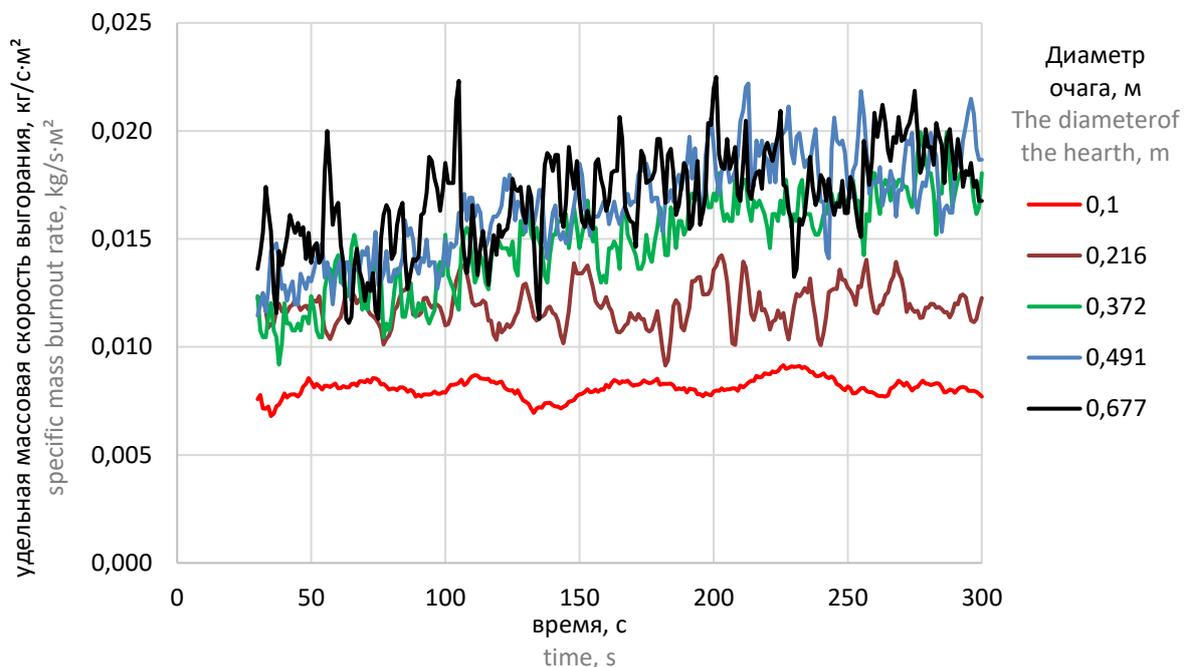


Рис. 5. Изменение мгновенной массовой скорости выгорания, вычисленной по формуле (2)
Fig. 5. The change in the instantaneous mass burnout rate, calculated by the formula (2)

Полученные данные свидетельствуют о том, что величина $\Psi_{уд}$ для небольших очагов существенно ниже справочных значений. Применение заведомо

больших значений массовой скорости выгорания при численном моделировании может привести к чрезмерно быстрому

развитию конвективной колонки над очагом пожара [24]. В свою очередь, это повлечет получение заведомо меньшего времени достижения порога срабатывания теплового извещателя и негативно отразится на объективности оценки эффективности внедрения той или иной системы противопожарной защиты.

Кроме того, результаты измерения демонстрируют зависимость $\Psi_{уд}$ от времени стабилизации горения. Рост скорости выгорания растет с увеличением температуры ГЖ, поскольку снижаются затраты тепла на прогрев жидкости до температуры кипения [19]. Для математического моделирования динамики опасных факторов пожара в научной и учебной литературе [14, 20, 25, 27] часто рассматриваются две основные формулы, приблизительно характеризующие изменение $\Psi_{уд}$ в период стабилизации горения:

$$\Psi_{уд} = \Psi_{ст} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_{ст}}}, \quad (3)$$

$$\Psi_{уд} = \Psi_{ст} \left(0,3 + 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_{ст}}} \right), \quad (4)$$

где $\Psi_{ст}$ – установившаяся (стабилизировавшаяся) удельная массовая скорость выгорания, кг/м²·с;

$\tau_{ст}$ – время стабилизации горения, с;

$d_{эф}$ – эффективный диаметр очага, м.

В работе [25] приводятся данные о том, что время стабилизации горения слоя ГЖ толщиной 2–5 см может быть принято равным 15 мин. В рекомендациях [28] значение $\tau_{ст}$ принимается в зависимости от температуры кипения жидкости:

- до 100 °С – 180 с;

- от 101 до 150 °С – 240 с;

- более 150 °С – 360 с.

По формуле (3) $\Psi_{уд}$ на начальном этапе будет стремиться к нулю, что не соответствует действительности, если пренебречь периодом распространения пламени по поверхности зеркала ГЖ. С учетом данных на рис. 4 и 5 подход, реализованный в формуле (4), представляется более правильным для определения $\Psi_{уд}$ в конкретный момент времени, однако в этом случае для каждой горючей жидкости, кроме времени стабилизации горения, необходимо значение коэффициентов в скобках. Достоверная оценка скорости выгорания в течение первых секунд с момента воспламенения ограничивается погрешностью и чувствительностью средств измерения, поэтому оценить его можно лишь приблизительно.

По данным рис. 5 можно отметить, что по мере увеличения диаметра очага и, как следствие, удельной массовой скорости выгорания и турбулентности увеличивалась и скорость роста $\Psi_{уд}$ на начальной стадии. Для очагов эффективным диаметром 0,372 м и более (воздействие которых вероятнее всего приведет к срабатыванию теплового максимально-дифференциального извещателя за приемлемое время) рост средней $\Psi_{уд}$ с первой до пятой минуты составлял 12–30 %.

С учетом данных [6] для горелок из стали и полученных в настоящей работе экспериментальных значений в течение первых 300 с можно построить зависимость $\Psi_{уд}$ от диаметра очага (рис. 6). Полученная зависимость имеет качественно схожий характер с данными о $\Psi_{уд}$ тракторного керосина (рис. 1).

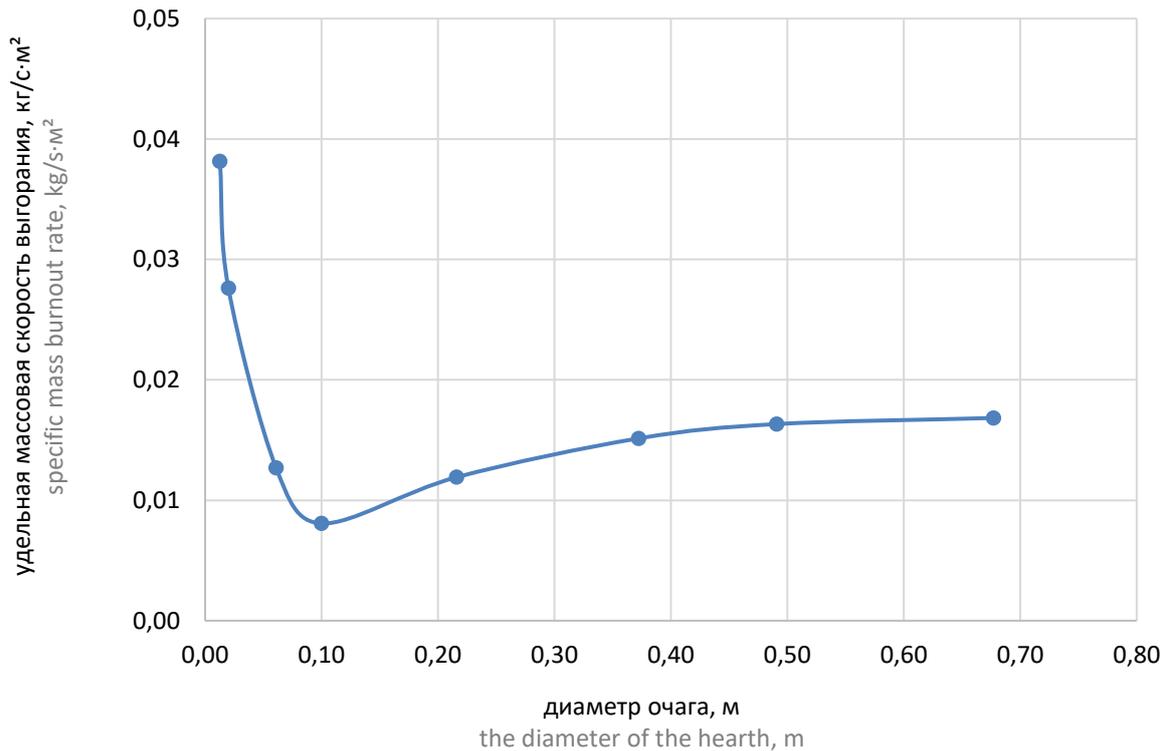


Рис. 6. Удельная массовая скорость выгорания этилового спирта с учетом данных [6]

Fig. 6. Specific mass burnout rate of ethyl alcohol, taking into account the data of [6]

Основные результаты измерений удельной массовой скорости выгорания, представленные на рис. 4, легли в основу моделирования по определению размера очага, который может быть обнаружен тепловым максимально-дифференциальным извещателем за время, способное обеспечить эффективность проектируемой системы автоматической противопожарной защиты. Для оценки интенсивности роста температуры выполнено численное моделирование в программном комплексе Fire Dynamics Simulator для помещения размерами в плане 20 × 20 м и высотой 3,5 м и 6 м, в качестве горючей

нагрузки принят этиловый спирт, основные пожароопасные характеристики приняты согласно [14] и полученным экспериментальным значениям $\Psi_{уд}$ для очагов различного размера. Извещатели равноудалены от очага пожара и расположены на максимальном нормативном расстоянии друг от друга в соответствии с требованиями [2], очаг расположен в центре помещения (рис. 7). Расчет проводился последовательно для нескольких очагов, время обнаружения которых может быть приемлемым для достижения целей противопожарной защиты объекта.

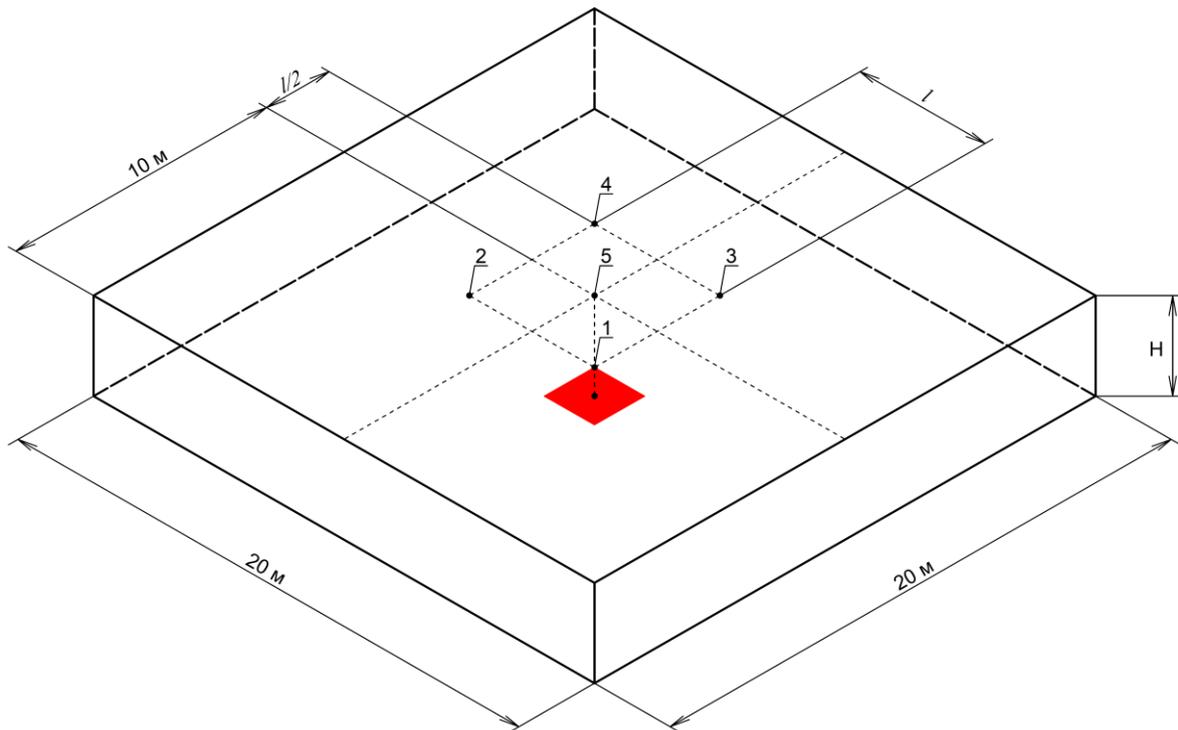


Рис. 7. Схема размещения расчетных точек
Fig. 7. Layout of settlement points

Для высоты помещения до 3,5 м, длиной и шириной более 10 м максимальное расстояние между тепловыми извещателями (величина l на рис. 7) приблизительно составляет 5 м, для высоты помещения от 3,5 до 6 м – 4,5 м [2]. Основные результаты расчетов приведены на рис. 9, 10 и табл. 2.

Размещение извещателя в точке 5 (непосредственно над очагом) является фактически наилучшим условием для его срабатывания, поэтому можно говорить о том, что время обнаружения пожара будет находиться в диапазоне между временем срабатывания в точке 5 и точках 1–4. Примеры графиков температур в расчетных точках для очагов разного размера приведены на рис. 8 и 9, для наглядности приведена динамика средних температур

в точках 1–4 для очагов различной мощности.

Адаптивный алгоритм анализа температуры теплового максимально-дифференциального извещателя [3, 4] позволяет нивелировать влияние нестационарного температурного режима на принятие решения о пожаре, позволяет отслеживать колебания температуры, оценивать их соответствие возможной динамике роста температуры на начальной стадии пожара и делать вывод на основе оценки совокупности значений с момента начала роста температуры. Расчетное время срабатывания данного извещателя по дифференциальному принципу анализа температуры и настройке чувствительности на максимальный уровень представлено в табл. 2. При этом учитывалась его тепловая инерционность.

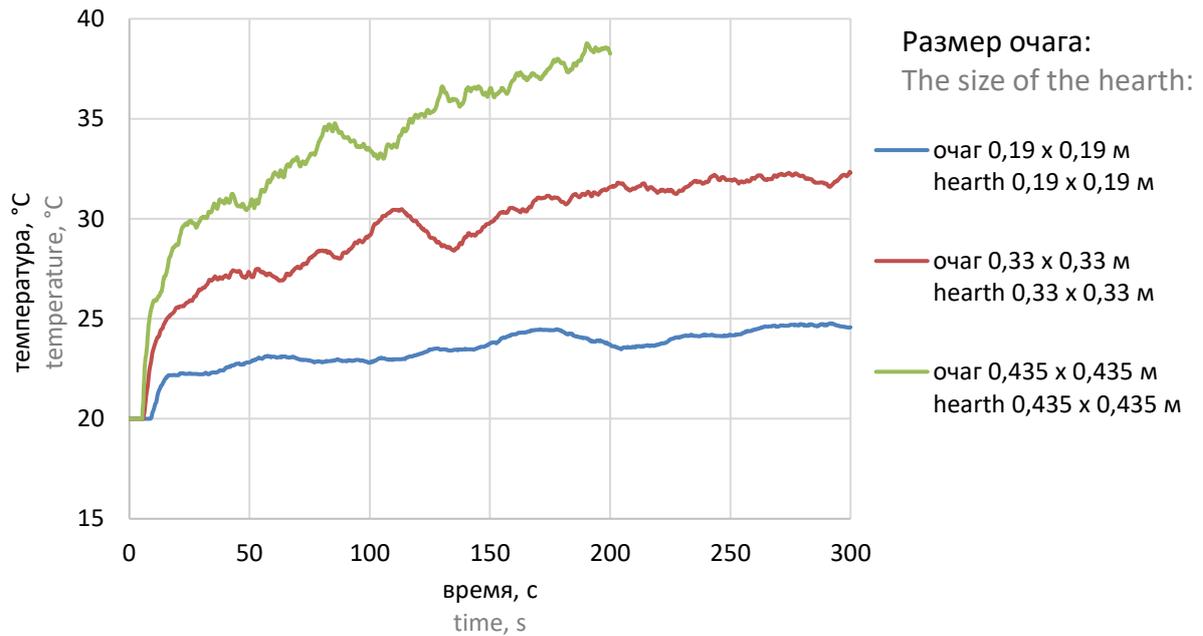


Рис. 8. Динамика средней температуры в точках 1–4 в помещении высотой 3,5 м для очагов различного размера

Fig. 8. The dynamics of the average temperature at points 1–4 in a room with a height of 3,5 m for foci of various sizes

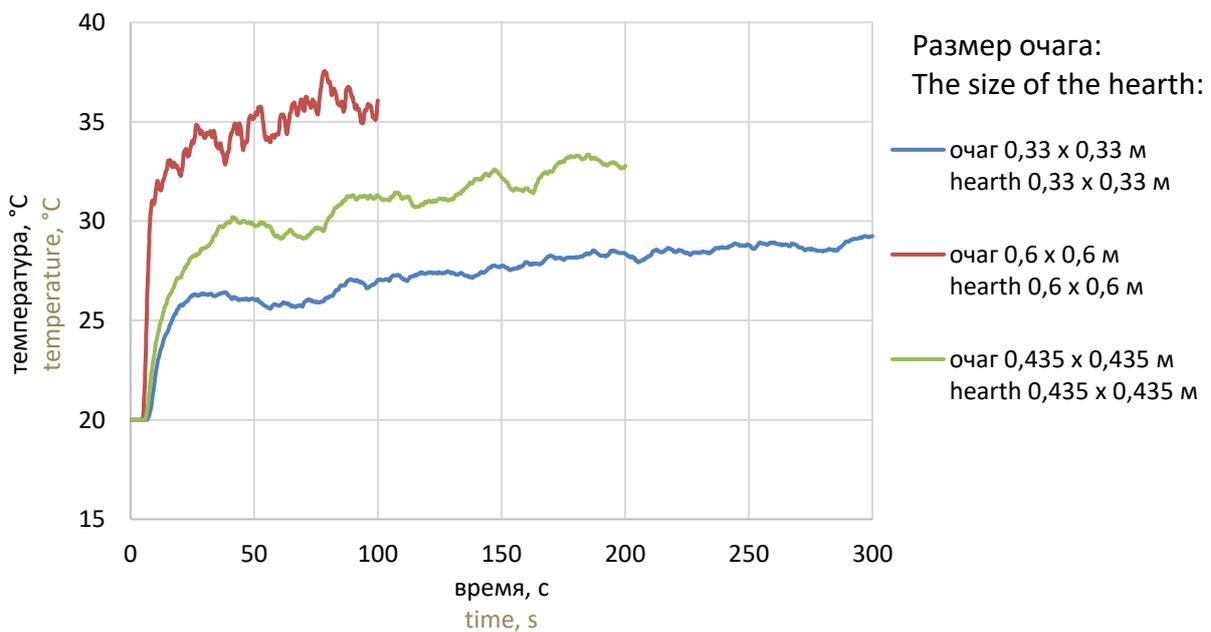


Рис. 9. Динамика средней температуры в точках 1–4 в помещении высотой 6 м для очагов различного размера

Fig. 9. The dynamics of the average temperature at points 1–4 in a room with a height of 6 m for foci of various sizes

Таблица 2

Расчетное время срабатывания максимально-дифференциального извещателя с адаптивным алгоритмом анализа температуры [3, 4]

Table 2

The estimated response time of the maximum differential detector with an adaptive temperature analysis algorithm [3, 4]

Высота помещения, м Room height, m	Размер очага, м The size of the hearth, m	Площадь очага, м ² Hearth area, m ²	Тепловая мощность очага, кВт Heat output of the hearth, kW	Расчетное время срабатывания в точках, с Estimated response time in points, s	
				5	1–4
3,5	0,19 × 0,19	0,037	12,0	8	-
3,5	0,33 × 0,33	0,11	45,3	6	105–109
3,5	0,435 × 0,435	0,491	85,0	6	19–35
6	0,33 × 0,33	0,11	45,3	7	-
6	0,435 × 0,435	0,491	85,0	7	34–56
6	0,6 × 0,6	0,677	166,3	7	9–11

Примечание: символ «-» означает отсутствие срабатывания в течение расчетного периода 300 с.

В первую очередь следует отметить, что достижение порога максимального теплового извещателя происходит значительно дольше, это отчетливо видно по результатам численного моделирования (рис. 8 и 9).

Полученные данные, безусловно, не являются исчерпывающими и не учитывают особенности конкретного объекта защиты, объемно-планировочных решений, особенностей технологического процесса, работу систем вентиляции и т. п. Они дают лишь ориентировочные сведения о возможном времени реагирования дифференциального теплового извещателя с адаптивным алгоритмом анализа на очаг определенной мощности.

Оценка мощности очага выполнена исходя из более худших условий, учитывающих фактически меньшую удельную массовую скорость выгорания по сравнению со стандартными справочными значениями, обусловленную меньшей турбулентностью процесса горения очагов небольшого диаметра.

Полученные результаты могут помочь специалистам, разрабатывающим проектные решения систем автоматической противопожарной защиты, сопоставить эффективность технических средств обнаружения пожара и принять более взвешенное решение при выборе приемлемого варианта для конкретного объекта защиты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Гарант.ру. URL: ivo.garant.ru/#/document/12161584/ (дата обращения: 21.11.2023).
2. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.
3. ИП101-07а-RS. Извещатель пожарный тепловой взрывозащищенный программируемый адресный. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (дата обращения: 25.01.2024).
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023683265 Российская Федерация : заявлено 24.10.2023 : зарегистрировано 07.11.2023 / Корнилов А. А., Бородин А. А., Шульгин И. В., Шлыков Е. Д., Долговых К. С. ; правообладатель АО «ЭРИДАН».

5. 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. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20\(41\)/8.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20(41)/8.pdf) (дата обращения: 17.01.2024).
6. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. М., 1961. 208 с.
7. Блинов В. И. О механизме горения нефтепродуктов в резервуарах // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. М., 1960. С. 4–21.
8. Блинов В. И., Реутт В. Ч., Анисимов В. Е. Зависимость скорости сгорания жидкости от температуры на ее поверхности // Пожарная профилактика и пожаротушение. М., 1964. Вып. 1. 97 с.
9. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. М., 1961. 143 с.
10. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М., 1980. 255 с.
11. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей : монография. М., 2007. 268 с.
12. Демидов П. Г. Основы горения веществ. М., 1951. 296 с.
13. ГОСТ 34698–2020. Межгосударственный стандарт. Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. Fire detectors. General technical requirements. Test methods : дата введения 01.07.2023.
14. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М., 2000. 118 с.
15. Молчадский И. С. Пожар в помещении. М., 2005. 456 с.
16. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М., 2012. 242 с.
17. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М., 2004. Ч. 2. 774 с.
18. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров. М., 1990. 424 с.
19. Процессы горения / А. С. Абдурагимов и др. М., 1984. 268 с.
20. Романенко П. Н., Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М., 1977. 415 с.
21. Основы пожарной теплофизики / М. П. Башкирцев и др. М., 1984. 200 с.
22. Бобков С. А., Бабурин А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М., 2014. 210 с.
23. Алексеев М. В., Демидов П. Г., Ройтман М. Я. Основы пожарной безопасности. М., 1971. 248 с.
24. Рыжов А. М. Полевые модели пожаров // Моделирование пожаров и взрывов. М., 2000. 482 с.
25. Кошмаров М. Ю. Моделирование динамики начальной стадии пожара в помещениях, зданиях и сооружениях при воспламенении горючей жидкости : дисс. ... канд. техн. наук. М., 2004. 195 с.
26. Колодяжный С. А. Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в многофункциональных центрах : дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2017. 269 с.
27. Прогнозирование опасных факторов пожара / Ю. А. Кошмаров и др. М., 1997. 68 с.
28. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа : рекомендации. М., 2004. 96 с.

REFERENCES

1. Technical Regulations on Fire safety requirements: Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 // Garant.ru: information and legal portal. URL: ivo.garant.ru/#/document/12161584/ (date of application: 21.11.2023). (rus).
2. SP 484.1311500.2020. Fire protection systems. Fire alarm systems and automation of fire protection systems. Norms and rules of design. (rus).
3. IP101-07a-RS. Fire detector thermal explosion-proof programmable addressable. URL: <https://eridan.ru/catalog/product/ip101-07a-rs/> (date of application – 25.01.2024). (rus).
4. Certificate of state registration of a computer program № 2023683265 Russian Federation: declared 24.10.2023: registered 07.11.2023 / Kornilov A.A., Borodin A.A., Shul'gin I.V., Shly'kov E.D., Dolgovy`x K.S.; copy-right holder AO «E`RIDAN». (rus).
5. Kornilov A.A., Borodin A.A. Estimation of the response time of the maximum differential thermal fire detector with an adaptive algorithm for temperature analysis at the initial stage of a fire of solid combustible materials // Technosphere safety. 2023. № 4 (41): 90-104. URL: [https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20\(41\)/8.pdf](https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%204%20(41)/8.pdf) (date of application: 17.01.2023). (rus).
6. Blinov V.I., Khudyakov G.N. Diffusion gorenje liquids. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961; 208. (rus).

7. Blinov V.I. On the mechanism of combustion of petroleum products in reservoirs. Gorenje In the book: New ways and means of extinguishing the flame of petroleum products. Collection of articles. Moscow, State Technical Publishing House, 1960; 4–21. (rus).
8. Blinov V.I., Reutt V.Ch., Anisimov V.E. Dependence of the combustion rate of a liquid on the temperature on its surface. Fire prevention and firefighting. Information collection. Issue 1. Moscow, Stroyizdat, 1964; 97. (rus).
9. Petrov I.I., Reutt V.Ch. Extinguishing the flame of flammable liquids. Moscow, Publishing house of Moscow communes. farms of the RSFSR, 1961; 143. (rus).
10. Abduragimov I.M., Govorov V.Yu., Makarov V.E. Physico-chemical foundations of the development and extinguishing of fires: textbook. Moscow, Higher Engineering Fire-technical School, 1980; 255. (rus).
11. Gorshkov V.I. Extinguishing the flame of flammable liquids: monograph. Moscow, POZHNAUKA, 2007; 268. (rus).
12. Demidov P.G. Fundamentals of gorenje substances. Moscow, Publishing house of the Moscow Commune. farms of the RSFSR, 1951; 296. (rus).
13. GOST 34698-2020. Interstate standard. Fire detectors. General technical requirements. Test methods. Fire detectors. General technical requirements. Test methods (date of application: 2023-07-01). (rus).
14. Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room: A textbook. Moscow, AGPS MVD Of Russia, 2000; 118. (rus).
15. Molchadskij I.S. Indoor fire. Moscow, VNIPO, 2005; 456. (rus).
16. Manual for determining the calculated values of fire risk for industrial facilities. Moscow, VNIPO, 2012; 242. (rus).
17. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them. The handbook is in 2 volumes. II:774. (rus).
18. Dreidel D. Introduction to the dynamics of fires / translated from the English by K.G. Bomstein; edited by Yu.A. Koshmarov, V.E. Makarov. Moscow, Stroyizdat, 1990; 424. (rus).
19. Abduragimov, A.S. Androsov, L.K. Isaeva, E.V. Krylov. Gorenje processes: studies. handbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, edited by I.M. Abduragimov. Moscow, VIPTSH, 1984; 268. (rus).
20. Romanenko P.N., Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P. Thermodynamics and heat transfer in fire fighting: textbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR. Moscow, VIPTSH, 1977; 415. (rus).
21. Bashkirtsev M.P., Bubyr N.F., Minaev N.A., Onchukov D.N. Fundamentals of fire thermophysics: textbook for fire technical schools. Moscow, Stroyizdat, 1984; 200. (rus).
22. Bobkov S.A., Baburin A.V., Komrakov P.V. Physico-chemical foundations of fire development and extinguishing: textbook. Manual. Moscow, AGPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014; 210. (rus).
23. Alekseev M.V., Demidov P.G., Roitman M.Ya. Fundamentals of fire safety. Textbook for higher educational institutions. Moscow, Higher School, 1971; 248. (rus).
24. Ryzhov A.M. Field models of fires (in the book "Modeling of fires and explosions" edited by N.N. Brushlinsky and A.Ya. Korolchenko. Moscow, Publishing house "Pozhnauka", 2000; 482. (rus).
25. Koshmarov M.Y. Modeling of the dynamics of the initial stage of a fire in rooms, buildings and structures during ignition of a flammable liquid: dis. ... candidate of Technical Sciences: 05.26.03. 2004; 195. (rus).
26. Kolodyazhny S.A. Forecasting the time of blocking evacuation routes by dangerous fire factors in multifunctional centers: dis. ... doctor of Technical Sciences: 05.26.03. 2017; 269. (rus).
27. Koshmarov Yu.A., Zotov Yu.S., Andreev V.V., Puzach S.V. Forecasting of fire hazards: laboratory workshop. Moscow, MIPB of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1997; 68. (rus).
28. Fire automation equipment. The scope of application. Type selection: Recommendations. Moscow, VNIPO, 2004; 96. (rus).

Информация об авторах

Корнилов Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент. Главный специалист по пожарной безопасности, АО «Эридан». Россия, 623704, Свердловская область г. Березовский, ул. Транспортников, стр. 43;

Information about the authors

Aleksej A. Kornilov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor. Chief Fire Safety Specialist, JSC «E`ridan». Transportnikov St., 43, Berezovskij, Sverdlovsk region, 623704, Russian Federation.

РИНЦ ID: 716627; Scopus Author ID: нет;
Re-searcher ID: нет; ORCID: нет;
e-mail: a.kornilov@eridan.ru

Бородин Александр Александрович,
кандидат технических наук, доцент. Ру-
ководитель группы «Системные реше-
ния», АО «Эридан». Россия, 623704,
Свердловская область г. Березовский,
ул. Транспортников, стр. 43;
РИНЦ ID: 716150; Scopus Author ID: нет;
Re-searcher ID: нет; ORCID: нет;
e-mail: a.borodin@eridan.ru

ID RISC: 716627; Scopus Author ID: none;
Re-searcher ID: none; ORCID: none;
e-mail: a.kornilov@eridan.ru

Aleksandr A. Borodin, Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor. Head of the "System
Solutions" group, JSC «E`ridan».
Transportnikov St., 43, Berezovskij, Sverd-
lovsk region, 623704, Russian Federation.
ID RISC: 716150; Scopus Author ID: none;
Re-searcher ID: none; ORCID: none;
e-mail: a.borodin@eridan.ru

УДК 614.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ТИПА ПРИ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ В УСЛОВИЯХ СТАНДАРТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

**Головина Екатерина Валерьевна, Ефимов Иван Александрович,
Крекнунов Алексей Александрович**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты исследования огнезащитных покрытий вспучивающегося типа для металлических конструкций методом оценки огнезащитной эффективности. Обоснована актуальность применения средств огнезащиты, а также востребованность решения проблемы выбора конкретного огнезащитного метода для металлических конструкций. Приведены основные критерии для определения способа огнезащиты.

В рамках данного исследования предложено изучить огнезащитные покрытия вспучивающегося типа на основе эпоксидного связующего в виде тонкослойной краски и в виде мастики. Целью исследования является определение огнезащитной способности анализируемых образцов. Для осуществления данной цели проведен сравнительный анализ результатов огневых испытаний исследуемых покрытий, позволяющих провести оценку их огнезащитных свойств. Опираясь на результаты испытаний, сделан вывод о более высокой огнезащитной эффективности вспучивающегося покрытия в виде мастики по сравнению с огнезащитным тонкослойным составом.

Ключевые слова: огнезащитная эффективность, средства огнезащиты, вспучивающееся огнезащитное покрытие, стандартный температурный режим, огневые испытания

RESEARCH OF THE FIRE RETARDANT PROPERTIES OF INTUMESCENT TYPE FIRE RETARDANT COATINGS DURING FIRE TESTS UNDER STANDARD TEMPERATURE CONDITIONS

Ekaterina V. Golovina, Ivan A. Efimov, Alexey A. Krektunov

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

The article presents the results of a study of intumescent-type fire-retardant coatings for metal structures using the method of assessing fire-retardant effectiveness. The relevance of the use of fire protection means is substantiated, as well as the demand for

solving the problem of choosing a specific fire protection method for metal structures. The main criteria for determining the method of fire protection are given. Within the framework of this study, it was proposed to study fire-retardant coatings of intumescent type based on an epoxy binder in the form of thin-layer paint and in the form of mastic. The purpose of the study is to determine the fire retardant ability of the analyzed samples. To achieve this goal, a comparative analysis of the results of fire tests of the coatings under study was carried out, allowing for an assessment of their fire-retardant properties. Based on the test results, it was concluded that the intumescent coating in the form of mastic has a higher fire-retardant efficiency compared to a fire-retardant thin-layer composition.

Keywords: fire retardant efficiency, fire protection means, intumescent fire retardant coating, standard temperature conditions, fire tests

Введение

На сегодняшний день существует несколько сотен различных средств и методов для огнезащиты металлических конструкций. К ним относятся облицовки бетоном, кирпичом, штукатурки, панельные и плиточные материалы, огнезащитные краски, изоляционные материалы и их комбинации. Каждый огнезащитный материал имеет технические свойства и эксплуатационные характеристики [1–6]. Эти факторы в большей степени определяют области применения материалов, не препятствуя соблюдению нормативных требований, а также принимая во внимание стоимость работ по противопожарной защите и другие различные требования в исследуемой области.

При изучении вопроса применения способов огнезащиты исследователи часто сталкиваются с проблемой выбора конкретных огнезащитных средств. Для определения вида и способа огнезащиты можно выделить следующие критерии [7, 8]: величина требуемого предела огнестойкости, тип защищаемой конструкции и ориентации защищаемых поверхностей в пространстве (колонны, стойки, ригели, балки, связи), возможность увеличения нагрузки на конструкцию за счет веса огнезащиты (утяжеление конструкции), возможность периодического контроля

покрытия и восстановления после повреждений, технологичность нанесения огнезащиты, стоимость огнезащитного материала и работ по предварительной подготовке конструкций к монтажу огнезащиты и др. Таким образом, проблема выбора огнезащитных средств для конкретного объекта остается весьма актуальной и востребованной.

Материалы и методы

В соответствии с ГОСТ 1363-2-2014 [2] и ГОСТ 53295-2009 [3] были проведены испытания на огнезащитную эффективность в условиях стандартного температурного режима. Для испытаний были выбраны образцы огнезащитных тонкослойных терморасширяющихся составов для металлических конструкций на основе эпоксидного связующего, нанесенные в соответствии с техническими условиями по следующей схеме:

1 образец: грунтовочный слой + огнезащитный материал + покрывной финишный слой;

2 образец: грунтовочный слой + эпоксидное мастичное покрытие + покрывной финишный слой.

В соответствии с ГОСТ 1363-2-2014 [2] и ГОСТ 53295-2009 [3] были проведены испытания на огнезащитную эффективность в условиях стандартного температур-

ного режима. Сущность метода заключается в определении огнезащитной эффективности при тепловом воздействии на образец и времени от начала теплового воздействия до наступления предельного состояния этого образца. За предельное состояние принимается достижение металлом испытанного образца критической температуры, равной 500 °С (среднее значение по показаниям трех термопар). Критическая температура стали в 500 °С характеризуется потерей несущей способности стальных конструкций при нормальной нагрузке.

Во время проведения испытаний помимо времени наступления предельного состояния образца, фиксировались изменение температуры в печи, поведение огнезащитного состава интумесцентного типа (вспучивание, обугливание, отслоение), изменение температуры металла испытанного образца.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты измерений температурного режима на образцах представлены графически на рисунках 1–2.

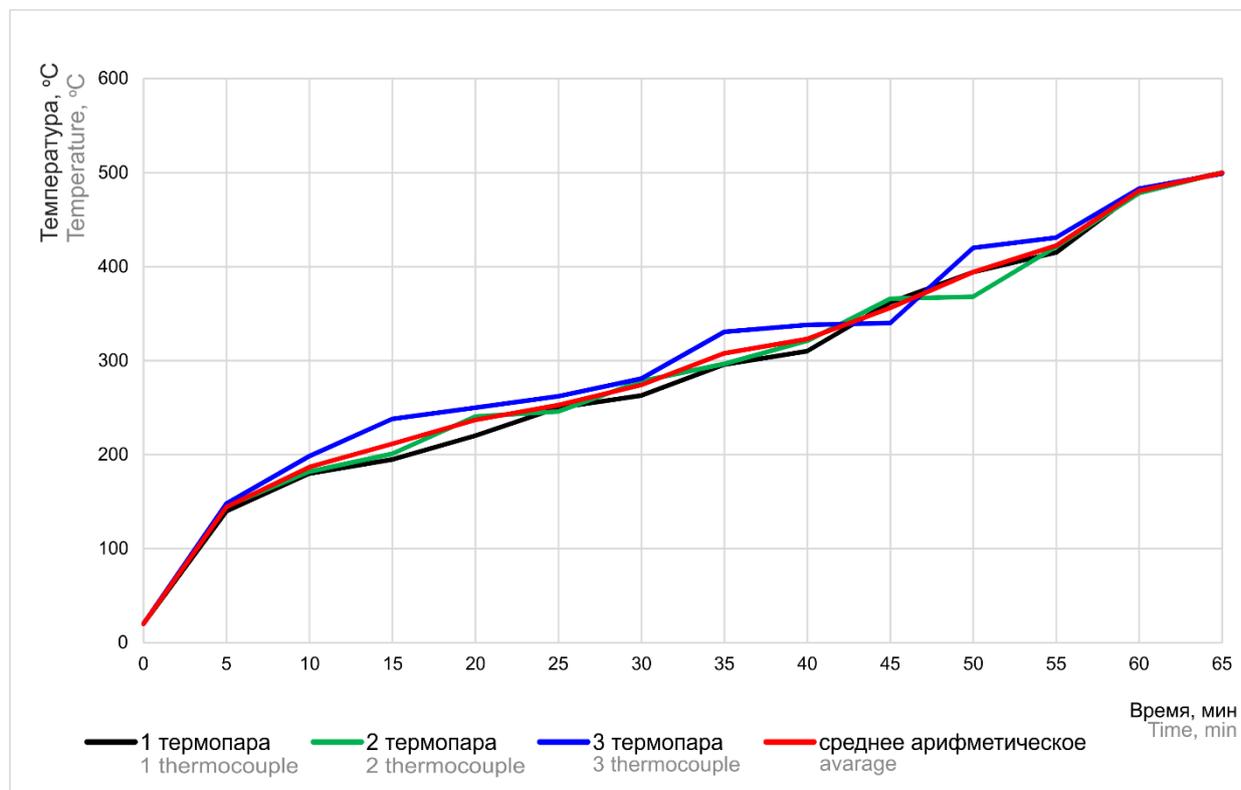


Рис. 1. Изменение температуры образца 1 при проведении огневых испытаний

Fig. 1. Change in temperature of sample 1 during fire tests

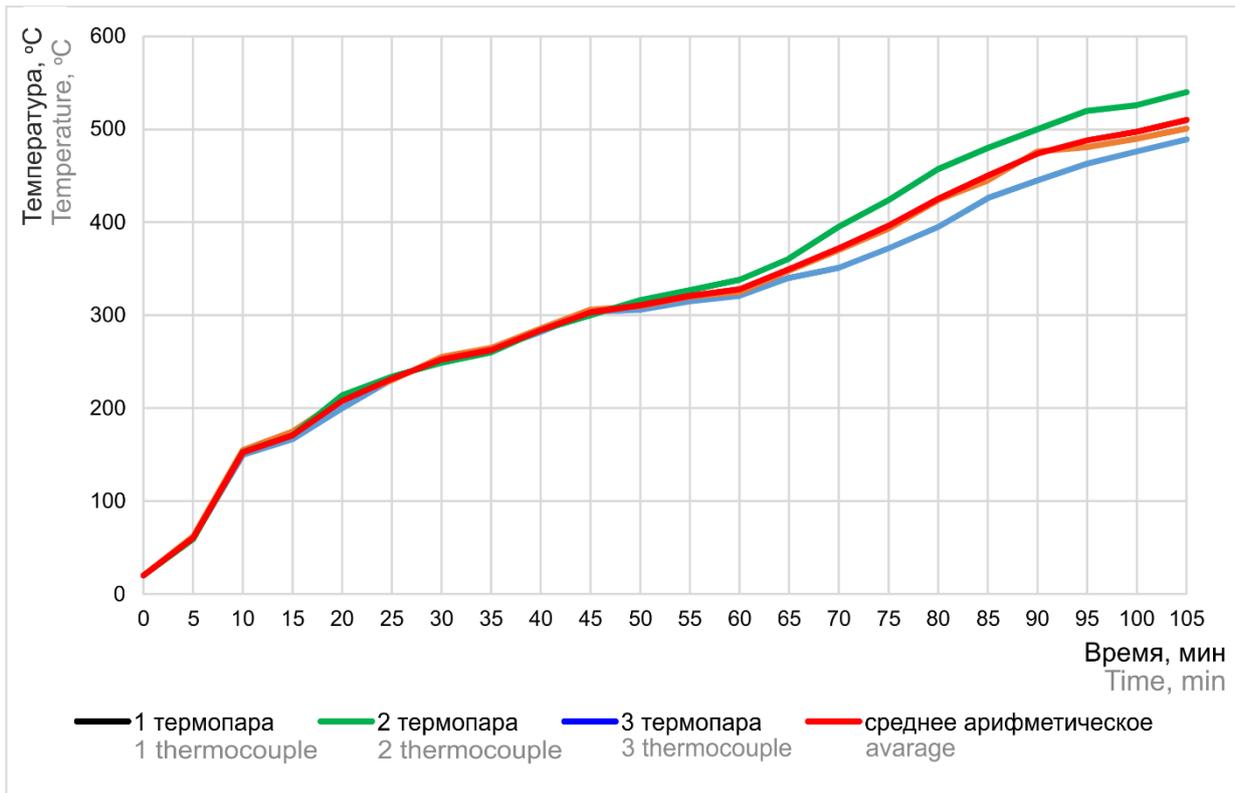


Рис. 2. Изменение температуры образца 2 при проведении огневых испытаний

Fig. 2. Change in temperature of sample 2 during fire tests

В процессе проведения испытаний визуально зафиксированы следующие изменения:

Таблица
Изменения, фиксируемые во время испытаний
Table
Changes recorded during testing

Время, мин Time, min	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2
2		покрытие темнеет и слабо вспучивается the coating darkens and swells slightly
3		покрытие продолжает вспучиваться, наблюдается горение покрытия the coating continues to swell, the coating is observed to burn
4		покрытие почернело полностью, продолжает вспучиваться и гореть the coating has completely blackened and continues to swell and burn
7		наблюдается продолжительное горение, процесс вспучивания остановился there is a prolonged burning, the swelling process has stopped
13		наблюдается продолжение горения continuation of combustion is observed
27		наблюдается продолжение горения, растрескивание покрытия continuation of combustion and cracking of the coating are observed

42	наблюдается продолжение горения, наблюдается осветление (локальное) покрытия continuation of combustion is observed, lightening (local) of the coating is observed	
61	зафиксировано превышение средней температуры образца an excess of the average temperature of the sample was recorded	растрескивание и горение продолжается cracking and burning continued
63	испытание завершено test completed	
65		
93		зафиксировано превышение средней температуры образца an excess of the average sample temperature was recorded
103		испытание завершено test completed

В результате огневых испытаний отмечается, что до 42-й минуты исследуемые образцы показывают схожее поведение огнезащитного покрытия. Процесс вспучивания начинается со второй минуты термического воздействия и длится в течение 5 минут. Далее наблюдается горение покрытия (с 7-й минуты испытания), которое продолжается до момента достижения критической температуры 500 °С. Образец 1 быстрее достигает предельного состояния – на 63-й минуте нахождения в испытательной установке, в то время как образец 2 выдерживает 102 минуты в температурных условиях стандартного режима пожара.

Выводы

Установлено, что вспучивающееся покрытие в виде мастики характеризуется

меньшим количеством дефектов теплоизолирующего пенококсового слоя, благодаря чему данный образец продемонстрировал высокие временные показатели огнезащитной эффективности при огневых испытаниях в условиях стандартного температурного режима. Образец, на который была нанесена тонкослойная вспучивающаяся композиция, достиг критической температуры на 63 минуте, что на 38 % ниже времени достижения предельного состояния образца с нанесением покрытия в виде мастики. Таким образом, тонкослойная краска вспучивающегося вида является менее эффективной при ее применении в качестве огнезащиты металлических конструкций.

Список источников

1. Eremina, T., Korolchenko, D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. Buildings 2020, № 10: 185. DOI:10.3390/buildings10100185.
2. Анализ применения современных средств огнезащиты стальных конструкций нефтегазового комплекса в климатических условиях Арктического региона / Е. В. Головина и др. // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 2 (21). С. 19–29.
3. Головина Е. В., Калач А. В. Анализ современных средств огнезащиты стальных конструкций нефтегазового комплекса для климатических условий Арктического региона : монография. Екатеринбург, 2023. 122 с.
4. Kolarkar P., Mahendran V. Experimental studies of fire conditions. Fire Saf. J. 53 (2012). Pp. 85–104. DOI:10.1016/J.FIRESAF.2012.06.009.

5. Gravit, M., Shabunina, D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions // *Buildings* 2021, 11(11), 499. <https://doi.org/10.3390/buildings11110499>.
6. Калач А. В., Головина Е. В., Крутолапов А. С. Современные средства обеспечения огнезащиты стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2023. № 3 (67). С. 120–130.
7. Imran M., Liew M.S., Nasif M.S. Niazi, U.M., Yasreen, A. Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview. *Adv. Sci. Lett.* 2017, № 23. Pp. 1243–1247. DOI:10.1166/asl.2017.8349.
8. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов / Е. В. Головина и др. // *Пожаровзрывобезопасность*. 2022. Т. 31, № 3. С. 24–33.
9. ГОСТ Р EN 1363-2–2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы // *КонсультантПлюс* (дата обращения: 10.02.2024).
10. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности // *КонсультантПлюс* (дата обращения: 04.02.2024).

References

1. Eremina, T., Korolchenko, D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. *Buildings* 2020, № 10: 185. DOI:10.3390/buildings10100185.
2. Golovina E. V., Kalach A. V., Kalach E. V., Akulov A. Yu. Analysis of modern means of fire protection application of steel structures in the oil and gas complex in the Arctic climatic conditions. *Housing and utilities infrastructure*. 2022; 2(21): 19–29. DOI 10.36622/VSTU.2022.21.2.002 (rus).
3. Golovina E.V., Kalach A.V. Analysis of modern means of fire protection of steel structures of the oil and gas complex for the climatic conditions of the Arctic region: monograph. Ekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023; 122 p (rus).
4. Kolarkar P., Mahendran V. Experimental studies of fire conditions. *Fire Saf. J.* 53 (2012). Pp. 85-104. DOI:10.1016/J.FIRESAF.2012.06.009.
5. Gravit M., Shabunina D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions. *Buildings*. 2021; 11(11):499. <https://doi.org/10.3390/buildings11110499>.
6. Kalach A.V., Golovina E.V., Krutolapov A.S. Modern means of ensuring fire protection of steel structures of oil and gas complex facilities. *Problems of risk management in the technosphere*. 2023; 3 (67): 120–130. (rus).
7. Imran M., Liew M.S., Nasif M.S. Niazi, U.M., Yasreen, A. Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview. *Adv. Sci. Lett.* 2017; 23: 1243–1247. DOI:10.1166/asl.2017.8349.
8. Golovina E.V., Kalach A.V., Bezzaponnaya O.V., Krutolapov A.S., Sharapov S.V. Increasing the safety of oil and gas complex facilities by improving fire retardant compositions // *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and explosion safety*. 2022; 31(3):24-33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33 (rus).
9. GOST R EN 1363-2-2014 Building structures. Fire resistance tests. Part 2. Alternative and additional methods. Access from the reference legal system "ConsultantPlus". (access date: 02/10/2024). (rus).
10. GOST R 53295-2009 Fire protection means for steel structures. General requirements. Method for determining fire retardant effectiveness. Access from the reference legal system "ConsultantPlus". (date of access: 02/04/2024). (rus).

Информация об авторах

Головина Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Ефимов Иван Александрович, кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России,

Information about the authors

Ekaterina V. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Research Department, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Ivan A. Efimov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activities and Law, Ural Institute of State Fire Service of

Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, AuthorID: 799824;
e-mail: e3efimov@yandex.ru

Крекунов Алексей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, ORCID: 0000-0003-2160-3305;
e-mail: alexkrec96@mail.ru

EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; AuthorID: 799824;
e-mail: e3efimov@yandex.ru

Alexey A. Krektunov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activities and Law, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2160-3305;
e-mail: alexkrec96@mail.ru

УДК 614.841.2

АНАЛИЗ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Скрипник Игорь Леонидович, Дементьев Фёдор Алексеевич,
Савельев Дмитрий Вячеславович, Булатов Вячеслав Олегович**

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

АННОТАЦИЯ

Проанализированы причины, пожарная опасность производств, связанных с окраской изделий. Выполнен расчет опасных факторов пожара на основе приказов МЧС России № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». Показаны трудности, возникающие с данным расчетом, основанным на использовании большого количества переменных, определяемых не всегда однозначным способом или с некоторыми погрешностями. Показано, что вероятность эвакуации по эвакуационным путям рассчитывается по различным аналитическим выражениям на основании трех рассматриваемых документов. На основе проведенного анализа компьютерных программ, используемых для оценки пожарных рисков, был выполнен расчет времени эвакуации в программе Pathfinder и времени блокирования путей в программе PyroSim на основе дифференциальной (полевой) модели, а именно: по времени наступления предельных значений повышенной температуры, потери видимости, содержанию кислорода, токсичных продуктов горения. Предложено согласовать аналитические выражения для определения вероятности эвакуации по эвакуационным путям и в ближайшее время разработать новое учебное пособие по использованию проекта приказа «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», вводимого в действие с 01.09.2024, вместо действующего в настоящее время приказа МЧС России № 404.

Ключевые слова: пожар, эвакуация, расчет, вероятность, опасные факторы пожара, время блокирования, риск, компьютерная программа

ANALYSIS OF CALCULATION PROCEDURES FOR DETERMINATION OF FIRE HAZARDS USING COMPUTER TECHNOLOGIES

Igor L. Skripnik, Fedor A. Dementyev, Dmitriy V. Savelyev, Vyacheslav O. Bulatov

St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

The causes and fire danger of industries related to the coloring of products are analyzed. The calculation of fire hazards was carried out on the basis of orders of the Ministry of

Emergency Situations of Russia No. 404 "On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities". The difficulties encountered with this calculation based on the use of a large number of variables, which are not always determined in an unambiguous way or with some errors, are shown. It is shown that the probability of evacuation by evacuation routes is calculated using various analytical expressions based on the three documents under consideration. Based on the analysis of computer programs used to assess fire risks, the calculation of the evacuation time in the Pathfinder program and the time of blocking paths in the PyroSim program was performed based on a differential (field) model, namely: by the time of the onset of the maximum values of elevated temperature, loss of visibility, oxygen content, toxic combustion products gorenje. It is proposed to coordinate analytical expressions for determining the probability of evacuation along evacuation routes and in the near future to develop a new textbook on the use of the draft order "On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities", effective from 09/01/2024, instead of the current order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 404.

Keywords: fire, evacuation, calculation, probability, fire hazards, blocking time, risk, computer program

Введение

Пожары на опасных производственных объектах характеризуются большой сложностью их тушения, привлечением значительных сил и средств для ликвидации очагов горения, нанесением материального ущерба, жизни и здоровью обслуживающего персонала и людей, находящихся в прилегающей зоне (вблизи пожара).

Так 13.05.2023. произошел пожар в покрасочном цехе предприятия по производству дверей и окон (г. Тольятти), в результате чего обрушилась кровля.

Многие лакокрасочные материалы (ЛКМ) являются горючими и легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ).

Процессы окраски изделий определяются физико-химическими явлениями, следствием которых могут являться аварийные ситуации. К ним можно отнести:

– электрофизические процессы, связанные с работой электроустановок, электризацией применяемых диэлектрических материалов, проявляющиеся в раз-

рядах статического электричества и приводящие к воспламенению паров летучих растворителей;

– экзотермические, физико-химические процессы в отложениях ЛКМ, что приводит к их разогреву и самовозгоранию.

Пожарная опасность процессов окраски зависит от характеристик, используемых ЛКМ, содержащих в своем составе горючий растворитель – ЛВЖ, возможности образования пожароопасных горючих сред при испарении растворителей, присутствия потенциальных источников зажигания, а также от разветвленных путей распространения пожара.

Причинами пожаров на окрасочных производствах являются:

– неисправность электрооборудования;

– самовозгорание отходов краски, ЛКМ. При нанесении ЛКМ на изделия некоторая доля эмали не попадает на устройство, вследствие этого мелкодисперсные частицы ЛКМ осаждаются на поверхности, образуя отложения, склонные к самовозгоранию;

– нагрев трущихся, подвижных устройств, механизмов сверх допустимой температуры;

– нарушение инструкций, правил, регламентов, последовательности проведения технологических операций, в том числе при выполнении огневых работ;

– разряды статического электричества.

Анализ литературных источников показал, что толщину отложений более 15–20 мм считают опасной для возникновения пожара [1]. Исходя из этого, вопросы пожарной безопасности принимают актуальное значение, особенно это касается окрасочных производств, в которых хранятся, обращаются ГЖ и ЛВЖ.

В научных исследованиях, посвященных расчету и моделированию динамики опасных факторов пожара (ОФП), большое внимание уделяется прогнозированию времени достижения их критических значений [2]. В работе [3] изучены теоретические основы применения трехмерного моделирования при расчете пожарных рисков. Выявлены особенности и проблемы использования 3D-модели для визуализации ОФП. В монографии [4] рассмотрены противопожарные требования при проектировании и строительстве деревообрабатывающих предприятий, тушение на них пожаров, прогнозирование ОФП в цехе деревообрабатывающего предприятия, экспертиза систем взрывопожарной безопасности предприятия. В статье [5] предложены пути совершенствования методов определения расчетного времени блокирования эвакуационных путей ОФП.

Знание прогнозируемых сценариев (вариантов) возникновения пожара, особенностей его развития, распространения горения позволит на начальном этапе своевременно его предотвратить

с наименьшим воздействием на здоровье людей в случае воздействия на них ОФП. Этому способствует развитие научно-технического прогресса, особенно

с точки зрения современных компьютерных технологий на основе моделей развития пожара с различными сценариями его возникновения.

В результате возникновения пожара в производственных зданиях, при этом целью людей является безопасная эвакуация в безопасное место до наступления критических значений ОФП. Для определения времени достижения критических значений ОФП приведены соответствующие аналитические выражения интегральной модели развития пожара.

Методология

В качестве анализа было взято типовое помещение окрасочного цеха производственного предприятия (рис. 1).

Для рассматриваемого цеха окраски используются следующие данные:

- высота помещения: 6 м;
- площадь помещения: 252,52 м²;
- начальная температура воздуха

в помещении: +15 °С.

Основная пожарная нагрузка в помещении представлена:

- эмалью НЦ-132П, ПФ-115, ПФ-218;
- растворителем 646 (50 % толуол,

данные в расчетах по нему) и уайт-спиритом, хранящимися в ведрах с закрывающимися крышками.

Помимо исходных данных, остальные параметры взяты из справочника [6] и сети Интернет. Значение критических продолжительностей пожара ($\tau_{кр}$), входящих в выражение (П 5.1), определяется по формулам (П 5.2 – П 5.9) [7].

Коэффициент «В» определяется по формуле (П5.6):

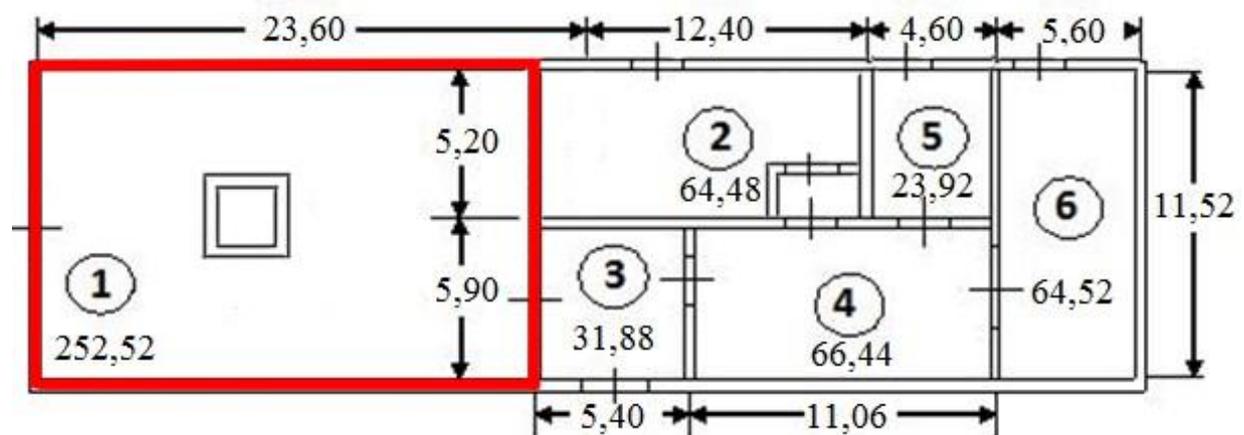


Рис. 1. Расположение помещений: 1 – окрасочный цех; 2 – склад ЛКМ; 3 – раздевалка; 4, 6 – комнаты обслуживающего персонала; 5 – вспомогательное помещение (бытовка)
Fig. 1. Location of premises: 1 – painting shop; 2 – paint and varnish warehouse; 3 – locker room; 4, 6 – rooms for service personnel; 5 – auxiliary room (change house)

$$B = \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q} = \frac{353 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3} \cdot 1212,1}{(1 - 0,55) \cdot 0,85 \cdot 41,03} = 27,4 \text{ кг}$$

Параметр Z рассчитывается по формуле (П5.7):

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) = \frac{1,7}{6} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{1,7}{6}\right) = 0,42 \text{ м}$$

Высота рабочей зоны находится по формуле (П5.8):

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta = 0 + 1,7 - 0,5 \cdot 0 = 1,7$$

Размерный параметр A определяется по формуле (П5.9):

$$A = 1,05 \cdot \Psi_F \cdot v^2 = 1,05 \cdot 0,048 \cdot 0,13^2 = 0,00085, \text{ при } n = 3;$$

$\tau_{\text{КР}}^T$ по повышенной температуре равна (формула П5.2):

$$\tau_{\text{КР}}^T = \left\{ \frac{27,4}{0,00085} \cdot \ln\left[1 + \frac{70-15}{(273+15) \cdot 0,42}\right] \right\}^{1/3} = 22,97 \text{ с}$$

$\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}}$ по потере видимости составляет (формула П5.3):

$$\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}} = \left\{ \frac{27,4}{0,00085} \cdot \ln\left[1 - \frac{1212,1 \cdot \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 50)}{20 \cdot 27,4 \cdot 562 \cdot 0,42}\right]^{-1} \right\}^{1/3} = 9,45 \text{ с}$$

$\tau_{\text{КР}}^{O_2}$ по содержанию кислорода равна (формула П5.4):

$$\tau_{\text{КР}}^{O_2} = \left\{ \frac{27,4}{0,00085} \cdot \ln\left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{27,4 \cdot 3,098}{1212,1} + 0,27\right) \cdot 0,42}\right]^{-1} \right\}^{1/3} = 17,06 \text{ с}$$

$\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}}, \tau_{\text{КР}}^{\text{CO}_2}$ по содержанию токсичных продуктов горения (формула П5.5) находится

как:

$$\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}} = \left\{ \frac{27,4}{0,00085} \cdot \ln\left[1 - \frac{1212,1 \cdot 0,00116}{27,4 \cdot 0,148 \cdot 0,42}\right]^{-1} \right\}^{1/3} = 38,34 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}_2} = \left\{ \frac{27,4}{0,00085} \cdot \ln\left[1 - \frac{1212,1 \cdot 0,11}{27,4 \cdot 3,68 \cdot 0,42}\right]^{-1} \right\}^{1/1} = \frac{27,4}{1,92} \cdot \ln(-0,466) \text{ с}$$

Данные результаты показали, что для выполнения данного расчета «вручную» на основе приказа МЧС России № 404 потребовалось:

- хорошее знание многих преподаваемых (изучаемых) дисциплин;
- большое количество времени;

– применение большого количества показателей пожарной опасности веществ и материалов с [8] и сети Интернет.

Следует отметить, что не всегда эти данные носят достоверный характер. Некоторые находятся в интервальном диапазоне, другие изменяются при небольших внешних условиях (приращениях), третьи выбираются однозначно при условии большого количества неопределенности.

Поэтому значение $\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}}$ получилось очень маленьким, а $\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}_2}$ – неопределенным в силу наличия отрицательного значения под натуральным логарифмом.

В этом случае целесообразно применять апробированные компьютерные программы.

В настоящее время существуют современные программные продукты, такие как: PyroSim, Fenix+ и другие, в которых применяется пользовательский графический интерфейс по моделированию динамики развития ОФП полевым методом на основе программы Fire Dynamics Simulator (FDS). FDS реализует полевую (дифференциальную) модель расчета динамики ОФП. Полевая модель позволяет рассчитать значения показателей в каждой точке пространства с максимальной высокой точностью из всех существующих на сегодняшний день моделей. При работе со сложными объектами, которые характеризуются нестандартной планировкой и архитектурой, множеством различных линейных размеров используется исключительно полевая (дифференциальная) модель. Полевая модель имеет множество преимуществ, за исключением продолжительности расчетов и высоких требований к ЭВМ.

Для построения модели пожара применяем программу PyroSim.

Целью моделирования процесса распространения ОФП было нахождение значений критических продолжительностей пожара ($\tau_{\text{КР}}$) и сравнение их с норма-

тивно допустимыми значениями по каждому из ОФП на уровне рабочей зоны (1,7 м от пола) [7].

В программной среде была создана модель производственного цеха.

Моделировалось распространение ОФП при пожаре длительностью 5 мин.

Для компьютерного моделирования добавляем следующие исходные данные:

- количество эвакуационных выходов (ЭВ) с цеха окраски – один (рассматриваем наиболее неблагоприятный сценарий, при котором второй ЭВ заблокирован);

- численность работающих составляла четыре человека;

- пожар возникает в центре помещения.

Время блокирования ($\tau_{\text{бл}}$) рассчитывается в два этапа: первый – это смоделировать процесс эвакуации из помещения. Второй – рассчитать динамику ОФП и выбрать минимальное значение по критерию времени достижения критического значения, таким образом приблизить алгоритм расчета к алгоритму, описанному в приказе МЧС России № 404.

На первом этапе необходимо создать в программной среде помещение покрасочного цеха, которое геометрически полностью повторяет исходные размеры и планировочные решения помещения цеха. Добавить в модель ЭВ, указать количество эвакуирующихся, при этом расположить людей на рабочих местах.

На втором этапе отдельно рассчитать динамику каждого ОФП. Как правило, наименьшее время достижения критического значения имеет ОФП – потеря видимости. Если учитывать возникающую тягу, связанную с разностью давлений, которую можно указать в программе, то дым распространяется динамически.

Результаты и их обсуждение

При расчете динамики изменения состояния газовой среды в помещении в программной среде PyroSim рассчитываются значения ОФП, согласно приказу МЧС России № 404, при этом достигается более высокая точность вычислений, в отличие от расчета, проведенного вручную [8, 9].

По расчетным значениям определена критическая продолжительность

пожара для эвакуации людей. К ним относятся: снижение видимости в дыму $\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}} = 40,2$ с (рис. 2б) и снижение концентрации кислорода $\tau_{\text{КР}}^{\text{O}_2} = 47,4$ с (рис. 3а).

Эти значения намного отличаются от значений, полученных в результате расчета: $\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}} = 9,45$ с и $\tau_{\text{КР}}^{\text{O}_2} = 17,06$ с. Хотя тенденция выбора ОФП по приоритетности остается одинаковой.

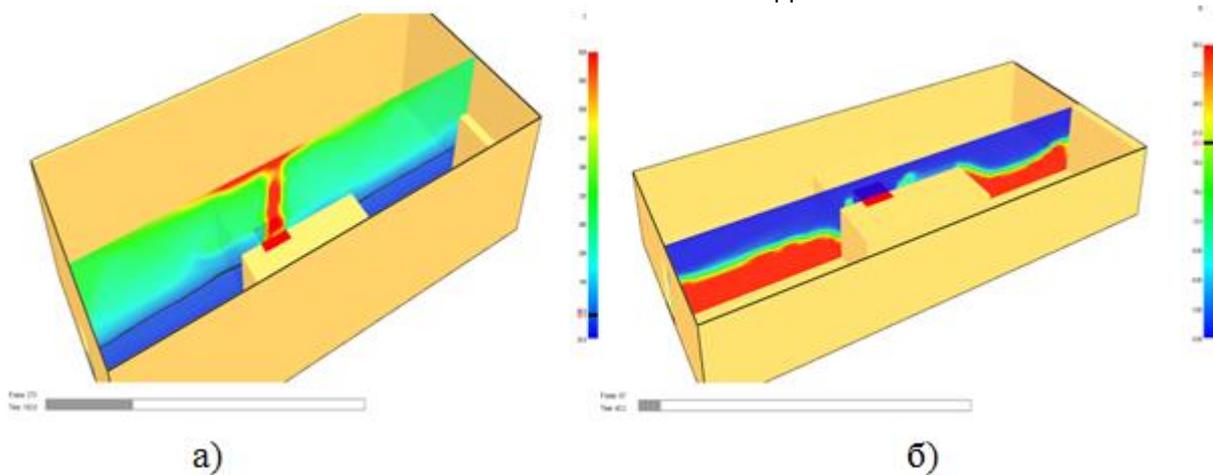


Рис. 2. Время достижения критических значений ОФП по: а) $\tau_{\text{КР}}^T = 163,8$ сек; б) $\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}} = 40,2$ сек

Fig. 2. Time to reach critical RPP values according to: а) $\tau_{\text{КР}}^T = 163,8$ sec.; б) $\tau_{\text{КР}}^{\text{П.В.}} = 40,2$ sec

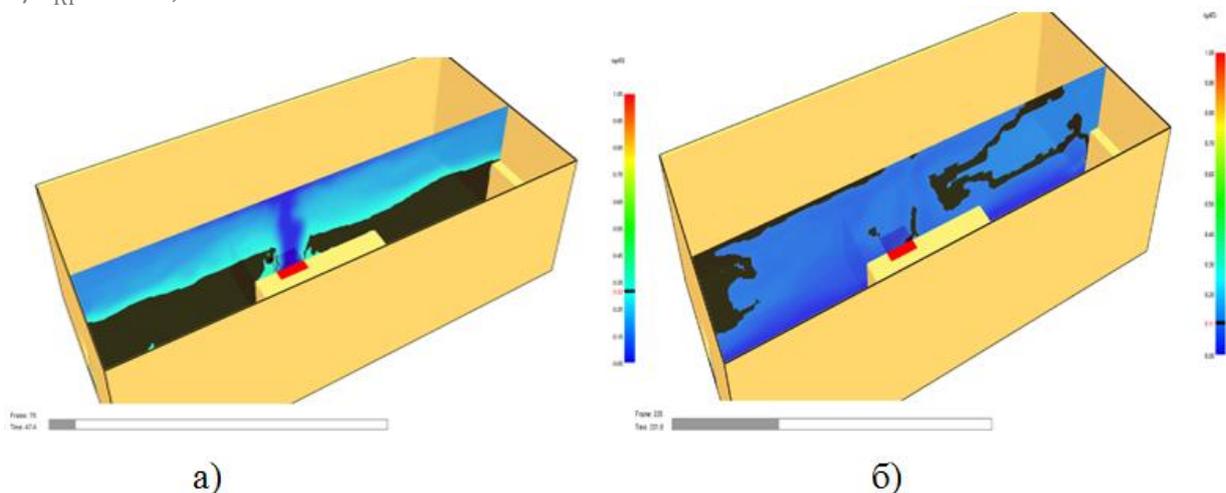


Рис. 3. Время достижения критических значений ОФП по: а) $\tau_{\text{КР}}^{\text{O}_2} = 47,4$ сек; б) $\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}_2} = 201$ сек

Fig. 3. Time to reach critical RPP values according to: а) $\tau_{\text{КР}}^{\text{O}_2} = 47,4$ sec.; б) $\tau_{\text{КР}}^{\text{CO}_2} = 201$ sec

Для моделирования эвакуации персонала был применена программа Pathfinder. Время эвакуации составило ($\tau_{\text{ЭВ}} = 40,9$ с) (рис. 4). Поэтому по ОФП

из-за пониженной видимости в дыму персонал не успеет покинуть помещение ($40,2$ с < $40,9$ с). По другим ОФП время блокирования больше времени эвакуации персонала [10].

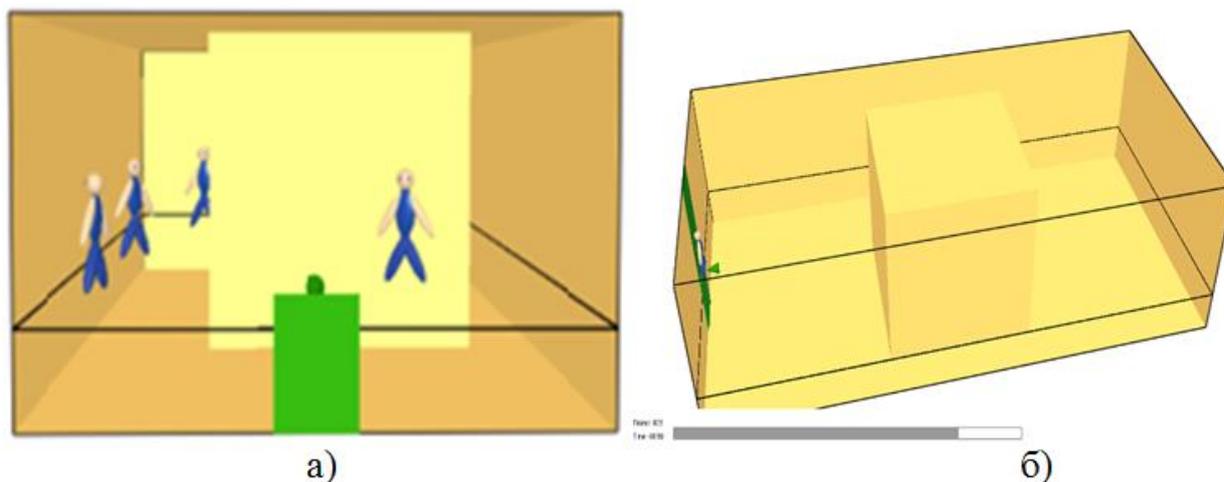


Рис. 4. Время эвакуации: а) начала; б) окончания
Fig. 4. Evacuation time: a) beginning; b) ending

Расчет, выполненный по приказу МЧС России № 404 вручную, показал большие трудности в выборе исходных данных, их большом количестве, интервальной оценки, в некоторых случаях неопределенности и неадекватности получаемых результатов.

В то же время компьютерное моделирование на основе апробированных программ показало качество выполняемых расчетов, их наглядность, достоверность, понятность для лица, принимающего решение (ЛПР).

По методике, описанной в формуле П5.1 [7], полученное значение ($\tau_{\text{бл}}$) используется в выражении (6), а для нахождения потенциального риска в помещении (формула 3) через величины: условной вероятности поражения человека (формула 4); вероятности эвакуации – $P_{\text{э}}$ (формула 5) через значение вероятности эвакуации по эвакуационным путям – $P_{\text{э.п.}}$ (формула 1):

$$P_{\text{э.п.}} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot \tau_{\text{бл}} - t_p}{\tau_{\text{н}}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}} < t_p + \tau_{\text{н}} \\ 0,999, & \text{если } t_p + \tau_{\text{н}} \leq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}} \\ 0,001, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}} \end{cases} \quad (1)$$

Однако в действующем в настоящее время приложении 2 выражение для нахождения $P_{\text{э.п.}}$ (формула 5) записано в следующем виде, (формула 2) [11].

$$P_{\text{э.п.}} = \begin{cases} \frac{\tau_{\text{бл}} - t_p}{\tau_{\text{н}}}, & \text{если } t_p < \tau_{\text{бл}} < t_p + \tau_{\text{н}} \\ 0,999, & \text{если } t_p + \tau_{\text{н}} \leq \tau_{\text{бл}} \\ 0, & \text{если } t_p \geq \tau_{\text{бл}} \end{cases} \quad (2)$$

В вышедшем приказе № 1140 МЧС России представлено другое соотношения для определения величины $P_{\text{э.п.}}$ [12]. Проанализируем действие данных соотношений при следующих исходных данных: $\tau_{\text{э.в.}} = 40,9$ с; $\tau_{\text{н}} = 5 + 0,01 \cdot 252,52 = 7,52$ мин (таблица), на примере реальной ($\tau_{\text{бл}} = 40,2$ с) и взятых абстрактных значений ($\tau_{\text{бл}} = 60$ с) и ($\tau_{\text{бл}} = 9$ мин).

Видно, что значения $P_{\text{э.п.}}$, рассчитанные по трем действующим НД, отличаются друг от друга, особенно это проявляется при ($\tau_{\text{бл}} = 9$ мин). В итоге это влияет на величину потенциального и в конечном итоге на значение индивидуального пожарного риска.

Выводы

Ручной способ (на основе интегральной модели) загроубляет значения всех видов ОФП. Результат расчета на основе полевой (дифференциальной) модели с помощью компьютерных технологий лучше сходится с результатами натуральных экспериментов и реальных пожаров, попавших в объектив видеокamer.

Таблица 1.
Результаты расчета
Table 1.
Calculation results

Нормативные доку- менты (НД) Regulatory documents (RD)		Показатели Indicators					
		$\tau_{\text{бл, С}}$ $\tau_{bl, S}$	$P_{\text{Эп}}$ P_{EP}	$\tau_{\text{бл, С}}$ $\tau_{bl, S}$	$P_{\text{Эп}}$ P_{EP}	$\tau_{\text{бл, МИН}}$ $\tau_{bl, min}$	$P_{\text{Эп}}$ P_{EP}
ГОСТ 12.1.004-91 Gost 12.1.004-91		40,2	0	60	0,04233	9	0,999
Приказы МЧС Рос- сии Orders of the Ministry of Emer- gency Situa- tions of Russia	№ 404		0,001		0,01574		0,8668
	№ 1140		0		0,01572		0,8659

Различие в численных значениях объясняется использованием разных моделей расчета ОФП (в программе применяется полевой метод).

Пространственная визуализация вместе с количественным анализом позволяют наглядно представить динамику развития пожара, оценить влияние ОФП на исход эвакуации. С помощью трехмерной визуализации ОФП в помещении позволяет ЛПР определить основные этапы данного процесса и применять ее для принятия наилучшего варианта по безопасной эвакуации людей.

Таким образом, целесообразно:

- скорректировать аналитические выражения для определения основных величин по расчету пожарных рисков;
- оперативно подготовить новое пособие по применению проекта приказа

«Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», вводимого в действие с 01.09.2024, вместо действующего в настоящее время приказа МЧС России № 404, в котором будут содержаться рекомендации по использованию апробированных, современных, хорошо зарекомендованных компьютерных программ.

С помощью математического моделирования с использованием компьютерных технологий можно наглядно увидеть процесс распространения ОФП с течением времени. Предложить рекомендации для увеличения уровня пожарной безопасности и снижения материального ущерба.

Список источников

1. Колеров Д. А. Компьютерное моделирование определения индивидуального риска работника лакокрасочного предприятия // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР). 2021. М., с. 158–161.
2. Куватов В. И., Горбунов А. А., Колеров Д. А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Вестник

Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2022. № 2. С. 116–124.

3. Валиуллина Р. А., Аминова Л. Р., Шарафутдинов А. А. Трехмерное моделирование в задачах расчёта и визуализации распространения опасных факторов пожара при оценке пожарных рисков // Нефтегазовое дело. 2021. № 4. С. 4–21.

4. Федоренко Е. А., Нормов Д. А., Драгин В. А. Прогнозирование опасных факторов пожара и экспертиза взрывопожарной безопасности деревообрабатывающего предприятия : монография. Краснодар, 2015. 127 с.

5. Трунева В. А. Совершенствование методов определения расчётного времени блокирования эвакуационных путей опасными факторами пожара // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 1 (59). С. 77–82.

6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения / А. Н. Баратов и др. М., 1990. 496 с.

7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 : с изменениями и дополнениями.

8. Воронин С. В., Скрипник И. Л. Моделирование опасных факторов пожара с использованием монтажа ячеистого настила // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов. Иваново, 2018. С. 105–109.

9. Применение компьютерного моделирования для расчета индивидуального риска на примере окрасочного производства / И. Л. Скрипник и др. // Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 4. С. 5–12.

10. Скрипник И. Л. Расчет параметров опасных факторов пожара и безопасной эвакуации из помещения насосной // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. СПб., 2019. С. 77–80.

11. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140.

References

1. Kolerov D. A. Computer modeling of determining the individual risk of an employee of a paint and varnish enterprise. Collection of proceedings of the Scientific Research Competition (R&D Competition): Materials of the Youth Program of the 25th International Specialized Exhibition and Forum "Occupational Safety and Health" BIOT-2021; 158–161. (rus).

2. Kuvatov V.I., Gorbunov A.A., Kolerov D.A. Method of intellectual support of management decisions using associative connections when forecasting emergency situations. Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2022; 2: 116–124. (rus).

3. Valiullina R. A., Amineva L. R., Sharafutdinov A. A. Three-dimensional modeling in problems of calculation and visualization of the spread of fire hazards when assessing fire risks. Electronic scientific journal Oil and Gas Business. 2021; 4: 4–21. DOI 10.17122/ogbus-2021-4-4-21. (rus).

4. Fedorenko E. A., Normov D. A., Dragin V. A. Forecasting hazardous fire factors and examination of fire and explosion safety of a woodworking enterprise. NCOU VPO "Kuban Socio-Economic Institute". 2015; 127. ISBN 978-5-91276-116-4. (rus).

5. Truneva V. A. Improving methods for determining the estimated time of blocking evacuation routes by dangerous fire factors. Technosphere Safety Technologies. 2015; 1(59): 77–82. (rus).

6. Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing agents: Reference. ed.: in 2 books / A.N. Baratov, A.Ya. Korolchenko, G.N. Kravchuk et al. Moscow, Chemistry, 1990; 496. (rus).

7. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10, 2009 No. 404 "On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk at production facilities" (with amendments and additions). (rus).

8. Voronin, S.V. Skripnik I.L. Modeling of fire hazards using the installation of cellular flooring. Current issues in improving engineering systems for ensuring fire safety of objects: collection of materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ivanovo Fire and Rescue Academy State Fire Service EMERCOM of Russia, 2018; 105–109. (rus).

9. Skripnik I.L., Marchenko M.A., Kolerov D.A., Isembulatov A.S. Application of computer modeling to calculate individual risk using the example of painting production. Scientific-analytical journal. Natural and man-made risks (Physical, mathematical and applied aspects). 2017; 4: 5–12. (rus).
10. Skripnik I.L. Calculation of parameters of fire hazards and safe evacuation from the pump room. Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of implementation in production: a collection of scientific articles of the third international scientific conference. 2019; 77–80. (rus).
11. GOST 12.1.004-91. System of occupational safety standards. Fire safety. General requirements Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 14, 2022 No. 1140 “On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard.” (rus).

Информация об авторах

Скрипник Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149; РИНЦ ID: 970943; Scopus Author ID: 57210910552; ORCID: 0000-0001-6319-5413; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru

Дементьев Фёдор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149; РИНЦ ID: 814205; ORCID: 0000-0003-1853-3001; e-mail: dementyev.f@igps.ru

Савельев Дмитрий Вячеславович, кандидат военных наук, доцент, начальник кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149; РИНЦ ID: 426114; ORCID: 0000-0001-7912-8864; e-mail: savelev.d@igps.ru

Information about the authors

Igor L. Skripnik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moskovsky Prospekt, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 970943; Scopus Author ID: 57210910552; ORCID: 0000-0001-6319-5413; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru

Fedor A. Dementyev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Associate Professor, Department of forensics and engineering and technical examinations, St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moskovsky Prospekt, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 814205; ORCID: 0000-0003-1863-3001; e-mail: dementyev.f@igps.ru

Dmitry V. Saveliev, Candidate of Military Sciences, Associate Professor Head, Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moskovsky Prospekt, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 426114; ORCID: 0000-0001-7912-8864; e-mail: savelev.d@igps.ru

Булатов Вячеслав Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, д. 149; РИНЦ ID: 974531; ORCID: 0000-0002-4907-1024; e-mail: 79112231238@yandex.ru

Vyacheslav O. Bulatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of forensics and engineering and technical examinations n, St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moskovsky Prospekt, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 974531; ORCID: 0000-0002-4907-1024; e-mail: 79112231238@yandex.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS

УДК 502.45

ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ГРОЗ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**Холопцев Александр Вадимович^{1,2}, Шубкин Роман Геннадьевич¹,
Проскова Наталья Юрьевна¹**¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия² Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», г. Севастополь, Россия**АННОТАЦИЯ**

Ландшафтные пожары являются актуальной проблемой современности. В России вопрос предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обусловленных лесными пожарами, наиболее остро ежегодно стоит перед сибирскими регионами. Одной из причин их возникновения на территории Красноярского края являются грозы, однако изменения их повторяемости над различными его районами в современном периоде ранее не исследовались. Последнее не позволяет учесть этот фактор при планировании деятельности соответствующих подразделений Государственной противопожарной службы и «Государственной лесной охраны». В статье проверена справедливость выдвинутой авторами гипотезы о том, что в период 1961–2020 гг. климатические нормы повторяемости гроз за летний сезон, а также все его месяцы над различными районами территории Красноярского края значительно увеличились. Оценены также значения средней повторяемости гроз и тенденции их изменений для всех пунктов территории края, где в последние годы осуществлялся их систематический мониторинг. Установлено, что в целом за упомянутый период повторяемость гроз над всей территорией края увеличилась, однако в современном периоде на исследуемой территории существовали также участки, где повторяемость гроз снижалась, что могло вызывать снижение рисков возникновения ландшафтных пожаров.

Ключевые слова: Красноярский край, ландшафтный пожар, грозы, повторяемость, тенденция, распределение, современный период

CHANGES IN THE FREQUENCY OF THUNDERSTORMS OVER THE TERRITORY OF THE KRASNOYARSK TERRITORY WITH MODERN CLIMATE WARMING**Alexander V. Kholoptsev^{1,2}, Roman G. Shubkin¹, Natalia Y. Proskova¹**¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, Zheleznogorsk, Russia

² Sevastopol Branch of the State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

Landscape fires are an urgent problem of our time. In Russia, the issue of prevention and elimination of emergency situations caused by forest fires is most acute annually in Siberian regions. One of the reasons for the occurrence of landscape fires on the territory of the Krasnoyarsk Territory are thunderstorms, however, changes in their recurrence over its various areas in the modern period have not previously been studied. The latter does not allow taking this factor into account when planning the activities of the relevant units of the State Fire Service and Forest Protection. The article tested the validity of the hypothesis put forward by the authors that in the period 1961-2020. climatic norms for the recurrence of thunderstorms for the summer season, as well as all its months, have significantly increased over various areas of the territory of the Krasnoyarsk Territory. The values of the average frequency of thunderstorms and the tendency of their changes for all points of the territory of the region, where their systematic monitoring was carried out in recent years, were also assessed. It was established that in general, during the mentioned period, the frequency of thunderstorms over the entire territory of the region increased, however, in the modern period there were also areas where the recurrence.

Keywords: Krasnoyarsk Territory, landscape fire, thunderstorms, repeatability, trend, distribution, modern period

Введение

Грозы относятся к числу опасных природных явлений, которые способны вызывать гибель людей и животных, а также ландшафтные пожары (далее – ЛП) и аварии на техногенных объектах. Поэтому оценка средних значений и тенденций изменений их повторяемости (далее – ПГ) над территориями различных регионов мира, которые вероятны при тех или иных сценариях дальнейших перемен климата, является актуальной проблемой физической географии, а также безопасности при чрезвычайных ситуациях (далее – ЧС).

Наибольший интерес ее решение представляет для регионов, обладающих высоким потенциалом своего социально-экономического развития, поскольку последнее может быть устойчивым лишь при условии неуклонного повышения эффективности функционирующих в них систем

профилактики и ликвидации ЧС. В России одним из таких регионов является Красноярский край.

Красноярский край занимает 13,86 % территории России и находится в центральной ее части практически на равном удалении от восточной и западной границ, простираясь с севера на юг на 3 000 км, включая значительные части бассейнов ее крупнейших и судоходных рек Енисея и Оби.

Перспективы дальнейшего интенсивного развития экономики Красноярского края определяются не только выгодным географическим положением его территории, но и наличием в его недрах богатейших запасов полезных ископаемых [1]. В структуре добычи полезных ископаемых края более 80 % приходится на добычу нефти и природного газа, на добычу металлических руд приходится более 10,0 %, на добычу угля – 3 %. На территории края

открыто 25 весьма перспективных месторождений углеводородов [2, 3].

На территориях северных районов края – Таймырского Долгано-Ненецкого и Эвенкийского – обнаружены важнейшие месторождения металлических руд [1], содержащие более 95% всех российских запасов никеля и платиноидов. Канско-Ачинский и Тунгусский бассейны обладают крупнейшими в России запасами каменного угля. Одним из крупнейших в мире является Горевское месторождение свинца, вмещающее 42% всех его запасов в России. На территории края ведется добыча железной и марганцевой руды, апатита, бокситов и урана. Вследствие этого в Красноярском крае повышенными темпами развивается промышленность, а уровень жизни его населения превосходит средний по России [4].

Значительную роль в развитии экономики края играют его лесные ресурсы. Площадь лесного фонда Красноярского края составляет 168,1 млн га. Леса покрыва-

ют 71,02 % территории края. Запасы промышленной древесины в них оцениваются в 14,4 млрд м³, что составляет 18 % от ее общероссийских запасов [5].

Одним из факторов, сдерживающих устойчивое развитие экономики Красноярского края, являются ЛП, возникающие на его территории в основном в месяцы с апреля по октябрь [6, 7], при этом риски, связанные с их возникновением в XXI веке, с течением времени увеличиваются [8, 9]. Об этом свидетельствуют изменения общего количества ЛП, возникавших за год на территории края, и площадей участков, пройденные огнем, показанные, согласно информации [10] на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в изменениях обеих рассматриваемых характеристик, происходивших в течение XXI века, проявлялись тенденции к их увеличению, а в спектрах этих процессов присутствовали квазидвухлетние составляющие, что указывает на существенное влияние на них метеорологических факторов.

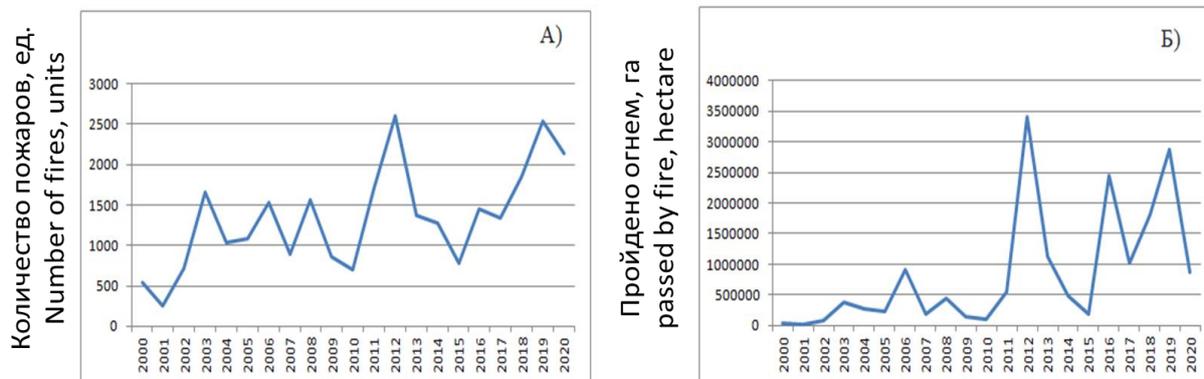


Рис. 1. Изменения в XXI веке на территории Красноярского края:

А) количества ландшафтных пожаров, возникавших за год; Б) площади его территории, пройденной огнем за год

Fig. 1. Changes in the 21st century in the territory of the Krasnoyarsk Krai:

A) the number of landscape fires that occurred over the year; B) the area of its territory covered by fire in a year

Одним из таких факторов могут являться грозы, которые возникают на территории Красноярского края в период с мая по сентябрь, но наиболее часто в летние месяцы.

Согласно существующим представлениям о механизмах образования гроз [6, 11, 12], эти явления возникают в кучеводждевых облаках Сб, которые встречаются на катафронтах и в передних секторах

циклонов на стадии максимального развития. Они возможны, если в таких облаках происходит конвекция и присутствует вода, пребывающая в жидком агрегатном состоянии [13, 14, 15]. При потеплении местного климата значения ПГ, как правило, повышаются [13, 17 – 20].

В конце XX – начале XXI века на территории Красноярского края происходило значимое потепление климата [9, 16]. Последнее позволяет предположить, что за это время ПГ над территорией края могла увеличиться.

Будущее не предопределено, тем не менее один из наиболее вероятных его сценариев предполагает, что современное потепление климата в изучаемом регионе продолжится. При его осуществлении, вполне вероятно, что распределения по территории края средних значений ПГ, а также тенденций их временной изменчивости в будущем останутся подобными распределениям тех же показателей для современного периода. Вследствие этого оценка средних значений ПГ и современных тенденций изменений этого показателя ПГ для различных частей территории Красноярского края представляет существенный теоретический и практический интерес.

Наибольший интерес представляют оценки средних значений ПГ, а также тенденций их временной изменчивости, которые соответствуют всему современному климатическому периоду (1991–2020 гг.), а также последнему отрезку предыстории изучаемого процесса, для которого наблюдения осуществлялись во всех репрезентативных пунктах.

Мониторинг атмосферных процессов на территории края осуществляют многочисленные гидрометеорологические станции Красноярского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, входящего в состав Средне-сибирского УГМС. Тем не менее в период 2012 – 2023 гг. непрерывный

мониторинг грозовой активности над изучаемым регионом осуществляли лишь гидрометеорологические станции, указанные в таблице 1 [21].

Как видно из табл. 1, гидрометеорологические станции, где в 2012–2023 гг. осуществлялся мониторинг грозовой активности, расположены в районах Красноярского края, относящихся ко всем его природным зонам. Наиболее продолжительные ряды таких наблюдений, соответствующие периоду 1961–2023 гг., получены в пунктах Байкит, Ванавара, Енисейск и Хатанга. Учитывая особенности расположения указанных пунктов, а также возможность оценки для них значений изучаемых характеристик, они рассматривались как репрезентативные. Тем не менее ранее упомянутые характеристики для этих пунктов определены не были, что не позволяет учитывать их значения при разработке планов основных мероприятий подразделений ГПС, действующих на территории Красноярского края.

Учитывая изложенное, цель данной работы состояла в проверке выдвинутого предположения и оценке перечисленных характеристик изменений ПГ, которые в период современного потепления климата имели место для репрезентативных пунктов территории Красноярского края.

Для ее достижения для указанных репрезентативных пунктов решены следующие задачи.

Оценка для всех репрезентативных пунктов края значений климатических норм ПГ [22] (далее – КН ПГ) для месяцев с июня по август, а также для всего летнего сезона, которые соответствуют современному климатическому периоду (1991–2020 гг.), а также тенденций их изменения по отношению к базовому климатическому периоду (1961–1990 гг.).

Оценка средних значений ПГ над теми же пунктами края для периода 2012–2023 гг., а также тенденций их изменения.

Таблица 1

Гидрометеорологические станции на территории Красноярского края, где мониторинг грозовой активности осуществлялся в 2012–2023 гг.

Table 1

Hydrometeorological stations in Krasnoyarsk Krai, where thunderstorm activity was monitored in 2012-2023.

Название пункта Name of location point	Широта (с. ш.) Latitude (N)	Долгота (в. д.) Longitude (E)	Название пункта Name of location point	Широта (с. ш.) Latitude (N)	Долгота (в. д.) Longitude (E)
Караул Karaul	70,16	83,13	Байкит Baikit	61,66	96,36
Норильск Norilsk	69,33	88,10	Ванавара Vanavara	60,33	102,26
Хатанга Khatanga	71,98	102,45	Кислокан Kislokan	63,60	103,98
Потاپово Potapovo	68,70	87,26	Тура Tura	64,26	100,23
Боготол Bogotol	56,23	89,58	Енисейск Yeniseisk	58,45	92,15
Канск Kansk	56,20	95,68	Минусинск Minusinsk	53,70	91,70

Материалы и методы

Значение ПГ принято определять, как отношение количества суток, принадлежащих к изучаемому отрезку времени, в течение которых над изучаемой территорией были выявлены грозы, к его общей продолжительности.

Как характеристика тенденции изменения климатических норм КН ПГ рассматривалось значение: $\Delta = \text{КН ПГ}_{(1991-2020 \text{ гг.})} - \text{КН ПГ}_{(1961-1990 \text{ гг.})}$ [22].

Как характеристика тенденции изменений ПГ в период 2012–2023 гг. использовалось значение углового коэффициента линейного тренда временного ряда этого показателя, который был сглажен в скользящем окне такой минимальной длительности, при которой достоверность статистического вывода о его значимости превышала 0,95.

Учитывая это, при решении указанных задач как фактический материал

учитывалась информация об изменениях ПГ в репрезентативных пунктах Красноярского края.

Для получения представления об устойчивости полученных оценок, их значения для рассматриваемых пунктов сопоставлялись со значениями аналогичных показателей, которые определены для прочих пунктов на территории края, указанных в табл. 1.

Упомянутая информация получена из [21]. Она представляет собой сведения о датах, относящихся к тому или иному году из указанного выше периода, в которые над соответствующими пунктами происходили грозы.

Методика решения первой задачи предполагала вычисление для каждого репрезентативного пункта значений КН ПГ для современного климатического периода, а также значений Δ для месяцев июнь – август и всего летнего сезона.

Методика решения второй задачи включала два этапа.

На первом этапе определялась минимальная длительность (T) скользящего окна, при которой оценка углового коэффициента линейного тренда (УКЛТ) сглаженного при таком окне временного ряда ПГ за 2012 – 2023 гг. являлась значимой.

Решение о значимости такой оценки принималось, если достоверность подобного статистического вывода превышала 0,95.

При оценке значимости предполагалось, что отклонение зависимости от времени ПГ (t), от соответствующего по времени t значения ее линейного тренда, подчиняется нормальному закону. Поэтому упомянутое решение принималось, если:

$$(12 - T + 1) \text{УКЛТ} > 1,65\text{СКО},$$

где СКО – среднеквадратическое отклонение разности ПГ (t) и соответствующего значения линейного тренда сглаженного ряда ПГ (при выбранной длине скользящего окна T).

Для определения T производился метод перебора в пределах от 1 до 9.

На втором этапе с использованием сглаженных временных рядов ПГ вычислялись средние значения этого показателя,

а также значения УКЛТ для тех же месяцев и сезона в целом, соответствующие всем пунктам, указанным в таблице 1.

Как следует из рассмотренной методики, справедливость допущения о нормальности закона, которому подчиняются отклонения значений ПГ (t) от соответствующих значений линейного тренда каждого изучаемого временного ряда, не проверялось (так как малая длина этого ряда не позволяла подобное осуществить). Поэтому получаемые с ее применением результаты следует рассматривать как носящие качественный характер.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с изложенной методикой для всех репрезентативных пунктов на территориях изучаемых районов Красноярского края сформированы временные ряды, отражающие межгодовые изменения значений ПГ для месяцев июнь – август, а также за весь летний сезон.

Как пример, на рис. 2 приведена зависимость от времени значений ПГ в пункте Байкит, соответствующих всему летнему сезону.



Рис. 2. Изменения значений ПГ за летний сезон для пункта Байкит

Fig. 2. Changes in RT values over the summer season for Baikit point

Из рис. 2 видно, что зависимость от времени значений ПГ за летний сезон для пункта Байкит представляет собой сложное колебание, которое наложено на возрастающий тренд. Преобладающей модой в спектре этого колебания является квазидвухлетняя.

Обусловленные ею межгодовые изменения ПГ весьма велики, вследствие чего оценки УКЛТ рассматриваемого ряда ПГ, вычисленные за 2012–2023 гг. (при $T = 1$), значимыми с выбранной достоверностью признаны быть не могут.

Аналогичными свойствами обладают рассматриваемые зависимости и для прочих репрезентативных пунктов Красноярского края.

Полученные при решении первой задачи для всех репрезентативных пунктов

оценки КН ПГ за летний сезон для различных климатических периодов представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, в изменениях КН ПГ для всего летнего сезона, за период современного потепления климата, во всех репрезентативных пунктах Красноярского края преобладали значимые тенденции к увеличению рассматриваемых показателей. При этом наибольшие значения КН ПГ для современного климатического периода соответствуют п. Енисейск, расположенному в центральной части территории Красноярского края, а ее наименьшие значения выявлены для п. Хатанга, находящегося за Полярным кругом.

Таблица 2

Оценки значений КН ПГ за летний сезон для различных климатических периодов, соответствующие различным репрезентативным пунктам Красноярского края

Table 2

Estimates of values of climatic norm of thunderstorms recurrence for the summer season for different climatic periods corresponding to different representative points of Krasnoyarsk Krai

Летний сезон (июнь – август) Summer season (June – august)				
Климатический период Climate period	Хатанга Khatanga	Ванавара Vanavara	Байкит Baikit	Енисейск Yeniseisk
1961–1990гг.	0,0042	0,0240	0,0162	0,0389
1971–2000гг.	0,0043	0,0205	0,0164	0,0425
1981–2010гг.	0,0057	0,0202	0,0189	0,0447
1991–2020гг.	0,0066	0,0297	0,0269	0,0489
Δ	0,002	0,0057	0,0107	0,0100

В табл. 3 приведены оценки значений КН ПГ за тот или иной месяц летнего сезона для различных климатических периодов и всех репрезентативных пунктов края.

Как видно из табл. 3, значения КН ПГ для каждого месяца летнего сезона,

соответствующие всем репрезентативным пунктам, для современного климатического периода существенно превосходят их значения для базового периода (1961 – 1990 гг.), что свидетельствует о наличии для них тенденций к повышению КН ПГ.

Таблица 3

Оценки значений КН ПГ за тот или иной месяц летнего сезона для различных климатических периодов и всех репрезентативных пунктов Красноярского края.

Table 3

Estimates of values of climatic norms of thunderstorm recurrence for one or another month of the summer season for different climatic periods and all representative points of Krasnoyarsk Krai

Климатический период Climate period	Хатанга Khatanga			Байкит Baikit		
	июнь june	июль july	август august	июнь june	июль july	август august
1961–1990 гг.	0,0029	0,0025	0,0007	0,014	0,020	0,009
1971–2000 гг.	0,0036	0,0032	0,0011	0,016	0,024	0,009
1981–2010 гг.	0,0043	0,0036	0,0014	0,017	0,025	0,010
1991–2020 гг.	0,0044	0,0036	0,0022	0,022	0,038	0,015
Δ	0,0015	0,0011	0,0015	0,008	0,018	0,006
Климатический период Climate period	Ванавара Vanavara			Енисейск Yeniseisk		
	июнь june	июль july	август august	июнь june	июль july	август august
1961–1990 гг.	0,024	0,029	0,019	0,034	0,049	0,034
1971–2000 гг.	0,022	0,025	0,016	0,042	0,054	0,032
1981–2010 гг.	0,021	0,028	0,014	0,045	0,058	0,031
1991–2020 гг.	0,036	0,037	0,021	0,047	0,063	0,037
Δ	0,012	0,008	0,002	0,007	0,014	0,003

Для пункта Хатанга, расположенного, как видно из табл. 1, в Арктической зоне, для любого рассматриваемого месяца значения КН ПГ значительно (почти на порядок) меньше, чем для прочих репрезентативных пунктов, находящихся южнее. Для пунктов края, расположенных вне Арктической зоны, темпы увеличения КН ПГ, соответствующие июню и июлю, существенно выше, чем для августа.

При решении второй задачи установлено, что минимальная длина скользя-

щего окна, при которой для многих пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1, тенденции сглаженных межгодовых изменений ПГ (для всего летнего сезона и любого его месяца), в период 2012 – 2023 гг., с достоверностью не менее 0,95, являются значимыми, равна 5 годам.

Зависимости от года начала такого окна, усредненных по нему значений ПГ для всех репрезентативных пунктов, которые соответствуют всему летнему сезону, приведены на рис. 3.

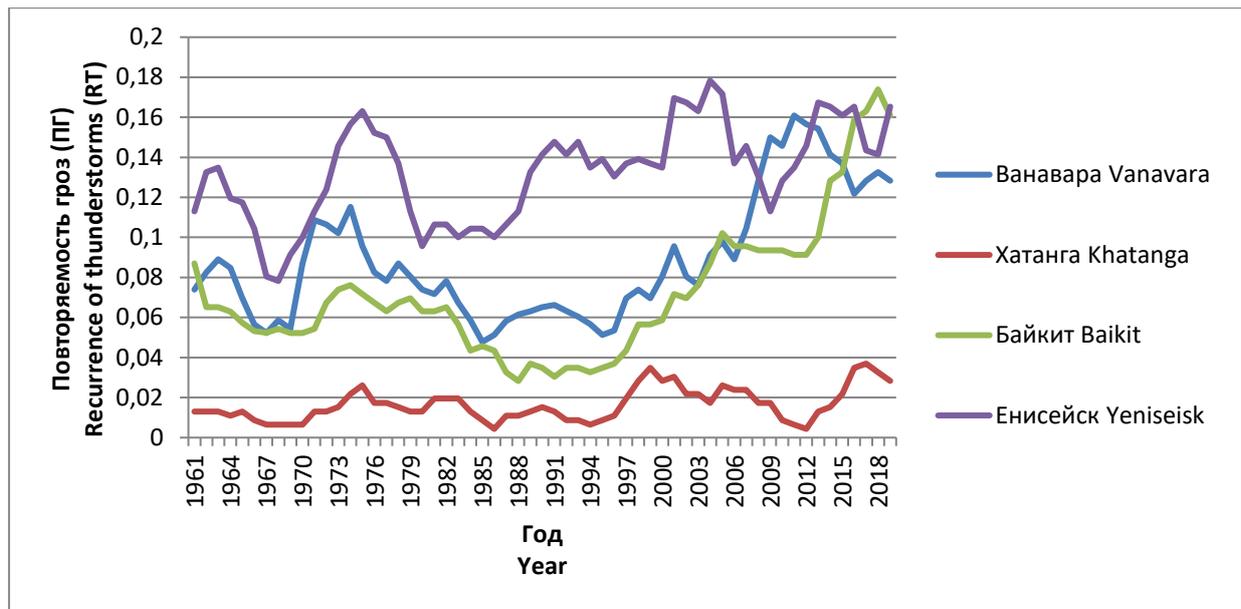


Рис. 3. Зависимости от года начала скользящего окна длиной 5 лет усредненных по нему значений ПГ, оцененных за летний сезон для всех репрезентативных пунктов Красноярского края

Fig. 3. Dependence on the year of the beginning of the sliding window with a length of 5 years of average RT values, estimated for the summer season for all representative points of the Krasnoyarsk Krai

Из рис. 3 следует, что в зависимости от года начала скользящего окна длиной 5 лет усредненных по нему (сглаженных) значений ПГ для всех репрезентативных пунктов, которые оценены за летний сезон, присутствуют возрастающие тренды.

В период после 2008 г. различия между графиками, соответствующими репрезентативным пунктам, находящимся вне арктической зоны, существенно меньше, чем в предыдущий период. Последнее соответствует представлениям [15], согласно которым при потеплении климата термический режим территорий Красноярского края, расположенных вне арктической зоны, в летние месяцы становится более однородным.

Следует отметить различие участков изучаемых зависимостей, которые

соответствуют периоду времени 2012 – 2023 гг. В то время как для п. Байкит, Енисейск и Хатанга на указанном отрезке времени преобладали значимые тенденции к увеличению сглаженных значений ПГ, для п. Ванавара в изменениях тех же показателей имел место значимый убывающий тренд.

Из этого следует, что для других пунктов изучаемых районов значимые тенденции межгодовых изменений сглаженных значений ПГ для всего летнего периода и различных его месяцев могут существенно различаться.

Как показали расчеты, подобное предположение вполне справедливо. На рис. 4 представлена зависимость от широты средних значений ПГ, которые оценены за летний сезон для всех пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1.

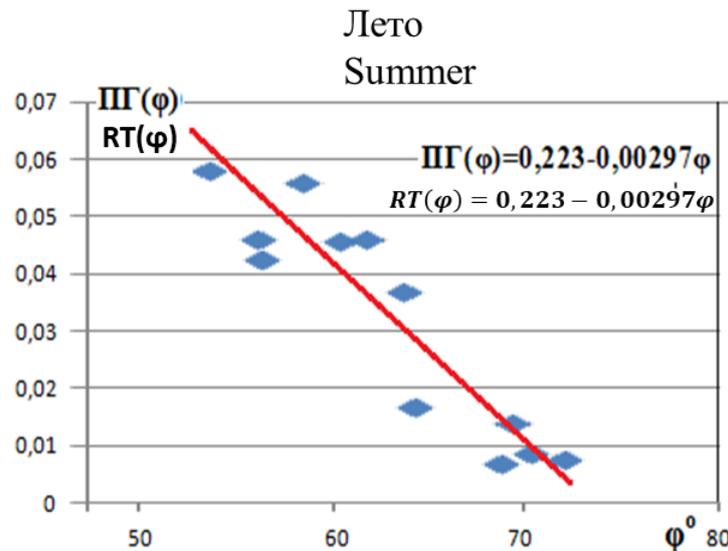


Рис. 4. Зависимость от широты (φ) средних значений ПГ(φ), которые оценены за весь летний сезон для пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1
Fig. 4. Dependence on the latitude (φ) of the average RT (φ) values, which are estimated for the entire summer season for the points of the Krasnoyarsk Krai indicated in Table 1

Из рис. 4 понятно, что для рассматриваемых пунктов Красноярского края средние значений ПГ, которые оценены за летний сезон, существенно зависят от их широты. Характер этой зависимости может быть описан соотношением:

$$\text{ПГ}(\varphi) = 0,223 - 0,00297\varphi.$$

Коэффициенты этого уравнения определялись с учетом одних лишь пунктов Красноярского края, являющиеся репрезентативными.

Как видно из рис. 4, это же соотношение удовлетворительно описывает зависимость ПГ (φ) и для пунктов территории края, которые при определении его коэффициентов не учитывались. Последнее свидетельствует об устойчивости выявленной закономерности и позволяет предположить ее пригодность

для оценки ПГ для других пунктов территории Красноярского края.

На рис. 5 представлены зависимости от широты средних значений ПГ, которые оценены за тот или иной месяц летнего сезона для рассматриваемых пунктов Красноярского края.

Рисунок 5 свидетельствует о том, что для рассматриваемых пунктов Красноярского края, средние значений ПГ, которые оценены для того или иного летнего месяца, существенно зависят от их широты. Упомянутые зависимости могут быть описаны соотношениями:

$\text{ПГ}(\varphi) = 0,111 - 0,00215\varphi^\circ$ для июня;

$\text{ПГ}(\varphi) = 0,147 - 0,00391\varphi^\circ$ для июля;

$\text{ПГ}(\varphi) = 0,086 - 0,00268\varphi^\circ$ для августа.

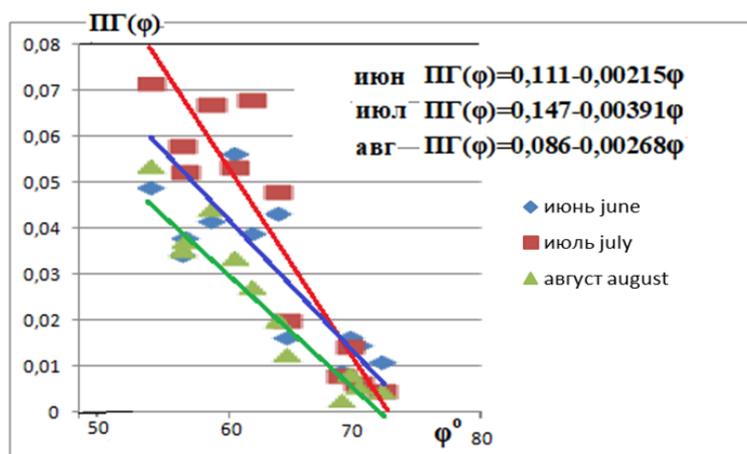


Рис. 5. Зависимости от широты (ϕ) средних значений ПГ в пунктах северной части территории Красноярского края, оцененных за 2012–2023 гг.

Fig. 5. Dependence on the latitude (ϕ) of average RT values at the points of the northern part of the territory of the Krasnoyarsk Krai estimated for 2012–2023

Коэффициенты этих уравнений, как и для соотношения, соответствующего всему летнему сезону, определялись с учетом одних лишь пунктов Красноярского края, являющихся репрезентативными.

Рисунок 5 позволяет заключить, что это же соотношение удовлетворительно описывает зависимость ПГ(ϕ) и для пунктов территории края, которые при определении его коэффициентов не учитывались. Последнее позволяет предположить пригодность полученных уравнений для оценки ПГ для других пунктов территории Красноярского края.

Аналогичных зависимостей средних значений ПГ в пунктах Красноярского края от их долготы не выявлено.

В табл. 4 для всех рассматриваемых пунктов территории Красноярского края представлены оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ над ними за летние сезоны 2012–2023 гг.

Из табл. 4 видно, что значения УКЛТ изучаемых временных рядов от широты рассматриваемого пункта не зависят. При этом для пунктов Минусинск, Канск, Байкит, Тура, Норильск и Хатанга значения ПГ за 2012–2023 гг. значительно возрастали.

Для пунктов Ванавара и Потапово они значительно снижались, а для пунктов Боготол, Енисейск, Кислокан и Караул эти показатели значимыми не являлись. Следовательно, распределение по территории Красноярского края тенденций межгодовых изменений ПГ для летнего сезона носит интразональный, очаговый характер.

В табл. 5 для тех же пунктов территории Красноярского края представлены оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ над ними за различные летние сезоны 2012–2023 гг.

Из табл. 5 следует, что значения УКЛТ рассматриваемых временных рядов от широты изучаемого пункта не зависят. При этом наибольшее количество пунктов, для которых за 2012–2023 гг. произошли значимые изменения ПГ, соответствуют месяцам июнь и июль.

Для июня ПГ значительно увеличились для пунктов Минусинск, Канск, Енисейск, Байкит, Кислокан, Тура и Хатанга. Их значимо уменьшение выявлено для пункта Потапово.

Для июля увеличение ПГ зафиксировано для пунктов Байкит, Кислокан, Тура и Норильск. При этом для пунктов Боготол,

Енисейск, Ванавара и Потапово выявлено их снижение.

Для августа значимое повышение ПГ имело место для пунктов Караул и Норильск, а для пунктов Канск и Ванавара отмечено их снижение.

Как видим, распределения по территории Красноярского края тенденций

межгодовых изменений ПГ, соответствующие всем летним месяцам, также носят очаговый характер.

Анализ полученных результатов показал, что за период современного потепления климата значения КН ПГ во всех репрезентативных пунктах Красноярского края действительно увеличились, т. е. выдвинутая гипотеза справедлива.

Таблица 4

Значимые оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ за летние сезоны 2012–2023 гг. для рассматриваемых пунктов Красноярского края (- оценка незначима)

Table 4

Significant estimates of the time series UKLT describing changes in RT for the summer seasons 2012–2023 for the considered points of the Krasnoyarsk Krai (- rating is insignificant)

Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹
Минусинск Minusinsk	0,0017	Байкит Baikit	0,0117	Караул Karaul	–
Канск Kansk	0,0033	Ванавара Vanavara	– 0,0043	Норильск Norilsk	0,0019
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	–	Потапово Potapovo	– 0,0028
Енисейск Yeniseisk	–	Тура Tura	0,0065	Хатанга Khatanga	0,0041

Таблица 5

Значимые оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ за различные месяцы летних сезонов 2012–2023 гг. для рассматриваемых пунктов Красноярского края (- оценка незначима)

Table 5

Significant estimates of the time series UKLT describing changes in RT over the various months of the summer seasons 2012–2023. For the considered points of the Krasnoyarsk Krai (- the assessment is insignificant)

Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹
Июнь / June					
Минусинск Minusinsk	0,0025	Байкит Baikit	0,0049	Караул Karaul	–
Канск	0,0041	Ванавара	–	Норильск	–

Канск		Ванавара		Норильск	
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	0,0018	Потапово Potapovo	– 0,0021
Енисейск Yeniseisk	0,0023	Тура Tura	0,0019	Хатанга Khatanga	0,0039
Июль / July					
Минусинск Minusinsk	–	Байкит Baikit	0,0051	Караул Karaul	–
Канск Kansk	–	Ванавара Vanavara	– 0,0026	Норильск Norilsk	0,0011
Боготол Bogotol	– 0,0011	Кислокан Kislokan	0,0013	Потапово Potapovo	– 0,0012
Енисейск Yeniseisk	– 0,0031	Тура Tura	0,0036	Хатанга Khatanga	–
Август / August					
Минусинск Minusinsk	–	Байкит Baikit	–	Караул Karaul	0,0013
Канск Kansk	– 0,0016	Ванавара Vanavara	– 0,0022	Норильск Norilsk	0,0019
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	–	Потапово Potapovo	–
Енисейск Yeniseisk	–	Тура Tura	–	Хатанга Khatanga	–

Средние значения ПГ за период 2012–2023 гг. существенно зависят от широты пункта территории края, для которого они оцениваются. Чем северней находится рассматриваемый пункт, тем значения этого показателя меньше.

Распределение по территории Красноярского края тенденций межгодовых изменений ПГ, оцененных за тот же период, носит островной характер. Наряду с обширными участками, где в этих изменениях присутствуют значимые возрастающие тренды, существуют и те, где значимые тренды являются убывающими. На многих участках тренды значимыми не являются.

Как следует из анализа полученных результатов, в целом они соответствуют существующим представлениям о влиянии на грозовую активность в земной атмосфере процесса потепления климата [23], а также об особенностях перемен климата различных районов

Красноярского края в 1961–2020 гг. [9, 16]. При этом существенной новизной обладают следующие факты:

1. Несмотря на то, что в целом за период 1961–2020 гг. на территории края ПГ, которая оценивалась как за весь летний сезон, так и за отдельные его месяцы, увеличивалась, в период 2012–2023 гг. подобная тенденция сохранилась не повсеместно. Распределение по его территории значений УКЛТ изучаемых процессов приобрело островной характер.

2. Значимым фактором пространственной изменчивости средних значений ПГ, вычисленных за период 2012–2023 гг., является широта пункта, для которого этот показатель оценивался. Выявленные зависимости ПГ от этого показателя, которые выявлены для репрезентативных пунктов края, сохраняются и для прочих его пунктов.

Причины выявленных закономерностей, а также особенности их влияния

на риски возникновения на территории Красноярского края ЛП нуждаются в дополнительном изучении.

Можно предположить, что одной из таких причин является наличие зависимости тенденции межгодовых изменений ПГ, проявляющейся в тех или иных пунктах края в 2012–2023 гг., не только от их широты, но также и от их долготы, а также особенностей ландшафтов соответствующей местности, ее рельефа и доминирующих фитоценозов.

Выводы

Таким образом, установлено.

1. В целом за период современного потепления климата повторяемость гроз над территорией Красноярского края повысилась, однако в период 2012 – 2023 гг. в некоторых его районах проявились противоположные тенденции.

2. Средние значения повторяемости гроз в любых пунктах Красноярского

края, оцененные за современный период для всего летнего сезона и для отдельных его месяцев, тем больше, чем южнее эти пункты расположены. Следовательно, влияние гроз на изменения рисков возникновения на территории края ландшафтных пожаров проявляется наиболее существенно в его южных районах и при дальнейшем потеплении климата может усилиться.

3. Наиболее высокие темпы увеличения повторяемости гроз при современном потеплении климата в летний сезон проявляются на территориях края, которые относятся к субарктической зоне.

Полученные результаты целесообразно учитывать при планировании основных мероприятий подразделений ГПС МЧС России, функционирующих на территории края.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шапарев Н. Я. Природные ресурсы Красноярского края // Вестник Российской академии наук. 2007. Т. 77, № 4. С. 291–300.
2. Итоги геологоразведочных работ на арктическом шельфе России в 2014–2019 гг. и перспективы проведения работ на ближайшее время / П. Н. Мельников и др. // Геология нефти и газа. 2019. № 6. С. 5–18.
3. Павленко В. И. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4 (12). С. 016–025.
4. Современный Красноярский край. URL: <http://www.krskstate.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).
5. Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В. Лесные ресурсы Красноярского края: перспективы и ограничения использования // Сибирский лесной журнал. 2021. № 4. С. 24–33.
6. Тарасов Л. В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. Долгопрудный, 2011. 277 с.
7. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes / V. G. Bondur et al. // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 492, No. 1. Pp. 370–375.
8. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М., 2004. 312 с.
9. Российская Федерация. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : общее резюме / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2014. 60 с.
10. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства : офиц. сайт. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 20.12.2023).
11. Ермаков В. И., Стожков Ю. И. Физика грозовых облаков. М., 2004. 38 с.
12. Чалмерс, Дж. А. Атмосферное электричество. Л., 1974. 421 с.
13. Базелян Э. М., Райзер Ю. П. Физика молнии и молниезащиты. М., 2001. 319 с.
14. Юман, М. А. Молния. М., 1972. 327 с.
15. Baker M. B., Dash J. G. Mechanism of charge transfer between colliding ice particles in thunderstorms // Journal of Geophysical Research. 1994. Vol. 99. Pp. 10621–10626.

16. Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 6. С. 95–107.
17. Проблемы электричества атмосферы : труды III Междунар. конференции по электричеству атмосферы и космич. пространства. Л., 1969. 362 с.
18. Prevenslik T. V. A theory for thundercloud electrification and the reduction in intensity of hurricanes and tornadoes by the supercession of lightning // *J. Meteorol.* 2001. Vol. 26, No. 258. Pp. 121–124.
19. Schroeder V., Baker M. B. Inferring selected cloud properties from satellite lightning data // *Proceedings of 11th International Conference on Atmospheric Electricity, USA, Alabama*. 1999. Pp. 276–279.
20. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров / М. А. Шешуков и др. // *Сибирский лесной журнал*. 2020. № 2. С. 14–20.
21. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира. URL: tutienpo.net/climate/ (дата обращения: 20.12.2023).
22. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО № 1203. 2017. 32 с.
23. Climate Change: The Physical Science Basis. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.

REFERENCES

1. Shaparev, N. Ya. Natural Resources of the Krasnoyarsk Territory/N. Ya. Shaparev//*Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2007; 77 (4): 291–300. (rus).
2. Melnikov P. N., Skvortsov M. B., Kravchenko M. N. et al. Results of Geological Exploration on the Arctic Shelf of Russia in 2014-2019 and Prospects for the Near Future. / *Oil and Gas Geology*. 2019; 6: 5–18. (rus).
3. Pavlenko V.I., Arctic zone of the Russian Federation in the system of ensuring the national interests of the country. *Arctic: ecology and economy*. 2013; 4 (12): 016–025. (rus).
4. Modern Krasnoyarsk Territory [Electronic Resource]. Access mode: <http://www.krskstate.ru/> (date of request: 12/20/2023). (rus).
5. Sokolov V.A. et al. Forest resources of the Krasnoyarsk Territory: prospects and restrictions of use. *Siberian Forest Journal*. 2021; 4: 24–33. DOI 10.15372/SJFS20210402. (rus).
6. Tarasov, L.V. Winds and thunderstorms in the Earth's atmosphere/L.V. Tarasov. *Dolgoprudny, Intellect*, 2011; 277. (rus).
7. Bondur V. G., Voronova O. S., Mokhov I. I., Sitnov S. A. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes. *Doklady Earth Sciences*. 2020; 492(1): 370–375. DOI 10.1134/S1028334X20050049. (rus).
8. Vorobyov Yu. L. et al. Forest fires in Russia: State and problems. Moscow, Dex-Press, 2004; 312. (rus).
9. Russian Federation. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The second assessment report of Roshydromet on climate changes and their consequences in the Russian Federation [Text]: general summary/Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). - Moscow: Roshydromet, 2014; 60. (rus).
10. Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official website. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (date of request: 12/20/2023). (rus).
11. Ermakov V.I. et al. Physics of Thunderstorm Clouds. Moscow, 2004; 38. (rus).
12. Chalmers J.A. Atmospheric Electricity. *Mat. sciences I. M. Imyanitova*. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1974; 421. (rus).
13. Bazelian EM, Reiser JP. Physics of lightning and lightning protection. Moscow, Fizmatlit, 2001; 319. (rus).
14. Youman, Martin A. Lightning. Moscow, Mir, 1972; 327. (rus).
15. Baker M.B., Dash J.G. Mechanism of charge transfer between colliding ice particles in thunderstorms. *Journal of Geophysical Research*, 1994; 99: 10621–10626.
16. Anisimov O. A., Zhiltsova E. L. On estimates of climate changes in the regions of Russia in the XX century and the beginning of the XXI century. according to observations. *Meteorology and hydrology*. 2012; 6: 95–107. (rus).
17. Problems of atmospheric electricity: Proceedings III International. conferences on atmospheric electricity and cosmic. spaces. Montreux. Switzerland May 5-10, 1963/Per. with English cand. phys.-mat. sciences E. M. Salman; Ed. [And with the foreword. cand. techn. techn. sciences by J. M. Schwartz]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1969; 362. (rus).
18. Prevenslik T.V. A theory for thundercloud electrification and the reduction in intensity of hurricanes and tornadoes by the supercession of lightning. 2001; 26 (258): 121–124. (rus).

19. Schroeder V., Baker M.B. Inferring selected cloud properties from satellite lightning data. Proceedings of 11th International Conference on Atmospheric Electricity, USA, Alabama, 1999; 276–279. (rus).
20. Sheshukov M. A., Kovalev A. P., Orlov A. M., Pozdnyakova V. V. Problems and prospects for protecting forests from fires. Siberian Forest Journal. 2020; 2: 14–20. DOI 10.15372/SJFS20200202. (rus).
21. Data bank on changes in weather conditions in various regions of the world [Electronic resource]. Access mode: - tutiempo.net/climate/ (date of request: 12/20/2023). (rus).
22. WMO Guidelines for the Calculation of Climatic Standards. 2017; 1203: 32. (rus).
23. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21. (rus).

Информация об авторах

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника академии по учебной работе, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Проскова Наталья Юрьевна, преподаватель кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru

Information about the authors

Alexander V. Kholoptsev, Grand PhD in Geography, Professor of the department of control and supervisory activities, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Roman G. Shubkin, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor, Deputy head of the academy for academic affairs, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Natalia Yu. Proskova, lecturer at the department of control and supervision, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru

УДК 614.8.084; 681.572

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕГКОГО КЛАССА В ПОЖАРОТУШЕНИИ И ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

**Мураев Николай Павлович¹, Вишняков Александр Валерьевич¹,
Карапузиков Александр Анатольевич¹, Дьяков Константин Владимирович²**

¹Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

²Главное управление МЧС России по Свердловской области, Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье были раскрыты отдельные вопросы применения современных робототехнических комплексов легкого класса, состоящих на вооружении в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, связанных с борьбой с пожарами, ликвидацией аварий и проведением различных аварийно-спасательных работ. Авторами дается оценка эффективности их применения с учетом практики их использования на территории Свердловской области. В работе показываются технические возможности отдельных образцов отечественных робототехнических комплексов, таких как мобильный противопожарный робототехнический комплекс легкого класса из состава комплекса АБР-РОБОТ и мобильная установка пожаротушения роботизированная МРУП-15. В ходе исследования авторами были рассмотрены, обобщены и проанализированы как положительные составляющие, имеющие место при эксплуатации указанных робототехнических комплексов легкого класса, так и отдельные недочеты в их конструкции, а также негативные моменты, связанные с вопросом тренировки операторов, эксплуатирующих указанные технические средства в различных чрезвычайных ситуациях, включая сопровождающиеся пожарами. На основе результатов исследования в статье были представлены предложения по преодолению выявленных негативных моментов, предназначенные для предприятий, занятых производством рассматриваемых технических средств, связанные с модернизацией рассмотренных образцов пожарной техники, также решения вопроса по возможности организации тренировочного процесса для специалистов, эксплуатирующих комплексы в реальных условиях.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, беспилотные технологии, мобильный робототехнический комплекс, оператор РТК, симулятор

EXPERIENCE OF USING LIGHT CLASS ROBOTIC COMPLEXES IN FIRE FIGHTING AND EMERGENCY RESCUE OPERATIONS IN THE TERRITORY OF THE SVERDLOVSK REGION: SELECTED PROBLEMS AND SOLUTIONS

**Nikolay P. Muraev¹, Alexander V. Vishnyakov¹, Alexander A. Karapuzikov¹,
Konstantin V. Dyakov²**

¹ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

² The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

This article revealed certain issues regarding the use of modern light-class robotic systems in service with the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief related to fire fighting, emergency response and various rescue operations. The authors assess the effectiveness of their use, taking into account the practice of their use in the Sverdlovsk region. The work shows the technical capabilities of individual samples of domestic robotic systems such as a light-class mobile fire-fighting robotic complex from the ABR-ROBOT complex and a mobile robotic fire extinguishing installation MRUP-15. During the study, the authors examined, summarized and analyzed both the positive components that occur during the operation of these light-class robotic complexes, as well as individual shortcomings in their design, as well as negative aspects associated with the issue of training operators operating these technical means in various emergency situations, including those accompanied by fires. Based on the results of the study, the article presented proposals for overcoming the identified negative aspects, intended for enterprises engaged in the production of the technical means in question, associated with the modernization of the considered samples of fire equipment, as well as addressing the issue of the possibility of organizing a training process for specialists operating the complexes in real conditions.

Keywords: emergency rescue operations, unmanned technologies, mobile robotic complex, RTK operator, simulator

В условиях постоянно нарастающих рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) техногенного и природного характера, зачастую принимающих масштабы катастроф, ключевое значение имеет и будет продолжать иметь разработка и внедрение новых передовых технологий в область защиты населения и территорий от различных негативных событий, а также усовершенствование средств и методов, уже используемых в данной сфере деятельности.

На это напрямую было указано на коллегии МЧС России, которая утвердила концепцию развития робототехнических систем специального назначения в системе МЧС России до 2030 г. [1].

Согласно принятому документу, в обозримой перспективе следует ожидать

разработки новинок в области роботизации процессов и действий при проведении АСР и тушении пожаров, модернизации имеющихся образцов.

Однако в настоящее время в ряде случаев мы наблюдаем ситуацию, когда спасательные команды в том числе работают и с обычным механическим инструментом, требующим для его применения физических усилий и подготовленных площадок, а также прокладки обеспечивающих коммуникаций от них, что увеличивает время проведения АСР и количество привлекаемых спасателей [2, 3], что также подтверждает положение, высказанное на указанной коллегии, о том, что в настоящий момент подобные средства имеются на вооружении различных подразделений МЧС России, однако их недостаточно,

а их эффективность находится на низком уровне.

Следует отметить, что при ведении АСР должно выполняться существенное такое важное условие, как обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, принимающих участие в ликвидации ЧС [4, 5].

Одним из направлений, где реализуется выполнение данного условия, является применение робототехнических комплексов (далее – РТК), позволяющих полностью исключить нахождение человека в опасной зоне (месте), например при ЧС, сопровождающихся выбросом (распространением) радиоактивных или опасных химических веществ, усугубленных пожарами. У специалистов оно получило название «безлюдные технологии» [6].

В соответствии с ГОСТ Р 55895-2013 робототехническим средством (РТС) является техническое средство, которое выполняет функции, предписанные виды работ или операции без непосредственного участия человека в опасной зоне [7]. При этом к ним относятся образцы робототехники, за которыми в обязательном порядке закрепляется специально обученный личный состав, отвечающий за эксплуатацию и обслуживание данной техники.

РТК классифицируются в зависимости от области применения, по среде обитания, по степени подвижности, а также по типу системы управления. Кроме того, рассматриваемые комплексы дополнительно могут классифицироваться по функциональному назначению, типу приводов и движителя, грузоподъемности, системе координат рабочей зоны, способу управления и др. Также подразделяются на воздушные, сухопутные и морские [8].

Отличительной особенностью подобных изделий является возможность дистанционного управления ими операто-

ром с безопасного расстояния. Робототехнические комплексы эффективны при проведении операций в труднодоступной местности, в зданиях и сооружениях, в районах массовых разрушений, радиационного и химического заражения, где нахождение и работа спасателей, а также развертывание и использование обычной колесной и гусеничной техники существенно затруднено или совсем невозможно.

В связи с этим целью исследования, отраженного в настоящей статье, стало изучение опыта применения имеющихся в представленных ниже СПСЧ ФПС по Свердловской области отдельных моделей робототехнических комплексов легкого класса, предназначенных для решения задач по тушению пожаров и выполнения другого вида важных работ.

Первыми робототехническими комплексами легкого класса были получены Федеральным государственным казенным учреждением «Специальное управление ФПС № 5 МЧС России», г. Новоуральск (далее – СУ ФПС № 5). На охраняемых «СУ ФПС № 5» объектах аварийно-спасательные работы, в случае возникновения ЧС, будут проводиться в условиях возможного загрязнения территории и атмосферы радиоактивными или химическими опасными веществами, что связано с риском для жизни специалистов, проводящих эти работы. Исходя из этих предпосылок в спецуправление был поставлен автомобиль быстрого реагирования – РОБОТ (далее – АБР-РОБОТ) на базе автомобиля КамАЗ-4326.

Автомобиль предназначен для выполнения аварийно-спасательных работ и пожаротушения в условиях повышенной опасности с использованием мобильного противопожарного робототехнического комплекса легкого класса (далее – МРК-РП) (рис. 1).



Рис. 1. Автомобиль быстрого реагирования и МРК-РП
(Источник: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/abr-robot-naznachenie-oborudovanie-i-tehnicheskie-harakteristiki>)

Fig. 1. Rapid response vehicle and MRK-RP

(Source: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/abr-robot-naznachenie-oborudovanie-i-tehnicheskie-harakteristiki>)

МРК-РП является комплектующим элементом АБР-РОБОТ с базовой моделью автомобиля КамАЗ-4326.

Рассматриваемый комплекс МРК-РП (рис. 2) включает в себя механизмы, устройства и приспособления, объединенные в одно целое, которое в результате аварий, отягощенных радиационным и химическим загрязнением, в условиях угрозы для жизни и здоровья личного состава способно решать оперативно-тактические задачи для их ликвидации.

Упомянув пожары, которые могут иметь место на промплощадках и складах потенциально опасных объектов, следует указать, что термические потоки, возникающие при горении различных материалов, выступают как дополнительные негативные факторы ЧС, приводящие к активному распространению опасных веществ с воздушными массами и увеличивающие площадь заражения ими.



Рис. 2. Мобильный робототехнический комплекс Робот-пожарный (источник: https://cs13.pikabu.ru/post_img/big/2023/02/10/4/1676004827168918415.jpg)

Fig. 2. Mobile robotic complex Robot-firefighter (source: https://cs13.pikabu.ru/post_img/big/2023/02/10/4/1676004827168918415.jpg)

Важным элементом комплекса МРК-РП является мобильный робот (далее – МР) в виде транспортного средства с установленным на нем блоком систем управления и энергообеспечения. Конструкция корпуса дает возможность в короткое время провести монтаж манипулятора, провести замену технологического оборудования, установить средства пожаротушения, которые подключаются к МР на панелях управления.

Движение мобильного робота осуществляется при помощи моторов-звездочек, которые приводят в движение гусеницы, а проходимость и маневренность МР повышается за счет изменения геометрии гусеничных обводов.

Управление комплексом осуществляется при помощи телевизионной

системы, оборудованной пятью камерами повышенной четкости, осветительным оборудованием, а также каналом акустической связи.

При тушении пожаров МР оборудуется установкой пожаротушения обеспечивает подачу тонкораспыленной воды от АБР-РОБОТ. Кроме того, МР может дополнительно оснащаться модулями подачи воды или огнетушащего порошка, МПВ-50 и МПП-50 соответственно [9].

Управление МР осуществляется оператором в дистанционном режиме, для чего используются курсовые и обзорные видеокамеры.

Основные тактико-технические характеристики мобильного робота представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные тактико-технические характеристики мобильного робототехнического комплекса Робот-пожарный

Table 1

Main tactical and technical characteristics of the mobile robotic complex Firefighter Robot

Характеристика Characteristic	Значение Meaning
Полная масса снаряженного мобильного робота, кг не более Gross weight of the equipped mobile robot, no more than kg	360
Максимальная скорость движения мобильного робота, км/ч, не менее Maximum speed of the mobile robot, not less, km/h	1.0
Возможная преодолеваемая высота препятствия, м Possible surmountable height of the obstacle, m	0.25
Максимальный угол крена дифферента мобильного робота, градус, не более Maximum roll angle, trim angle of the mobile robot, degree	35
Преодолеваемая глубина водной преграды, м, не более Depth of water obstacle to be overcome, no more, m	0.1
Преодолеваемая высота снежного покрова, м, не более Overcoming height of snow cover, no more than, m	0.1
Номинальная грузоподъемность манипулятора, кг Nominal load capacity of the manipulator, kg	30
Максимально допустимая грузоподъемность манипулятора, кг Maximum permissible load capacity of the manipulator, kg	50
Расстояние дистанционного управления: Remote control distance:	
по кабелю, м, до by cable, m, up to	200
по радио на открытой местности, м, до by radio in open areas, m, up to	1000
Габаритные размеры мобильного робота, м, не более Overall dimensions of the mobile robot, no more, m	
Длина Length	1,35
Ширина Width	0,7
Высота Height	0,8
Время использования, ч, не менее Time of use, h, not less	4

Применение МРК-РП в ходе ведения боевых действий при тушении пожаров и проведения аварийно-спасательных

работ позволяет решать следующие задачи:

- с использованием водопенного и порошкового модулей подавать в очаг пожара огнетушащие вещества (рис. 3);
- от АБР-РОБОТ подавать в очаг пожара по рукаву высокого давления тонкораспыленную воду, используя 50-метровую катушку;
- от АБР-РОБОТ подавать в очаг пожара по рукаву высокого давления воздушно-механическую пену низкой кратности, используя 50-метровую катушку или воздушно-механическую пену высокой

кратности, через пожарный рукав, присоединенный к генератору пены высокой кратности (ГВП), закрепленному на манипуляторе МКР-РП;

- использование манипулятора, механического схвата, а также комплекта сменных губок при проведении аварийно-спасательных работ;

- ведение разведки с преодолением препятствий (лестничные марши, коридоры, проемы и т. п.), а также в труднодоступных местах [10].



Рис. 3. Подача в очаг возгорания мобильным робототехническим комплексом огнетушащего вещества от порошкового (слева) и водопенного (справа) модулей пожаротушения (источник: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/robototekhnicheskie-kompleksyi-mchs-osnovnyie-modeli-opisanie-i-tth>)

Fig. 3. Supply of fire extinguishing agent to the source of fire by a mobile robotic complex from powder (left) and water-foam (right) fire extinguishing modules (source: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/robototekhnicheskie-kompleksyi-mchs-osnovnyie-modeli-opisanie-i-tth>)

Учитывая опыт использования по прямому назначению изделия МРК РП в СУ ФПС № 5, можно уверенно говорить, что МРК РП позволяет успешно бороться с пламенем, параметры которого коррелируются с техническими характеристиками комплекса, представленными в таблице 1. Также в качестве сильной стороны МРК РП следует указать такую характеристику, связанную с эксплуатационной составляющей, как наработка на отказ. У МРК РП с начала эксплуатации данный показатель,

по информации специалистов, выполняющих техническое обслуживание и ремонт рассматриваемого комплекса, равен 352 часам, что является свидетельством о длительном периоде безотказной работы и надежности данного технического средства пожаротушения. Анализируя случаи применения МКР-РП в 2023 г., отметим, что при эксплуатации комплекса не было выявлено ни одного отказа.

В федеральное государственное казенное учреждение «Специализирован-

ная пожарно-спасательная часть Федеральной противопожарной службы по Свердловской области» (далее – СПСЧ ФПС по Свердловской области) робототехнические комплексы легкого класса МУПР-

15 (МУПР-С-СП-Э-ИК-ТВ-УП-15) в количестве 2 единиц (далее – МУПР) поступили на вооружение в 2014 году (рис. 3). Находятся в эксплуатации и по сей день.



Рис. 4. Мобильная установка пожаротушения роботизированная (источник:<https://academygps.ru/about/structure/unk/fire-rescue-equipment/department-fire-engineering/developments-department/>)

Fig. 4. Mobile robotic fire extinguishing unit (source:<https://academygps.ru/about/structure/unk/fire-rescue-equipment/department-fire-engineering/developments-department/>)

МУПР предназначена для ведения разведки, а также для тушения пожаров в «зонах чрезвычайных ситуаций», возникающих в населенных пунктах, в том числе на промышленных объектах.

Основными задачами, решаемыми при помощи рассматриваемых роботизированных установок, являются:

– движение в опасной зоне по маршруту, задаваемому при помощи команд, подаваемых оператором с пульта дистанционного управления;

– при обследовании территории (зоны), осуществление ее освещения;

– передача в on-line режиме изображения исследуемых объектов на монитор оператора;

– поиск и обнаружение очага пожара (при помощи штатной программы);

– подача в зону горения огнетушащих веществ (воду и пены низкой кратности) [10].

Основные тактико-технические характеристики МУПР представлены в таблице 2.

Таблица 2
Основные тактико-технические характеристики МУПР
Table 2
Main tactical and technical characteristics of MUPR

Характеристика Characteristic	Значение Meaning
Радиус действия дистанционного управления, м, не менее Radius of action of remote control, m, at least	200
Максимальная скорость движения, км/ч, не более Maximum driving speed, km/h, not more	3
Углы опрокидывания, градусы, не менее Tipping angles, (degrees), not less than	30
Угол разворота «на месте», градусы, не менее Turning angle "on the spot", (degrees), not less than	360
Усилие тяги (без подсоединенных рукавов), кг/с, не более Pulling force (without hoses connected), kg/sec, not more	80
Расстояние приема видеосигнала на монитор оператора от роботизированной установки, м, не менее Distance of video signal reception to the operator's monitor from the robotic unit, m at least	200
Параметры сканирования объекта (при движении и на стационаре): в горизонтальной плоскости (от оси движения), (градусы); в вертикальной плоскости (от горизонта), (градусы) Object scanning parameters (when moving and stationary) - in the horizontal plane (from the axis of motion), (degrees) - in the vertical plane (from the horizon), (degrees)	от – 90 до +90 от 0 до +45
Дальность обнаружения возгорания, м, не менее:	50
Параметры перемещения ствола: - в горизонтальной плоскости, (градусы) - в вертикальной плоскости, (градусы) Barrel movement parameters - in horizontal plane, (degrees) - in vertical plane, (degrees)	от – 120 до +120 от 0 до +75
Расход воды из ствола, л/с Water flow rate from the borehole, l/sec	регулируемый до 20
Расход водного раствора пенообразователя из ствола, л/с Flow rate of aqueous solution of foaming agent from the trunk, l/sec	регулируемый до 20
Дальность струи, м, не менее: водяной сплошной распыленной (при угле факела 30°) пенной Jet range, not less than (meters): continuous water atomized (at a flare angle of 30°) foam	45

Дальность струи, м, не менее Jet range, not less than (meters)	30
Кратность получаемой пены, не менее Foam production rate, not less than	7
Габаритные размеры, мм Overall dimensions, mm	900 x 700 x 600
Напряжение АКБ, V Battery voltage, V	24
Масса установки, кг Installation weight, kg	100

Практически сразу после поступления в подразделение комплекс был апробирован в действии. Апробация проходила в условиях тестирования возможностей образца и учебно-показательных действий с перспективой дальнейшего использования. Однако работа с комплексом выявила ряд конструктивных недостатков, наличие которых не позволило специалистам активно применять РТК при тушении пожаров и проведении АСР.

Изучив отзывы специалистов вышеуказанных подразделений по применению данных комплексов, представляется возможным рассмотреть и сравнить их конструктивные решения, т. к. образцы изделий относятся к одному классу и имеют схожее назначение.

Главным отличием комплекса МРК-РП от МУПР-15 является широта спектра и возможностей применения комплекса.

Например, при работе в условиях химического и радиационного заражения имеется возможность одновременного ведения мониторинга за уровнем концентрации аварийно химически опасных веществ и уровнем радиации в окружающей среде. Это позволяет использовать комплекс для ликвидации любых видов техногенных аварий, что очень важно.

Следующая важная деталь наших рассуждений – это наличие штатного транспорта для доставки изделия к месту проведения аварийно-спасательных работ. У МУПР оно отсутствует, что в значительной мере снижает оперативность его

использования и осложняет работу РТП в принятии решений по применению РТК в условиях быстроизменяющейся обстановки на пожаре. В свою очередь, комплекс МРК-РП доставляется к месту проведения работ на штатном автомобиле, помимо этого, вместе с ним транспортируется боевой расчет в составе 5 человек личного состава, пожарно-техническое вооружение и аварийно-спасательный инструмент, 1 000 литров воды и 500 литров пенообразователя, что безусловно является неоспоримым преимуществом перед МУПР.

Следует обратить внимание на еще одну очень важную характеристику, а точнее ее отсутствие у МУПР – высота преодолеваемого порогового препятствия. Практика использования изделия показала, что из-за конструктивных особенностей МУПР не способен преодолевать лестницы с числом ступеней более трех и высотой ступени более 0,2 м. Следовательно, как самостоятельная единица тушения пожара данная установка не способна без посторонней помощи заехать в производственное или иное помещение, если на пути ее будут ступени, а значит, задачи, возлагаемые на РТК, будут выполнены некачественно или не выполнены вообще. Также при спуске со ступеней, бордюров и парапетов существует угроза обломить выступающую часть конструкции на соединительной головке, расположенной в кормовой части МУПР и не имеющей защиты.

Продолжая рассматривать недоработки модели, отметим, что ввиду конструктивных особенностей пульта дистанционного управления МУПР (рис. 5) рычаги управления колесными полуосями также выполняют функцию поворота башни по вертикали и по горизонтали. При этом отсутствует функция фиксации башни в прямом положении (функция возврата

башни в прямое положение) для управления МУПР вне прямой видимости при помощи камеры видеонаблюдения. Ввиду этого во время маневров МУПР происходит незначительный поворот башни, что осложняет управление МУПР вне зоны прямой видимости при помощи видеокамеры.



Рис. 5. Пульт дистанционного управления МУПР-15

Fig. 5. Remote control unit MUPR-15

По отзывам сотрудников Специализированной пожарно-спасательной части ФПС по Свердловской области, работающих с данной установкой, отсутствие индикации уровня заряда батареи пульта дистанционного управления не позволяет оператору отслеживать состояние заряженности и время работы пульта дистанционного управления, вследствие чего создается необходимость возить запасные батареи к нему.

Еще одно важное замечание – из области универсализации процессов. Зарядка самой установки и пульта дистан-

ционного управления осуществляется разными зарядными устройствами. Установка заряжается от сети 220 ВТ. Время зарядки составляет до 3-х суток. Время работы при задействовании всех агрегатов составляет 3 часа. Ввиду того что средняя продолжительность тушения пожара в производственном здании или сооружении составляет 6 часов, возникает потребность в комплекте сменных аккумуляторных батарей к базе с возможностью их замены непосредственно в зоне проведения работ.

Зарядка батареи пульта дистанционного управления осуществляется от сети 12 ВТ от автомобиля. Время зарядки

составляет 3 часа, время работы – до 6 часов.

Эти вопросы не свойственны МРК-РП, так как конструкторские решения, реализованные в нем, позволяют проводить зарядку всех элементов комплекса на базе автомобиля от штатного генератора либо от внешнего источника питания.

Также заслуживают внимания конструкторские решения, реализованные в отдельных механизмах управления изделием. В частности, штифты для поворотных механизмов башни. Здесь уместно привести личные наблюдения специалистов СПСЧ ФПС ГПС ГУ по Свердловской области, осуществлявших эксплуатацию, применение и обслуживание данных РТК. По их мнению, у двух комплексов, состоявших на вооружении подразделения,

поочередно вышли из строя поворотные механизмы башни (рис. 6). Согласно договору о гарантийном обслуживании комплексы были направлены на завод-изготовитель, расположенный в г. Москва, для устранения неисправности [11].

После возвращения комплексов из ремонта через полгода эксплуатации (и то исключительно в виде выставочного образца) данные неисправности вновь проявили себя. Комплексы в очередной раз были направлены для ремонта на завод-изготовитель (на тот момент времени средняя стоимость транспортировки одной установки МУПР в одну сторону составляла порядка 7 000 рублей).

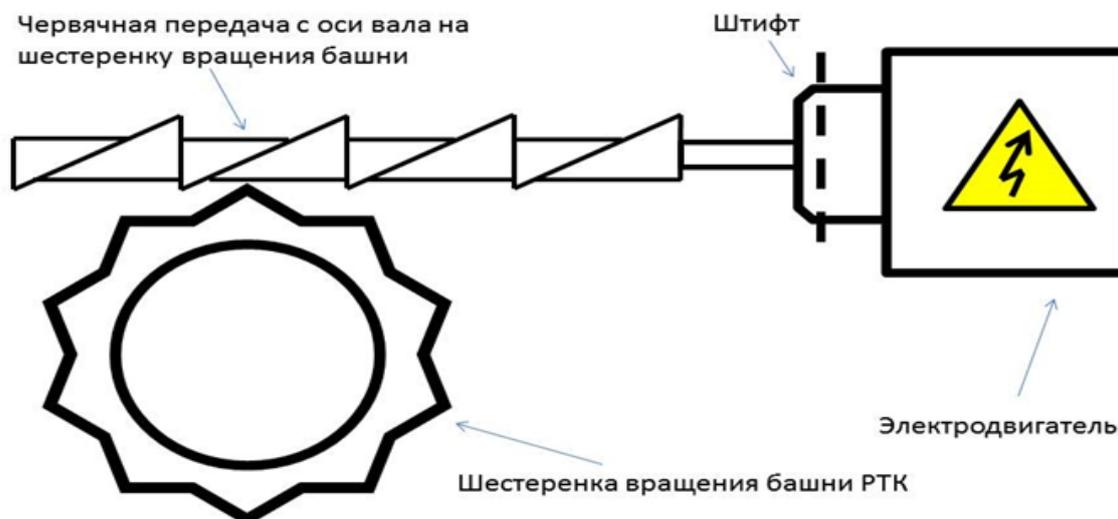


Рис. 6. Схема поворотного механизма башни РТК

Fig. 6. Schematic diagram of the rotary mechanism of the RTC turret

После окончания срока гарантийного обслуживания на изделие вышеупомянутые неисправности вновь проявили себя. В этой ситуации сотрудниками подразделения самостоятельно

были заменены все заводские штифты на парные штифты меньшего диаметра. Неисправность была устранена и больше не возникала.

Еще один важный вывод сотрудников, представленных в работе СПСЧ, состоит в следующем: МРК-РП, входящий в состав комплекса АБР-РОБОТ, стоит на вооружении специального подразделения ФПС, охраняющего объекты стратегического значения страны в области обороны, а установка МУПР в специальном управлении (СУ ФПС), дислоцированном в г. Екатеринбурге, никакого применения, кроме как участия в выставках и показательных выступлениях, не нашла.

Налицо проблемные составляющие эффективного использования комплексов однотипного класса при тушении пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Решение данных проблем авторами статьи видится в следующих посылах.

1. Оперативная доставка робототехнического комплекса и оператора к месту назначения.

При отсутствии штатного транспорта для доставки робототехнического комплекса и оператора к месту проведения работ значительно уменьшается оперативность использования робототехнических комплексов. В расписании выездов пожарно-спасательных гарнизонов робототехнические комплексы не учитываются как самостоятельные единицы, ввиду чего руководители тушения пожаров не принимают в расчет тактические возможности данных комплексов на пожаре.

2. Многофункциональность.

Способность выполнять несколько функций является одной из ключевых в вопросе применения робототехнических комплексов в ликвидации аварий и чрезвычайных ситуаций. Как уже было отмечено ранее, оснащенность комплекса МРК-РП газоанализаторами и дозиметром позволяет одновременно с тушением пожара или созданием водяной завесы проводить анализ загрязненности окружающей среды химическими и радиационными веществами, а рука-

манипулятор может быть использована для перемещения предметов.

3. Простота в использовании и обслуживании.

Под простотой в использовании понимается возможность управления робототехническим комплексом без дополнительной переподготовки личного состава, эксплуатирующего робототехнические комплексы, либо возможность переподготовки одного сотрудника, курирующего вопросы эксплуатации робототехнических комплексов, с возможностью самостоятельного обучения личного состава подразделения работе с данными комплексами. Также необходимо создать условия, при которых техническое обслуживание и мелкий ремонт робототехнических комплексов может проводиться в подразделении без их транспортировки на завод-изготовитель. Данное условие возможно выполнить при создании телефона «горячей линии» службы поддержки, онлайн-консультаций на сайте завода-изготовителя или с помощью сервисов видео-звонка.

Выше представленное позволяет сделать следующие выводы.

1. На сегодняшний день такое направление деятельности федеральной противопожарной службы, как применение робототехнических комплексов легкого класса в тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, требует активного участия ее специалистов в проектировке и разработке требований к подобному виду изделий.

2. Отсутствие у эксплуатантов обратной связи с заводами-изготовителями лишает их возможности оперативно доводить проблемные вопросы, возникающие в ходе эксплуатации изделий, внести конструктивные предложения для модернизации конструкций и усовершенствования их работы, осуществлять текущий ремонт и обслуживание РТК.

3. Отсутствие штатного транспорта для доставки РТК и оператора к месту пожара или проведения аварийно-спасательных работ значительно снижает показатели эффективности его применения.

4. Противопожарные робототехнические комплексы, имеющие серьезные нарекания по показателям в преодолении труднопроходимых участков местности или движения внутри зданий, ставят под

вопрос целесообразность их производств и применения.

5. Эффективность использования РТК легкого класса, по нашему мнению, должна определяться триадой основных требований, заложенных и реализованных в изделии: мобильность и оперативность доставки к месту применения, многофункциональность в использовании и простота в обслуживании и ремонте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О концепции развития робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года : решение коллегии МЧС России от 10.08.2016 № 16/III.
2. Опыт применения робототехнических комплексов пожаротушения при тушении пожаров на объектах с наличием взрывчатых веществ / Е. В. Павлов и др. // Развитие робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». М., 2023. С. 164–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54497256> (дата обращения: 16.10.2023).
3. Логинов, В. В., Вишняков, А. В., Зубарев, И. А. Формирование перспективного технического облика робототехники, предназначенной для проведения аварийно-спасательных работ // Техносферная безопасность. 2022. № 4. С. 153–160. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50105542> (дата обращения: 16.10.2023).
4. Использование робототехнических комплексов при борьбе с пожарами на радиационно опасных объектах: обобщение опыта, проблемы и пути их решения / А. В. Вишняков и др. // Техносферная безопасность. 2023. № 1. С. 101–112. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50488407> (дата обращения: 16.10.2023).
5. Технологические особенности применения робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения в условиях крупномасштабных чрезвычайных ситуаций / Е. В. Павлов и др. // Пожарная безопасность. 2022. № 3. С. 86–93. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49402155> (дата обращения: 16.10.2023).
6. ГОСТ Р 54344–2011. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний.
7. ГОСТ Р 55895–2013 Техника пожарная. Системы управления робототехнических комплексов для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения.
8. Наговицин А. И., Наговицин К. А., Сазыкин А. М. Робототехнические комплексы военного назначения и перспективы их применения в ракетных войсках и артиллерии Сухопутных войск // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 2 (87). С. 57–62.
9. Ковалёв П. В., Плосконосов А. В., Хацкевич Д. А. и др. Малогабаритная мобильная роботизированная установка пожаротушения. Описание изобретения к патенту RU 2 685 319 С1. М., 2019. 13 с.
10. Техника МЧС России. Мобильная установка пожаротушения роботизированная. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse-novosti/4253837> (дата обращения: 13.12.2023).
11. Об утверждении Положения об организации ремонта, нормах наработки до ремонта и списания техники, вооружения, агрегатов, специального оборудования и имущества в МЧС России : приказ МЧС России № 624 от 25.11.2016.

REFERENCES

1. On the concept of development of special purpose robotic complexes (systems) in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia until 2030: decision of the board of the Ministry of Emergency Situations of Russia of 10.08.2016 No. 16/III. (rus).
2. Pavlov E.V., Nesterov I.V., Korenkova O.A. et al. Experience in the use of robotic firefighting complexes in extinguishing fires at facilities with the presence of explosives. Development of robotics in the field of life safety "RoboEmercom". Proceedings of the III Scientific and Practical Conference. Moscow: VNII GOChS MES of Russia, 2023; 164–171. (rus).
3. Loginov V.V., Vishnyakov A.V., Zubarev I.A. Formation of the perspective technical appearance of the robotics intended for the emergency rescue operations. Technospheric safety. 2022; 4: 153–160. (rus).

4. Vishnyakov A.V., Muraev N.P., Loginov V.V. et al. Use of robotic complexes in fire fighting at radiation hazardous facilities: generalization of experience, problems and ways of their solution. *Technospheric safety*. 2023; 1: 101–112. (rus).
5. Pavlov E.V., Lukatsky I.M., Osipov Y.N., et al. Technological peculiarities of application of the robotic complex of multi-mode firefighting in large-scale emergencies. *Fire Safety*. 2022; 3: 86–93. (rus).
6. GOST P 54344-2011. Mobile robotic complexes for emergency rescue and firefighting. Classification. General technical requirements. Test methods. (rus).
7. GOST R 55895-2013 Fire-fighting equipment. Control systems of robotic complexes for emergency rescue and firefighting. (rus).
8. Nagovitsin A. I., Nagovitsin K. A., Sazykin A. M. Robotic complexes of military purpose and the prospects of their application in missile troops and artillery of the Ground Forces. *Izvestiya Rossiiskikh Akademii Raketnykh i Artillerynykh Nauk*. 2015; 2(87): 57–62. (rus).
9. Kovalev P.V., Ploskonosov A.V., Khatskevich D.A. et al. Small-size mobile robotic fire extinguishing unit. Description of invention for patent RU 2 685 319 C1, M.: Rospatent, 2019; 13. (rus).
10. Technique of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Mobile robotic fire extinguishing unit. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse-novosti/4253837> (date of reference: 13.12.2023). (rus).
11. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 624 of 25.11.2016 "On Approval of the Regulations on the organization of repairs, norms of time to repair and write-off of equipment, weapons, units, special equipment and property in the Ministry of Emergency Situations of Russia". (rus).

Информация об авторах

Мураев Николай Павлович, кандидат педагогических наук, доцент, профессор кафедры безопасности в ЧС, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID 851254;
e-mail: myrnik@yandex.ru

Вишняков Александр Валерьевич, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры безопасности в ЧС, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID 848624.

Карапузиков Александр Анатольевич, кандидат педагогических наук, доцент кафедры безопасности в ЧС, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID 846761.

Дьяков Константин Владимирович, старший инженер отделения организации применения беспилотных авиационных систем и авиационно-спасательных технологий Главного управления МЧС России

Information about the authors

Nikolay P. Muraev, Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Professor of the Department of Safety in Emergency Situations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, ID RISC 851254;
e-mail: myrnik@yandex.ru

Alexander V. Vishnyakov, Candidate of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Safety in Emergency Situations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, ID RISC 848624.

Alexander A. Karapuzikov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of Safety in Emergency Situations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, ID RISC 846761.

Konstantin V. Dyakov, senior engineer of the department of organization of unmanned aerial systems application and aviation rescue technologies of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the Sverdlovsk region,

по Свердловской области, 620014, г. Екатеринбург, ул. Шейкмана, д. 84.

84 Sheikman St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation.

УДК 614.849; 614.835.3

ПОЖАРЫ И ВЗРЫВЫ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ РОССИИ В 2018–2022 ГГ.

Ивахнюк Сергей Григорьевич¹, Петрова Наталья Вячеславовна¹,
Плешаков Виталий Владимирович²

¹Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия

²Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Развитие нефтедобывающей, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей, несмотря на глобальные вызовы, идет высокими темпами. В совокупности со спецификой реализуемых контрсанкционных мер это обуславливает увеличение резервуарных парков страны. Объекты хранения нефти и нефтепродуктов предприятий нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения являются сооружениями повышенной пожарной опасности. Результаты сбора, систематизации и анализа статистических данных по авариям и инцидентам позволят сформулировать предложения по корректировке нормативных правовых актов и нормативно-технических документов в области пожарной безопасности объектов, связанных с обращением нефти и нефтепродуктов, а также разработать комплекс необходимых организационных мер и инженерно-технических мероприятий.

Авторами проанализированы годовые отчеты Ростехнадзора, а также чек-листы аварий в целях выявления аварий на выбранных объектах исследования, сопряженных со взрывами и пожарами. Анализ полученной информации подтверждает существенную потенциальную опасность, связанную с нарушениями требований в области эксплуатации объектов хранения нефти и нефтепродуктов. В статье представлен аналитический и графический материал, касающийся в том числе распределения аварий по типу источника зажигания, виду выполняемых работ и области нарушений требований пожарной безопасности.

Ключевые слова: резервуарный парк, нефть и нефтепродукты, статистика аварий, источник зажигания, нефтеперерабатывающее предприятие

FIRES AND EXPLOSIONS AT OIL REFINING AND OIL PRODUCT SUPPLY FACILITIES IN RUSSIA IN 2018–2022

Sergey G. Ivakhnyuk¹, Natalia V. Petrova¹, Vitaly V. Pleshakov²

¹Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russian Federation

²SFA of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The development of the oil-producing, petrochemical and refining industries, despite global challenges, is proceeding at a high pace. Together with the specifics of the implemented counter-sanctions measures, this leads to an increase in the country's tank farms. Oil and petroleum products storage facilities of oil refining and petroleum products supply enterprises are facilities of increased fire danger. The results of the collection, systematization and analysis of statistical data on accidents and incidents will make it possible to formulate proposals for the adjustment of regulatory legal acts and regulatory technical documents in the field of fire safety of facilities related to the circulation of oil and petroleum products, as well as to develop a set of necessary organizational measures and engineering and technical measures.

The authors analyzed the annual reports of Rostekhnadzor, as well as accident checklists in order to identify accidents at selected research facilities associated with explosions and fires. The analysis of the information received confirms the significant potential danger associated with violations of the requirements in the field of operation of oil and petroleum products storage facilities. The article presents analytical and graphic material concerning, among other things, the distribution of accidents by type of ignition source, type of work performed and the area of violations of fire safety requirements.

Keywords: electrical contacts, fire, electrical heating, fire, microcontacts

Введение

Несмотря на глобальные внешние вызовы, модернизация нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности как основы развития топливно-энергетического комплекса России продолжается высокими темпами. Так, согласно докладу вице-преьера Правительства РФ А. В. Новака, добыча нефти по итогам 2022 г. превысила 535 млн т. Прирост к показателю 2021 года составил 10 млн т или плюс 2 %. Экспорт по данной позиции также вырос на 7 %. Рост производства на 4,3 % и 6 % соответственно зафиксирован в отношении автомобильного бензина и дизельного топлива. Продолжается модернизация нефтеперерабатывающих заводов и реализация ключевых проектов в нефтегазохимии [1].

Непрерывное наращивание объемов добытой, транспортируемой, хранимой и перерабатываемой нефти, а также связанное с ним стабильное увеличение производства и обращения нефтепродуктов объясняют имеющийся рост общего объема отечественного парка резервуаров. На долю экспорта в России приходится

около 200 млн т нефти в год, что вызывает необходимость решения стратегических задач, связанных с вопросами ее хранения в случае прекращения закупок или введения запрета на вывоз. Одним из достаточно перспективных решений является создание обширного, но распределенного по территории Российской Федерации резервуарного парка, в качестве основных элементов которого будут использованы стальные резервуары вертикального типа емкостью 100 000 м³[2].

Резервуары для хранения жидких нефтяных углеводородов относят к объектам, характеризующимся высокой энергонасыщенностью и высокой пожарной опасностью. Регламентированная нормативными правовыми актами и нормативно-техническими документами в области пожарной безопасности и реализуемая на объектах экономики система противопожарных мероприятий постоянно модернизируется, в том числе с учетом массового применения резервуаров среднего и большого объема. Пожары на объектах хранения нефти и нефтепродуктов локализируются и ликвидируются с применением

значительного количества сил и средств, приводят к крупным материальным издержкам, их последствия несут экономические, социальные и политические риски. Поддержание и совершенствование организационно-технической готовности к борьбе с пожарами на резервуарных парках являются одним из важнейших задач подразделений ведомственной пожарной охраны и государственной противопожарной службы.

Важно отметить, что в резервуарах для нефти и нефтепродуктов промышленных предприятий, занимающихся их хранением и транспортировкой, преимущественно содержатся товарные сырье и продукты, технология обращения которых не предусматривает необходимости изменения их физических и химических свойств, за исключением термического воздействия в целях изменения показателя вязкости. В свою очередь, на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях в промежуточных технологических резервуарах, кроме операций по хранению и транспорту, могут осуществляться и другие физические и химические процессы в отношении нефти и нефтепродуктов (очистка, перегонка, крекинг, риформинг и пр.). Подобная специфика имеет существенное влияние на вопросы обеспечения пожарной безопасности последних [3].

Гибридные войны, разворачиваемые против нашего государства, имеют своей целью нарушить устойчивость функционирования объектов экономики всем арсеналом доступных средств и методов. Кибервойска коллективного Запада и его спутников атакуют информационные системы банков и объектов промышленности. Некоммерческие организации и фонды провоцируют социальную напря-

женность, финансово и идейно подпитывают экстремистские и террористические организации внутри страны.

События последних лет показывают, что объекты хранения нефти и нефтепродуктов различной хозяйственной принадлежности становятся первоочередными целями милитаризованных террористических атак, направленных на недопущение бесперебойного снабжения топливом стратегических потребителей как в гражданской, так и в оборонной сферах. Ракетные и артиллерийские обстрелы, атаки беспилотных летательных аппаратов приводят к разрушению инфраструктуры и самих объектов хранения, разливам нефти и нефтепродуктов, сопровождаемым серьезными пожарами.

Аналитическая часть

Наземное хранение нефти и нефтепродуктов считается одним из наиболее небезопасных вариантов. Это подтверждается тем, что, например, на вертикальных стальных резервуарах в Российской Федерации за первые два десятилетия XXI в. зарегистрировано более 90 % происшествий от всего количества пожаров и аварий на объектах хранения жидких нефтяных углеводородов [4].

Пожары на резервуарных парках по их объектовой принадлежности распределились следующим образом [4]:

- на резервуарах магистральных нефтепроводов – 10 %;
- на нефтепромыслах – 14 %;
- в резервуарах нефтеперерабатывающих предприятий – 27,7 %;
- на распределительных нефтебазах – 48,3 %.

Таким образом, почти каждый третий пожар на резервуарах хранения нефти и нефтепродуктов приходится на хозяйство нефтеперерабатывающих заводов (Рис. 1).

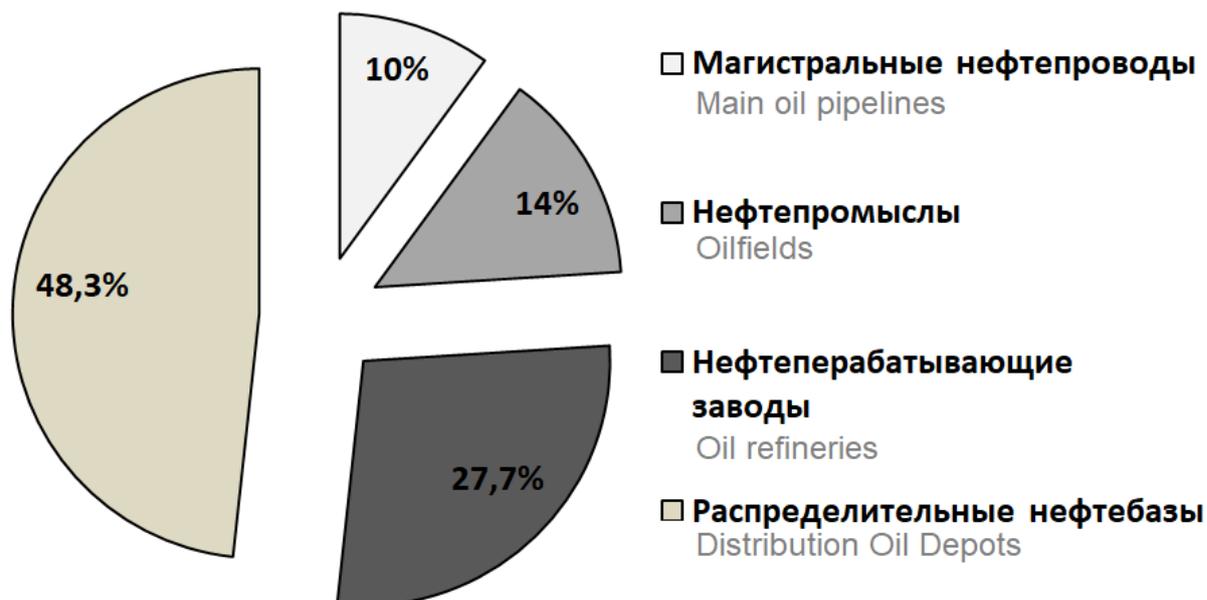


Рис. 1. Распределение пожаров на резервуарах по типу хозяйствующего субъекта
Fig. 1. Distribution of fires on tank by type of economic entity

Авторами проведен поиск, систематизация и анализ информации в целях получения статистических данных по авариям на объектах хранения нефти и нефтепродуктов предприятий нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения России.

В качестве исходных данных использовались ежегодные отчеты о деятельности Ростехнадзора в 2018–2021 гг. и проект отчета за 2022 г. [5–9]. В указанных отчетах представлена информация в целом по отрасли, обособленные данные по объектам хранения нефти и нефтепродуктов нефтеперерабатывающих предприятий отсутствуют. Поэтому в качестве

дополнительного источника информации обрабатывались чек-листы аварий Ростехнадзора [10–30], содержащие описание аварий, их последствия и причины, а также перечень мероприятий по устранению причин. Синтез двух источников позволил получить полноценную картину в отношении выбранной категории объектов.

Данные диаграммы распределения пожаров в 2018–2022 гг. по годам (Рис. 2) показывают, что в год происходит от 9 до 18 аварий, сопровождающихся пожаром. При этом на долю объектов хранения нефти и нефтепродуктов приходится от 25 % (2018 г.) до 60 % (2021 г.) случаев.

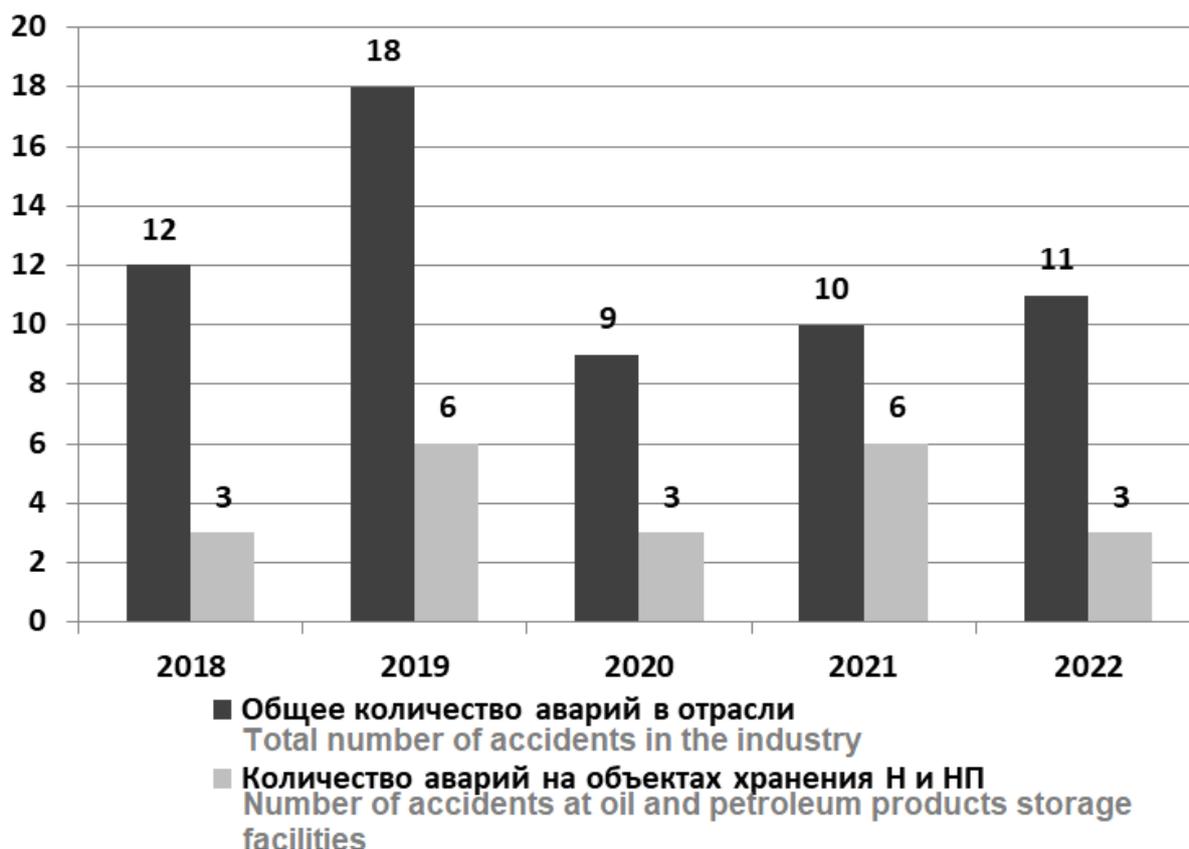


Рис. 2. Распределение пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов по годам
Fig. 2. Distribution of fires at oil and petroleum products storage facilities by year

В результате аварий и инцидентов, связанных с возгораниями на объектах хранения нефти и нефтепродуктов предприятий нефтехимии и нефтепереработки, а также объектах нефтепродуктообеспечения, в 2018–2022 гг. пострадал – 21 человек, погибло – 10 человек, а совокупный материальный ущерб превысил 1,5 млрд руб. (Рис. 3).

При этом количество пострадавших и погибших коррелирует с количеством аварий, произошедших за год, а размер годового материального ущерба на более чем на 90 % сформирован ущербом от одной-двух крупных аварий.

Анализ сведений Ростехнадзора также показал (Рис. 4), что в большинстве случаев, а именно в 48 % от общего числа ава-

рий на объектах хранения нефти и нефтепродуктов, сопровождавшихся пожаром, их причиной стал источник зажигания в виде электрических искр. На долю раскаленных частиц, возникающих в результате взаимного скольжения, удара, трения материалов, как источника зажигания приходится 14 % случаев. Третье место по частоте проявлений поделили между собой такие источники зажигания как разряды статического электричества, электрическая дуга и занос высокого потенциала, а также источники в виде открытого пламени и высоконагретых поверхностей. По 55 % причин пожаров на исследуемых объектах приходится на самовозгорание пирофорных отложений и проявление атмосферного электричества в виде прямых ударов молнии.

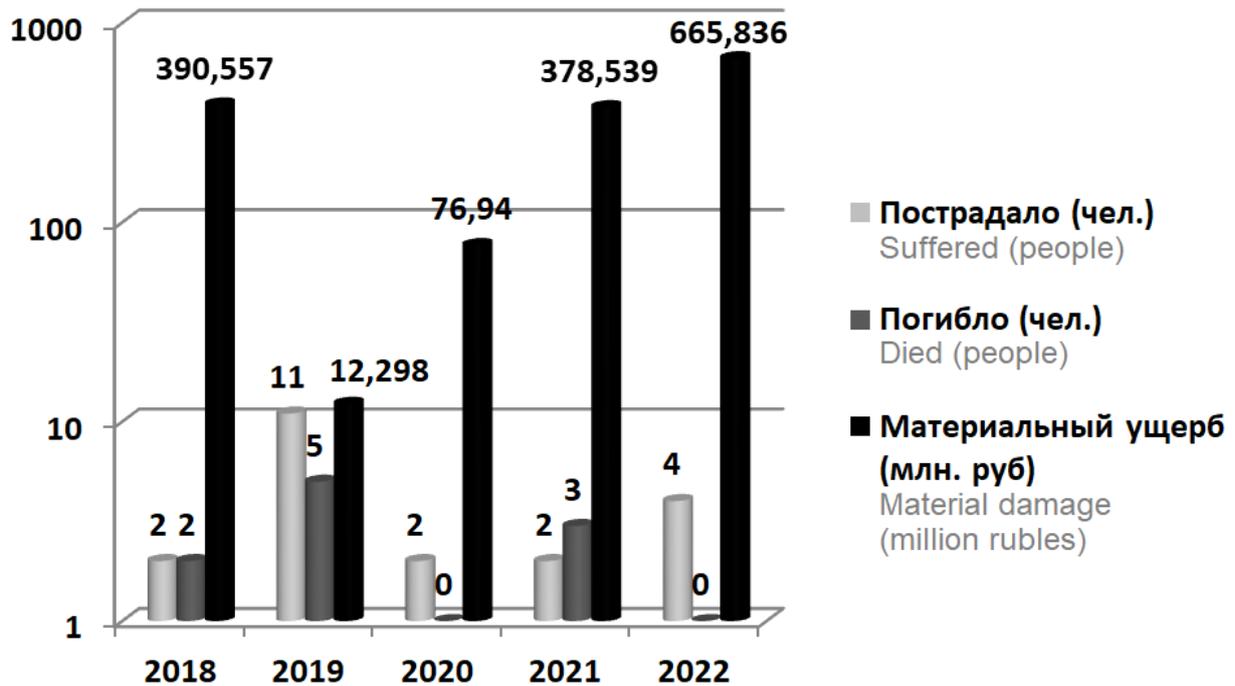


Рис. 3. Количество пострадавших, погибших и материальный ущерб от пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов

Fig. 3. The number of injured, dead and material damage from fires at oil and petroleum products storage facilities



Рис. 4. Распределение причин пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов по типу источника зажигания

Fig. 4. Distribution of the causes of fires at oil and petroleum products storage facilities by type of ignition source

Важная к осмыслению специалистами в области пожарной безопасности

информация заложена в цифрах, полученных в результате распределения причин пожаров на объектах хранения нефти и

нефтепродуктов нефтеперерабатывающих предприятий по виду выполняемых работ (Рис. 5).

Так, большинство пожаров на исследуемых объектах в 2018–2022 гг. произошли во время процедур по сливу, наливу и перекачке нефти и нефтепродуктов (43 % случаев). Несколько меньше происшествий (33 % случаев) приходится на выполнение мероприятий по зачистке

резервуаров. В 19 % случаев аварии, сопровождающиеся пожарами, произошли в период проведения мероприятий по реконструкции и ремонту объектов хранения. Во время плановой эксплуатации произошел всего один инцидент, причина которого связана с непосредственным контактом корпуса резервуара с разрядом молнии.

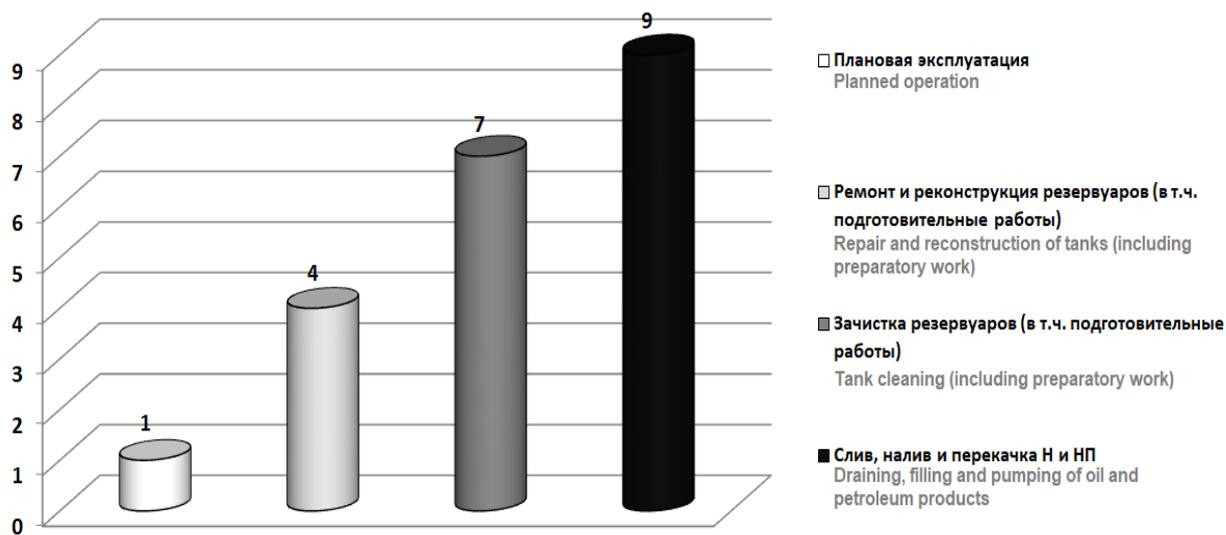


Рис. 5. Распределение пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов по виду выполняемых работ

Fig. 5. Distribution of fires at oil and petroleum products storage facilities by type of work performed

Стоит обратить внимание, что в цифрах, определяющих количество аварий с пожарами, приходится на долю мероприятий по зачистке резервуаров, а также их ремонту и реконструкции, заложены случаи, связанные с проведением подготовительных работ. На их долю приходится по 3 случая аварий, что составляет соответственно 43 % и 33 % от их общего числа (Рис. 6). Полученные данные адекватны сведениям, изложенным в работах других авторов.

Согласно [31], с 2000-х г. по настоящее время к главным причинам аварий относят пренебрежение требованиями пожарной безопасности, электростатиче-

ской искробезопасности при плановой эксплуатации объектов резервуарных парков и осуществлении подготовительных работ по их зачистке.

Анализ происшествий на резервуарах типа РВС в период с 2002 по 2010 гг., проведенный И. М. Розенштейном в работе [32] и основанный на результатах экспертиз, выполненных в Центральном научно-исследовательском и проектно-институте строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова, показал, что отступления от требований соответствующих регламентов при выполнении подготовительных работ по зачистке резервуаров стали причиной порядка четверти от общего числа аварий.

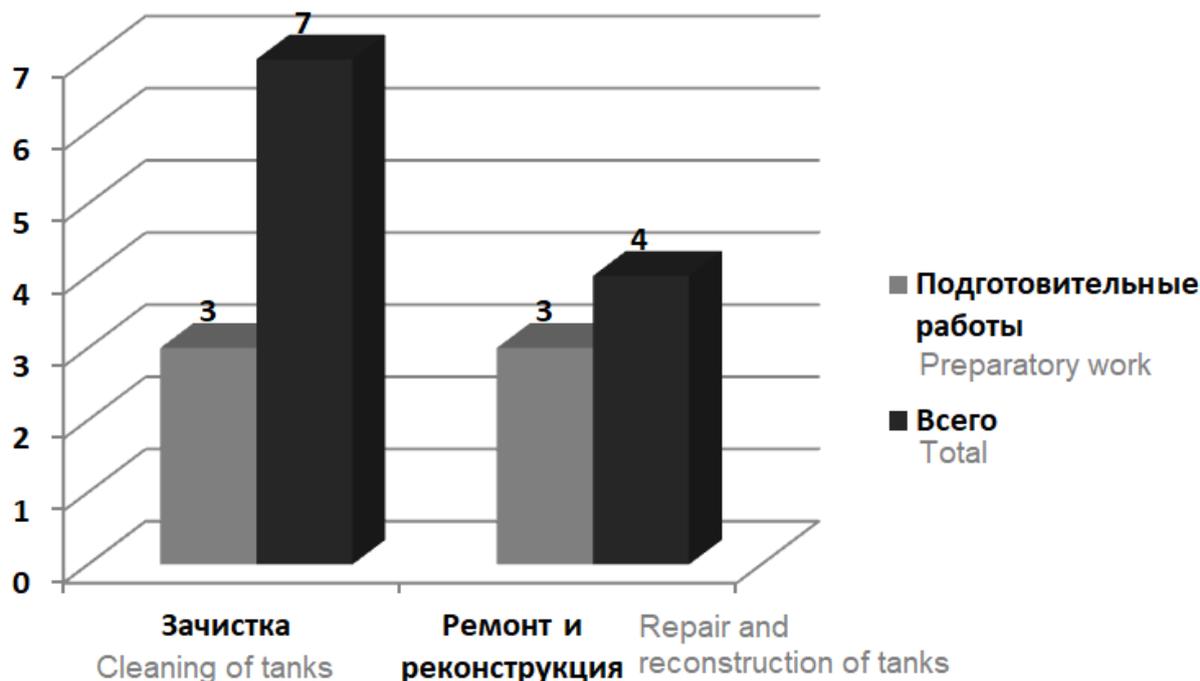


Рис. 6. Доля пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов, приходящихся на выполнение подготовительных работ

Fig. 6. The share of fires at oil and petroleum products storage facilities that occur during preparatory work

Результаты и их обсуждение

На Рис. 7 представлено распределение пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов нефтеперерабатывающих предприятий в 2018–2022 гг. по области нарушений требований нормативно-технической базы.

Больше половины случаев аварий с пожарами приходится на нарушения нормативно-технической базы, связанные с неисполнением требований по обязательному применению оборудования, осветительных приборов во взрывозащищенном исполнении (24 % случаев), инструмента в искробезопасном исполнении (5 % случаев), а также при нарушении

регламента процедур слива-налива нефти и нефтепродуктов (24 % случаев) и зачистки резервуаров (5 % случаев).

В трех случаях выявлены неисполнения проектных решений и низкого уровня инженерной оснащённости насосных станций (14 % случаев), в двух случаях – нарушения требований, установленных правилами эксплуатации электроустановок (10 % случаев).

По одному факту приходится на нарушения, связанные с неисполнением правил устройства молниезащиты, правил проведения огневых работ, а также с эксплуатацией систем электроподогрева и дезактивацией пирофорных отложений (совокупно 19 % случаев).

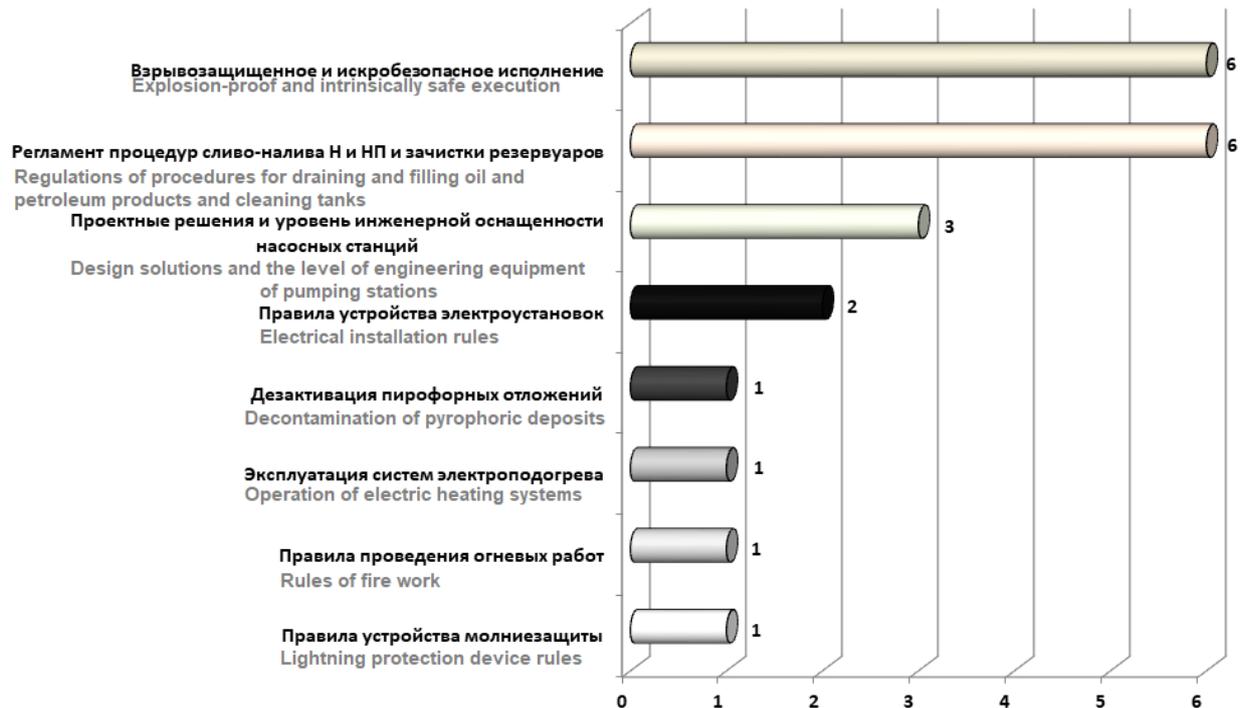


Рис. 7. Распределения пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов по области нарушений требований нормативно-технической базы

Fig. 7. Distribution of fires at oil and petroleum products storage facilities in the field of violations of the requirements of the regulatory and technical base

При этом в ходе исследования обстоятельств пожара следует представлять систему обеспечения пожарной безопасности как сложную многокомпонентную и многоуровневую систему, любое изменение в одном элементе которой проявляется каскадом преобразований во всех остальных элементах [33].

Так, оценивая характер влияния нарушений требований пожарной безопасности или нарушений требований промышленной безопасности на наступившие негативные последствия, следует отметить необходимость исследования характера причинно-следственной связи не только с возникновением пожара (аварии), но и с распространением пожара, а также причинением вреда жизни и здоровью людей. По мнению авторов, именно такие данные должны дополнить статистические отчеты и материалы, содержащие описание аварии, ее последствия и причины, что позволит разработать перечень мероприятий, направленных на

предотвращение возникновения аварий в будущем.

Выводы

Авторами осуществлен сбор, систематизация и анализ статистических данных по авариям на объектах хранения нефти и нефтепродуктов и объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения России в 2018-2022 годах, сопряженных с пожарами и взрывами.

Анализ полученной информации подтверждает существенную потенциальную опасность, связанную с нарушениями требований в области эксплуатации объектов хранения нефти и нефтепродуктов.

На основании данных ближайшей ретроспективы о чрезвычайных происшествиях авторами выявлен тип источника зажигания, ставший причиной большинства аварий на исследуемых объектах. Слив, налив и перекачка нефти и нефтепродуктов определены в качестве наиболее

пожаровзрывоопасного вида выполняемых работ. Обращается внимание, что подготовительные работы несут на себе значительную долю аварий, произошедших при выполнении мероприятий по зачистке резервуаров, а также их ремонту и реконструкции. Получено распределение пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов по области нарушений требований нормативно-технической базы.

Руководствуясь полученными результатами, предлагается:

– учитывать их при разработке предложений по внесению изменений и дополнений в нормативные правовые

акты и нормативно-технические документы в области пожарной безопасности;

– в целях получения исходных статистических и иных данных при проведении исследований использовать информационный массив чек-листов аварий и инцидентов Ростехнадзора;

– в целях получения объективных данных в чек-листах аварий Ростехнадзора необходимо учитывать не только причину пожара (аварии), но и причину распространения опасных факторов, а также причину причинения вреда жизни и здоровью людей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Энергетика и промышленность России. URL: <https://www.eprusia.ru/news/base/2023/3852981.htm> (дата обращения: 31.07.2023).
2. Железников Н. В., Еремин Н. А. Создание стратегического резерва нефти с использованием РВС-100000 // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 3 (135). С. 56–58.
3. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М., 1984. 151 с.
4. Статистика пожаров на объектах нефтегазовой отрасли в 2018–2019 годах в России и за рубежом / О. С. Ковязина и др. // Надежность и долговечность машин и механизмов. Иваново, 2020. С. 195–199.
5. Итоговый доклад о результатах деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2022 г. (ПРОЕКТ). URL: <https://www.gosnadzor.ru/public/principle2022> (дата обращения: 31.07.2023).
6. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2021 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 31.08.2023).
7. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 31.08.2023).
8. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2019 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 31.08.2023).
9. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 31.07.2023).
10. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист АО «Нижневартовское нефтегазодобывающее предприятие» 30.10.2018. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (дата обращения: 31.08.2023).
11. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ФГКУ «Прожектор Росрезерв» 29 апреля 2018 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (дата обращения: 31.08.2023).
12. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист АО «Серпуховская нефтебаза» 27 января 2018 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (дата обращения: 31.08.2023).
13. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Транснефть-Прикамье» 04 декабря 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
14. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» 03 сентября 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
15. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «ПАО «Транснефть» 07 ноября 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).

16. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «РусЭнерго» 23 марта 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
17. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист АО «Таймырская топливная компания» 07 февраля 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.08.2023).
18. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Шигл» 13 января 2019 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
19. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО РН-Юганскнефтегаз 18 августа 2020 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
20. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Нижевартовское нефтеперерабатывающее объединение» 12 июня 2020 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
21. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист АО Нижнекамский завод технического углерода 26 марта 2020 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
22. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Пилот» 11 декабря 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
23. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «ДНК» 09 октября 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
24. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Ярего» 17 августа 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
25. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист Черноморнефтегаз 21 мая 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
26. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «КАСПЕТРОЛСЕРВИС» 10 мая 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
27. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист Ярославский НПЗ 06 марта 2021 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
28. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «Башнефть-Розница» 01 июня 2022 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
29. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист ООО «ЛУКОЙЛ-ЦЕНТРНЕФТЕПРОДУКТ» 22 марта 2022 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
30. _Уроки, извлеченные из аварий. Чек-лист «Газпромнефть-Терминал» 02 марта 2022 г. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (дата обращения: 31.07.2023).
31. _Киреев Е. Н., Свинцова Н. Ф. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров // Инновации в науке и практике. Прага, 2017. Ч. 2. С. 22–27.
32. _Розенштейн И. М. Особенности хрупкого разрушения вертикальных стальных резервуаров // Территория Нефтегаз. 2012. № 9. С. 72–75.
33. _Феномен экспертного мышления и методика его формирования у обучающихся по специальности «Судебная пожарно-техническая экспертиза» / Н. А. Ходикова и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2023. № 1. С. 122–131.

REFERENCES

1. Energy and industry of Russia. Electronic journal. URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2023/3852981.htm> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
2. Zhelezchnikov N.V., Eremin N.A. Creation of strategic oil reserve using RVS-100000. Business journal Neftegaz.RU. 2023; 3 (135); 56–58. (rus).
3. Volkov O.M. Fire safety of tanks with oil products. Moscow, Nedra, 1984; 151. (rus).
4. Kovyazina O.S., Slepakov A.N., Samoilov D.B., Semenov A.O. Statistics of fires at oil and gas industry facilities in 2018-2019 in Russia and abroad. Reliability and durability of machines and mechanisms. International scientific-practical conference. Ivanovo; 195–199. (rus).
5. Final report on the results of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision for 2022 (DRAFT) URL: <https://www.gosnadzor.ru/public/principle2022> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
6. Annual report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2021. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (access date: 31.07.2023). (rus).

7. Annual report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2020. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (date of reference: 31.07.2023). (rus).
8. Annual report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2019. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (date of reference: 31.07.2023).
9. Annual report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2018. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (access date: 31.07.2023). (rus).
10. Lessons learned from accidents. Checklist of JSC Nizhneartovsk Oil and Gas Production Enterprise 30.10.2018. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
11. Lessons learned from accidents. Checklist FGKU "Searchlight Rosreserv" 29.04.2018. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
12. Lessons learned from accidents. Checklist of JSC "Serpukhovskaya oil depot" 27.01.2018. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2018%20/index.php> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
13. Lessons learned from accidents. Checklist of LLC "Transneft-Prikamye" 04.12.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed 31.07.2023). (rus).
14. Lessons learned from accidents. Checklist of OOO LUKOIL-Severo-Zapadnefteprodukt 03.09.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed on 31.07.2023). (rus).
15. Lessons learned from accidents. Check-list of LLC PJSC Transneft 07.11.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed on 31.07.2023). (rus).
16. Lessons Learned from Accidents. Checklist LLC "RusEnergo" 23.04.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed on 31.07.2023). (rus).
17. Lessons learned from accidents. Taimyr Fuel Company JSC check-list 07.02.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed 31.07.2023). (rus).
18. Lessons learned from accidents. Shigl LLC checklist 13.01.2019. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2019%20/index.php> (accessed 31.07.2023). (rus).
19. Lessons Learned from Accidents. Check-list of LLC PH-Yuganskneftegaz 18 aug. 2020. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
20. Lessons learned from accidents. Check-list of LLC Nizhneartovsk Oil Refining Association 12 jun. 2020. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
21. Lessons Learned from Accidents. Check-list of JSC Nizhnekamsk Technical Carbon Plant 26 mar. 2020. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2020-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
22. Lessons learned from accidents. Pilot LLC checklist 11.12.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
23. Lessons learned from accidents. DNA LLC checklist 09.10.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
24. Lessons learned from accidents. Yargeo LLC check-list 17.08.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
25. Lessons learned from accidents. Check-list Chernomor-neftegaz 21.05.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
26. Lessons Learned from Accidents. KASPETROLSERVICE LLC check-list 10.05.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
27. Lessons learned from accidents. Check-list Yaroslavl Refinery 06.03.2021. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
28. Lessons Learned from Accidents. Check-list LLC Bashneft-Roznitsa 01.06.2022. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (access date: 31.07.2023). (rus).
29. Lessons learned from accidents. Check-list of OOO LUKOIL-CENTRNEFTEPRODUCT 22.03.2022. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (accessed on 31.07.2023). (rus).
30. Lessons learned from accidents. Checklist "Gazpromneft-Terminal" 02.03.2022 URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2022-god/index.php> (date of reference: 31.07.2023). (rus).
31. Kireev E.N., Svintsova N.F. Analysis of the causes of accidents of vertical steel tanks. Innovations in science and practice : Collection of articles on the materials of the III international scientific-practical conference. Prague; 2017; 22–27. (rus).
32. Rosenstein I.M. Features of brittle fracture of vertical steel reservoirs. Territory Neftgaz; 2012; 9; 72–75. (rus).

33. Khodikova N.A., Pleshakov V.V., Cheprakova V.R., Malko V.A. Phenomenon of expert thinking and the methodology of its formation among students in the specialty «Forensic fire technical expertise». Fires and emergencies: prevention, elimination; 2023; 1; 122–131. (rus).

Информация об авторах

Ивахнюк Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника НИИ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д.149 РИНЦ ID: 708424; AuthorID: 57442237000; ResearcherID: L-1764-2013; ORCID: 0000-0003-4651-8211;
e-mail: sgi78@mail.ru

Петрова Наталья Вячеславовна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д.149 РИНЦ ID: 558333; ORCID: 0000-0002-2478-6736;
e-mail: n-youn@mail.ru

Плешаков Виталий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры надзорной деятельности, Академия ГПС МЧС России, 129366, г. Москва, улица Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0003-2698-1815, РИНЦ SPIN-код: 9461-4419; РИНЦ Author ID: 764189;
e-mail: V.Pleshakov@mail.ru

Information about the authors

Sergey G. Ivakhnyuk, candidate of technical sciences (Rus.), deputy head of the Research Institute, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moskovskiy prospect, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 708424; AuthorID: 57442237000; ResearcherID: L-1764-2013; ORCID: 0000-0003-4651-8211;
e-mail: sgi78@mail.ru

Natalia V. Petrova, candidate of technical sciences (Rus.), leading researcher at the Research Center for Fire Expertise, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moskovskiy prospect, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; RSCI ID: 558333; ORCID: 0000-0002-2478-6736;
e-mail: n-youn@mail.ru

Vitaly V. Pleshakov, candidate of technical sciences (Rus.), associate professor, deputy head of the Department of Supervision, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID ID: 0000-0003-2698-1815, RSCI SPIN code: 9461-4419; RSCI Author ID: 764189;
e-mail: V.Pleshakov@mail.ru