В ЭТОМ НОМЕРЕ:

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ
Калач А. В., Лоран Н. М., Николаев Д. И.…… **3**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕЛЬФИ И АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРИОРИТЕТНОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТЕ ЗАЩИТЫ
Ковальский Ф. С., Мосолов А. С., Прус Ю. В…… **12**

ИЗУЧЕНИЕ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСМЕЩЕННОЙ ОЦЕНКИ
Харин В. В., Бобринев Е. В., Удавцова Е. Ю., Кондашов А. А…… **21**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
Кайбичев И. А., Тужиков Е. Н…… **30**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОНА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И…… **38**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ
Прус Ю. В., Чистякова А. А., Прус М. Ю…… **44**

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ТЕХНОГЕННОЙ АВАРИИ НА ГАЗОНЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ НА РАССЕИВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ
Добрынина Н. Ю., Якубова Т. В…… **63**

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДРЕВЕСИНУ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Беззапонная О. В…… **70**

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ С ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОДАЧЕЙ ЖИДКОСТИ
Пахомов Г. Б., Дульцев С. Н., Тужиков Е. Н…… **81**

АНАЛИЗ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»
Ястребинская А. В., Атанова Е. Н..... ***95***

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЗАМЕРЗАЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ
Пахомов Г. Б., Дульцев С. Н., Тужиков Е. Н..... ***101***

ИССЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ С ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМЕ СТАНДАРТНОГО ПОЖАРА
Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В., Сафронова И. Г..... ***108***

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ
Шимон Н. С., Калач А. В., Куприенко П. С., Архипов М. И..... ***121***

УТОЧНЕНИЯ К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ВОДЫ К МЕСТУ ПОЖАРА МЕТОДОМ ПЕРЕКАЧКИ
Малютин О. С., Малый В. П., Дупляков Г. С..... ***129***

АНАЛИЗ ДАННЫХ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
Кректунов А. А., Корнилов А. А., Залесов С. В..... ***142***

ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СОВЕРШЕНСТОВАНИИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
Макарова Т. П., Батуро А. Н., Ширинкин П. В..... ***150***

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 656.073: 656.085.5

A_Kalach@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

CURRENT STATE OF CARGO TRANSPORTATION ORGANIZATION AND FIRE SAFETY ON WATER TRANSPORT

Калач А. В., доктор химических наук, профессор,
Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
Уральский институт
ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Лоран Н. М., Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, Санкт-Петербург,
Николаев Д. И., Уральский институт
ГПС МЧС России, Екатеринбург

Kalach A. V., Voronezh State Technical University, Voronezh,
The Ural Institute of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Loran N. M., Saint-Petersburg University of state fire service
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg,
Nikolaev D. I., The Ural Institute of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В статье рассмотрены актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности на водном транспорте (контейнеровозах). Проанализирована динамика и особенности организации транспортировки крупных грузов морским путем. Приведены данные о пожарах на контейнеровозах за период с 2000 по 2015 годы.

Ключевые слова: водный транспорт, грузоперевозки, пожарная безопасность, контейнеровоз, риск.

The article considers topical problems of fire safety in water transport (container ships). Dynamics and peculiarities of organization of transportation of large cargoes by sea analyzed. Data about fires on containerships are given.

Keywords: water transport, cargo transportation, fire safety, container ship, risk.

Транспорт играет важную роль в обеспечении роста национального благосостояния страны, поскольку обеспечивает территориальную целостность государства и единство экономического пространства, а также служит материальной основой обеспечения внешнеэкономических связей России и ее интеграции в глобальную экономику; создает условия повышения конкурентоспособности российских товаров и услуг на мировом рынке; формирует спрос на высокотехнологичную продукцию различных сфер национальной экономики [1]. Особую роль играют объекты водного транспорта. Современные технологии, применяемые в судоходстве и кораблестроении, пропорционально увеличивают риск возникновения пожароопасных ситуаций на водном транспорте [2–5].

Правила и требования пожарной безопасности к водному транспорту (судам) различного назначения, находящимся в плавании, гораздо жестче, чем к объектам на суше, поскольку из-за удаленности отсутствует возможность рассчитывать на быструю помощь других организаций (например, подразделения МЧС России и т. д.). Несмотря на этот факт, в настоящее время основной причиной катастроф на водном транспорте (кораблях и судах) являются ситуации, связанные с нарушением пожарной безопасности. Современный водный транспорт насыщен многочисленными механизмами, всевозможным оборудованием, работающим при высоких температурах и давлении, на жидком топливе и масле, иногда требующем прогрева, вследствие чего увеличивается количество источников зажигания или взрыва [6].

Особенности планировки водного транспорта включают развитую систему вентиляции, огромное количество помещений с учетом их разновидности и расположения, наличие коммуникаций и т. д., что оказывает существенное влияние на «картину пожара», которую нельзя сравнить с аналогичными случаями пожаров на других сооружениях. Эти особенности конструкции водного транспорта способствуют быстрому развитию пожара и сопровождаются значительными материальными потерями, а зачастую и человеческими жертвами. Многообразие пожаров на водном транспорте определяет выбор мер противопожарной защиты, а также расчет количества сил и средств, необходимых для ликвидации пожара [7, 8].

Более конкретные требования пожарной безопасности, касающиеся всех аспектов надлежащего поддержания противопожарного судна в различных ситуациях, изложены в следующих нормативных документах [2–5].

Следует отметить, что полномочия по обеспечению пожарной безопасности при эксплуатации воздушных, морских судов, судов внутреннего водного и смешанного (река-море) плавания, иных плавучих объектов возложены на Федеральную службу по надзору в сфере транспорта, а не на МЧС России [3, 9, 10].

Организация грузоперевозок водным транспортом в Российской Федерации

В настоящее время самой рентабельной является транспортировка крупных грузов морским путем. Согласно данным аналитического онлайн-сервиса информационно-аналитического агентства SeaNews контейнерооборот всех морских портов России в 2019 году вырос на 4,8 %. Объем перевалки импортных контейнеров увеличился на 5,6 %, каботажных – на 4 %, транзитных и экспортных – на 7,7 % и 4,1 % соответственно (рис. 1) [11–13].

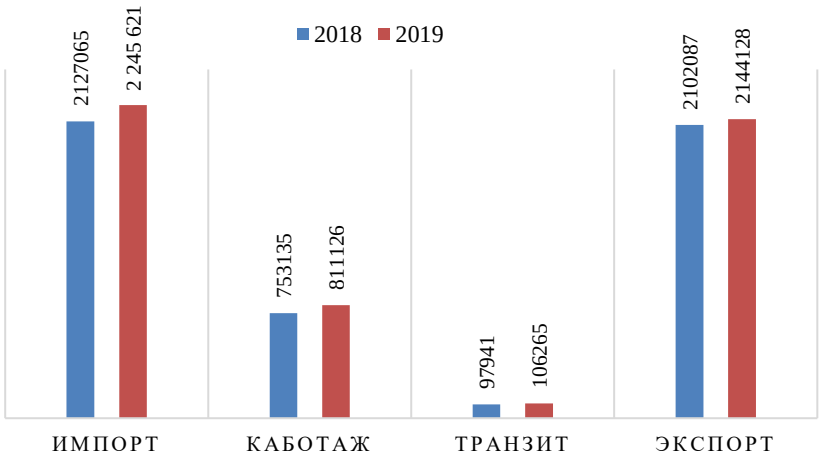


Рисунок 1. Динамика изменения вместимости грузовых транспортных средств (TEU) за 2018–2019 годы

Наибольший объем контейнерооборота пришелся на порты Балтийского бассейна – 2,6 млн TEU (+5,2 %). При этом импорт вырос на 5,6 %, экспорт – на 4,8 %. На втором месте – порты Дальневосточного бассейна (более 1,8 млн TEU, +6,4 %). Оборот импортных контейнеров увеличился на 8,7 %, каботажных – на 7,7 %, транзитных – на 8,5 %, экспортных – на 2 %. Объем перевалки контейнеров портами Азово-Черноморского бассейна вырос на 1,4 % до 779,9 тыс. TEU. При этом импорт увеличился на 1,6 %, экспорт – на 4,1 %. Каботаж и транзит, напротив, снизились на 91,7 % и 55,3 % соответственно. Контейнерооборот портов Арктического бассейна в 2019 году составил 159,4 тыс. TEU (–2,8 %). Большая часть контейнеров Арктики проходит в каботаже, который по итогам года снизился на 2,9 %. Импорт уменьшился на 12,3 %. Экспорт вырос на 57,7 %. Порты Каспийского бассейна в 2019 году обработали 2,5 тыс. TEU, на 22,7 % больше, чем за аналогичный период 2018 года. Положительная динамика наблюдается в импорте (+19,1 %) и экспорте (+50,1 %), отрицательная – в каботаже (–15,4 %) [11, 12].

По данным Росстата, перевозки внутренним водным транспортом выросли по сравнению с показателем января прошлого года на 17,5 % до 2,35 млн тонн (–19 % к уровню декабря 2019 года) [14]. На рис. 2 приведена динамика перевозок грузов автомобильным, железнодорожным и водным транспортом.

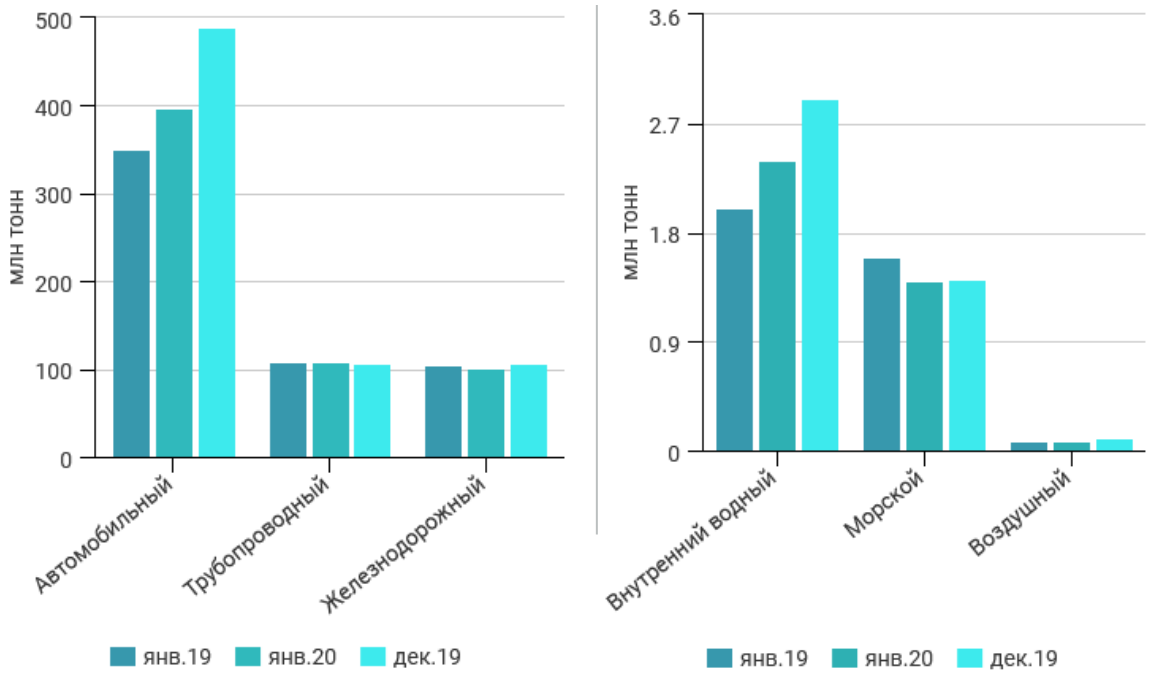


Рисунок 2. Динамика перевозок грузов автомобильным, железнодорожным и водным (речной, морской) транспортом за 2019 год – начало 2020 года

Обеспечение пожарной безопасности на водном транспорте

Пожары на водных контейнеровозах являются одной из крупнейших опасностей для мировой судоходной отрасли.

Этот факт следует учитывать при обеспечении пожарной безопасности на водном транспорте. Международный союз морского страхования (IUMI) призывает внести поправки в правила пожарной безопасности на судах в связи с тем, что крупные пожары на контейнеровозах относятся к числу самых тяжелых опасностей мировой судоходной отрасли [13, 15].

Каждый пожар на объекте водного транспорта приводит к ущербу или даже потере груза, судна и оказывает негативное влияние на окружающую среду. Кроме того, члены экипажа водного транспорта сталкиваются со значительными рисками при борьбе с такими пожарами с помощью имеющихся в наличии технических средств и оборудования [16].

Пожары на водном транспорте в открытом море зачастую могут продолжаться от пары часов до нескольких дней и даже недель, вплоть до прибытия помощи с земли. Как правило, лишь на морских буксирах присутствует все необходимое пожарно-техническое вооружение для эффективного пожаротушения.

Для оценки масштабов чрезвычайных происшествий на судах рассмотрим статистику пожаров на объектах водного транспорта за последние 15 лет.

В рассматриваемый период были зарегистрированы 56 крупных пожаров на морском транспорте (контейнеровозы) (рис. 3).

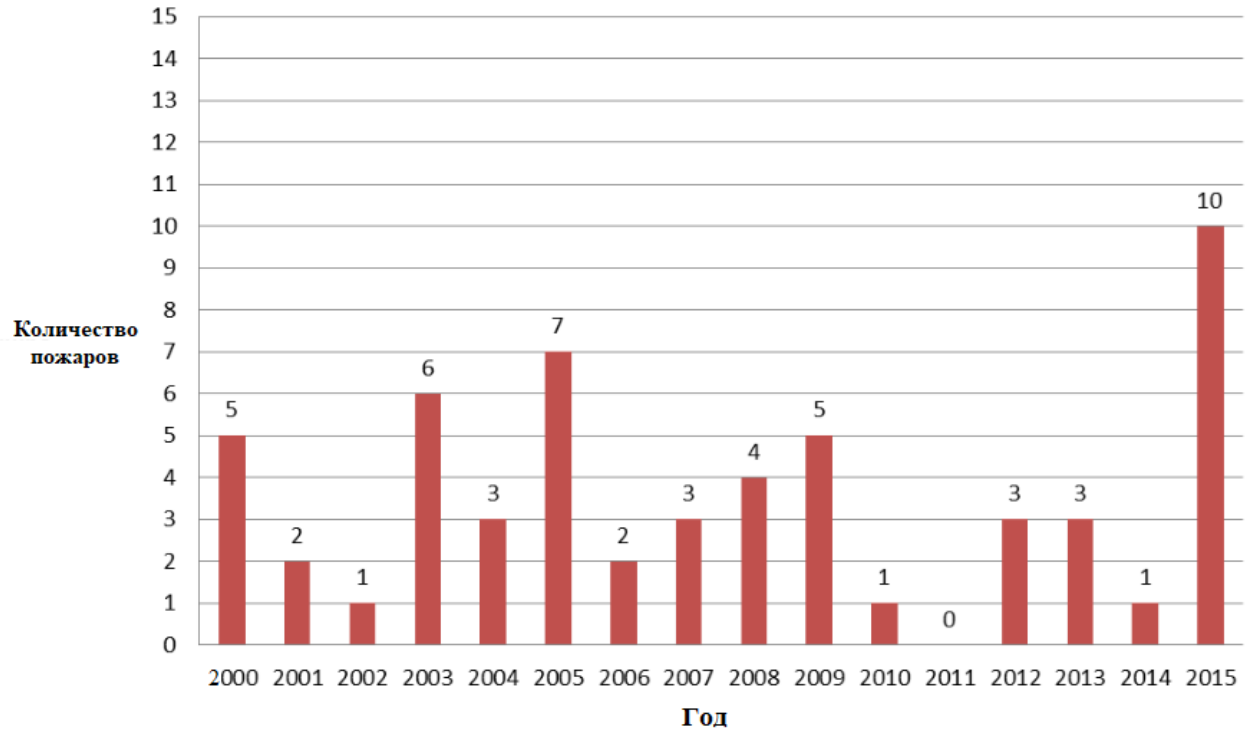


Рисунок 3. Динамика пожаров на объектах морского транспорта в период с 2000 по 2015 годы

На рис. 4 представлена статистика пожаров в результате взрыва на водном транспорте.

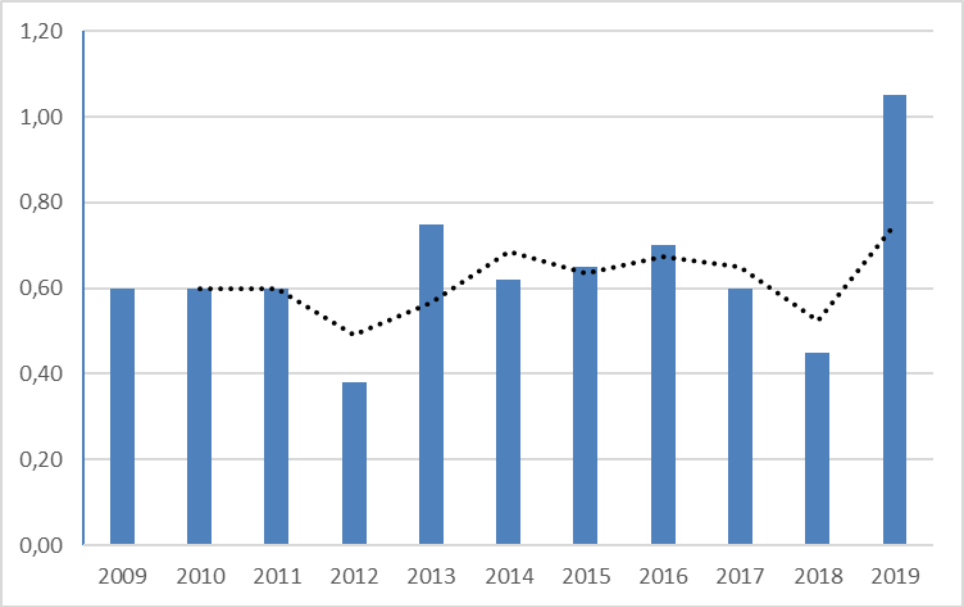


Рисунок 4. Относительное количество пожаров, произошедших в результате взрыва на водном транспорте

Следует отметить, что за рассматриваемый временной период средний размер морских судов увеличился примерно в два раза с 1700 до 3600 TEU. Например, крупнейшие суда в 2000 году имели вместимость 9500 TEU, тогда как сегодня их вместимость составляет 20 000 TEU [13].

На рис. 5 приведены данные о пожарах на контейнеровозах в период с 2009 по 2019 годы.

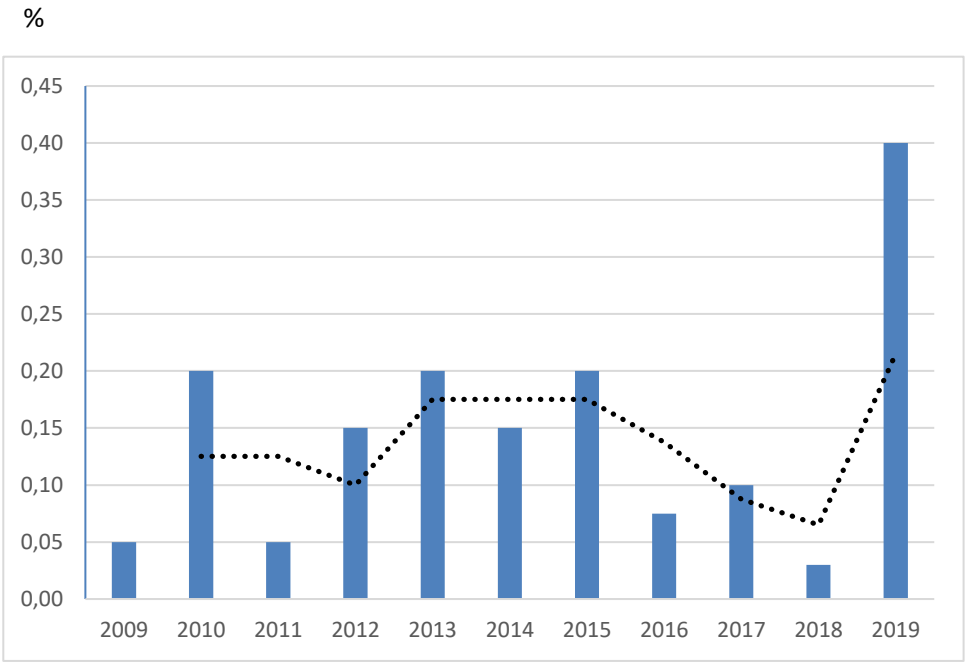


Рисунок 5. Динамика пожаров на контейнеровозах в период с 2009 по 2019 годы

На рис. 6 приведена динамика пожаров в грузовых отсеках контейнеровозов (масса грузов более 50000 т).

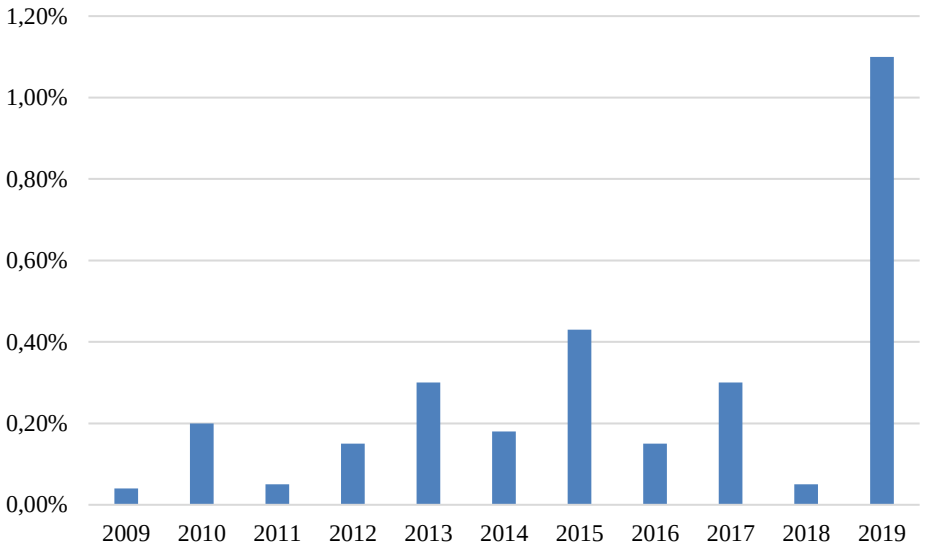


Рисунок 6. Динамика пожаров в грузовых отсеках контейнеровозов

Распределение частоты пожаров на судах различной вместимости с шагом 1000 TEU приведено на рис. 7.

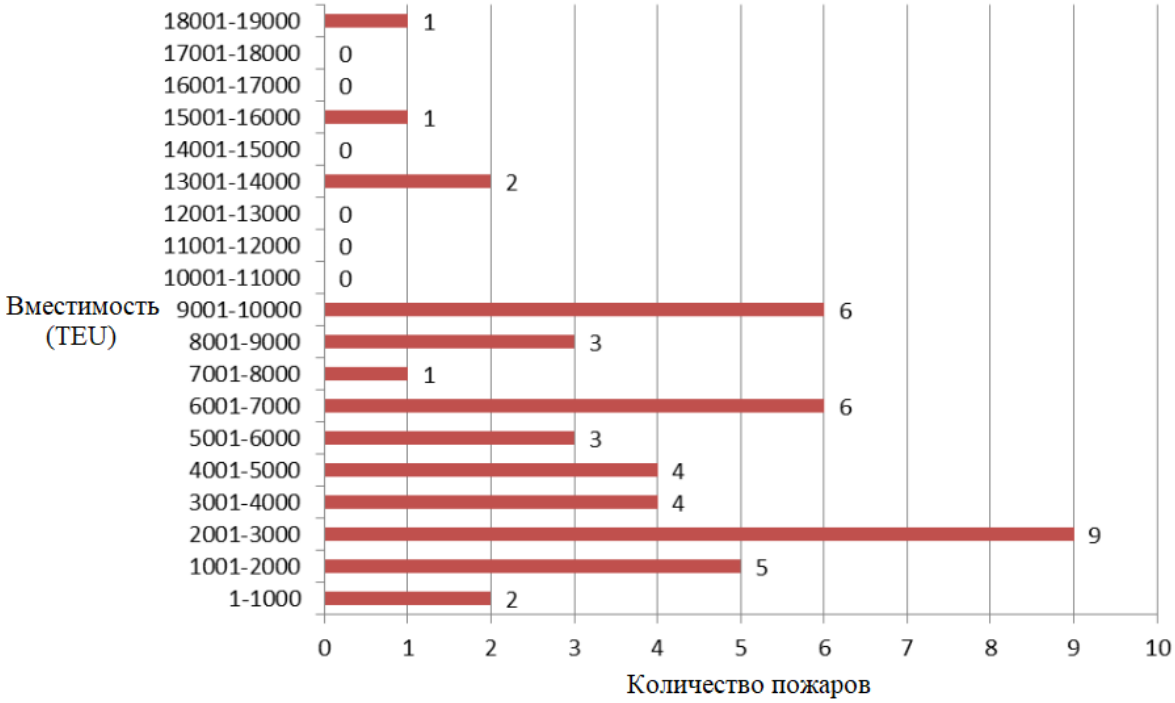


Рисунок 7. Частота пожаров на судах различной вместимости

Из данных рис. 7 видно, что минимальное количество пожаров происходило на судах вместимостью более 10 000 TEU. Лишь 8,5 % всех пожаров произошло на судах вместимостью более 10 000 TEU. Суда такого размера имеют на своем борту все

необходимое для эффективной борьбы с огнем.

Традиционно исследователи делят пожары на грузовом водном транспорте на малые, средние и крупные. Согласно этой классификации на рис. 8 приведены данные о среднем времени ликвидации пожара на водном транспорте.

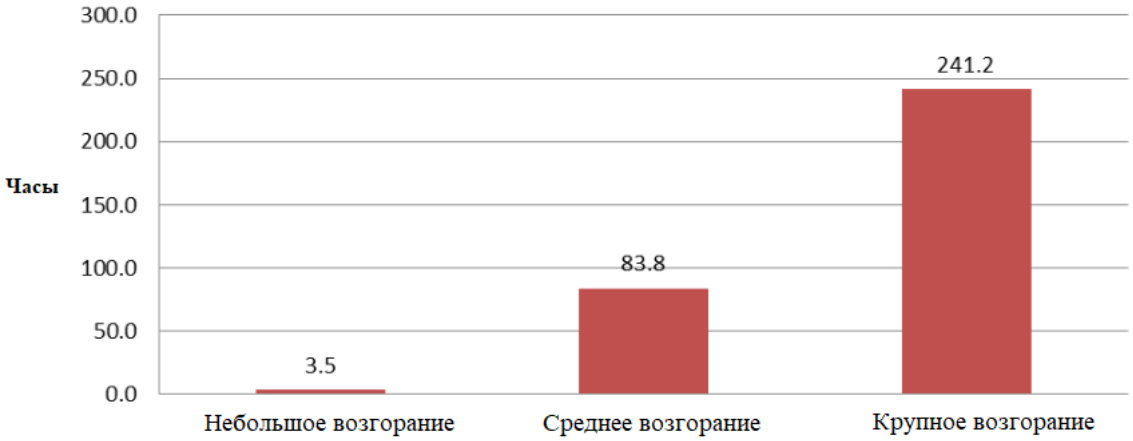


Рисунок 8. Данные о среднем времени ликвидации пожара на водном транспорте

Причиной пожаров на борту судов может стать неверно задекларированный груз, как, например, произошло с контейнеровозом Yantian Express в январе 2019 года. Федеральное бюро расследований морских происшествий Германии (BSU) в феврале 2019 года заявило том, что наиболее вероятной причиной пожара на Yantian Express стал неверно задекларированный груз: в контейнере, в котором начался пожар, находился кокс, а не гранулированный кокс, изначально указанный в декларации [17].

Объекты водного транспорта, как правило, оснащены системой углекислотного пожаротушения. Однако меры пожарной безопасности, применяемые в настоящее время на объектах водного транспорта, малоэффективны, поскольку на судах (контейнеровозах) наличие противопожарных отсеков не регламентировано в отличие от наземных складских помещений. По мнению генерального секретаря IUMI Ларса Ланге, «никому в голову не приходит построить склад длиной 500 м и шириной 50 м без каких-либо противопожарных отсеков. Тогда почему этого нет на борту судов? Такие отсеки, например, можно создать и на контейнеровозах. В этом случае мы сможем избежать того, что при пожаре, начавшемся в одном контейнере, выгорает от 30 % до 70 % судна» [15].

Анализ современного состояния и проблем развития водной транспортной системы России и обеспечения пожарной безопасности на судах указывает на то, что они имеют системный характер и требуют комплексного подхода к их решению.

Литература

1. Палкина Е. С. Современное состояние и актуальные проблемы развития водного транспорта России // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2013. № 3 (22). С. 126–136.

2. Приказ Минтранса РФ от 24 декабря 2002 г. № 158 «Об утверждении Правил пожарной безопасности на судах внутреннего водного транспорта Российской Федерации» (с изм. и доп.).

3. Приказ Министерства транспорта РФ от 30 апреля 2013 г. № 154 «Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по надзору в сфере транспорта исполнения государственной функции по осуществлению федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением законодательства Российской Федерации, в том числе международных договоров Российской Федерации об обеспечении пожарной безопасности при эксплуатации морских судов, судов внутреннего водного и смешанного (река-

море) плавания, иных плавучих объектов».

4. Постановление Министерства транспорта Российской Федерации от 31 октября 2003 года № 10 «О Правилах пожарной безопасности на морских судах».

5. ППБ СРС 01–2009 Правила пожарной безопасности на строящихся и ремонтируемых судах. Правила пожарной безопасности при проведении огневых работ на судах, находящихся у причалов морских портов, судоремонтных предприятий, утвержденные постановлением Минтранса РФ № 12 от 12.02.2004.

6. ГОСТ Р 55230–2012 Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Требования к пожарной безопасности. М., 2013.

7. Шарапов С. В., Крутолапов А. С., Копейкин Н. Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 1. С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.

8. Чернецов И. Н. Совершенствование системы организации управления взаимодействием экипажа и подразделений Государственной противопожарной службы при тушении пожаров на кораблях и судах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / С.-Петерб. ун-т МВД России. – Санкт-Петербург, 2002. 187 с.

9. Постановление Правительства РФ от 30 июля 2004 г. № 398 «Об утверждении положения о федеральной службе по надзору в сфере транспорта» // СПС Консультант плюс.

10. Федеральный закон 07.03.2001 № 24-ФЗ «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» // СПС Консультант плюс.

11. URL: https://seanews.ru.

12. URL: https://www.mortrans.info.

13. Helge R. Analysis of fires and firefighting operations on fully cellular container vessels over the period 2000–2015. Diploma dissertation for the award of the academic degree «Diplom-Wirtschaftsingenieur für Seeverkehr (FH)» (BSc equivalent in marine industrial engineering). 2016. 86 p.

14. URL: https://www.gks.ru/.

15. URL: https://iumi.com/.

16. Приказ Минтранса России от 17.07.2012 № 239 «Об утверждении Административного регламента Федерального агентства морского и речного транспорта предоставления государственной услуги по предоставлению судну освобождения (изъятия) от выполнения требований Международной конвенции о грузовой марке 1966 года, Конвенции о Международных правилах предупреждения столкновения судов в море 1972 года, Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года (с изменениями, внесенными Протоколом 1978 года к ней) и Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года» // СПС Консультант плюс.

17. URL: https://www.bfu-web.de/DE/Home/homepage_node.html.

References

1. Palkina E. S. State of the Art and Current Problems of Development of Water Transport of Russia // Journal of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S. S. Makarov. 2013. № 3 (22). P. 126–136.

2. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 158 of 24 December 2002 "On Approval of Fire Safety Regulations on Inland Water Transport Vessels of the Russian Federation" (as amended and supplemented).

3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 154 of 30 April 2013 "On Approval of the Administrative Regulations of the Federal Service for Supervision in the Field of Transport of the Performance of the State Function for the Implementation of Federal State Control" (Supervision) of compliance with the legislation of the Russian Federation, including international agreements of the Russian Federation on fire safety during the operation of sea vessels, inland water and mixed (river-sea) navigation vessels, other floating objects".

4. Resolution No. 10 of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 31 October 2003 "On Fire Safety Regulations on Ships."

5. PPB SRS 01–2009 Fire safety rules on ships under construction and repair. The fire safety regulations when carrying out hot work on the vessels which are at moorings of seaports, the ship-repair enterprises approved by the resolution of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 12 of 12.02.2004.

6. GOST R 55230–2012 Ship engines, diesel locomotives and industrial engines. Fire safety requirements. M., 2013.

7. Sharapov S. V., Krutolapov A. S., Kopeykin N. N. Analysis of information on fires on ships and their extinguishing practice in ports // Fire and explosion safety. 2017. T. 26, No. 1. P. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.

8. Chernetsov I. N. Improvement of the system of organization of interaction management between the crew and units of the state fire service during fire fighting on ships and ships: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.13.10 / St. Petersburg. Ministry of Internal Affairs of Russia. – Lenexpo Exhibition Complex, 2002. – 187 p.

9. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 398 of 30 July 2004 "On Approval of the Regulation on the Federal Service for Supervision in the Field of Transport" // ATP Consultant Plus.
10. Federal Law 07.03.2001 No. 24-ФЗ "Code of Inland Water Transport of the Russian Federation" // ATP Consultant Plus.
11. The Internet – the https://seanews.ru resource.
12. The Internet – the https://www.mortrans.info resource.
13. Helge R. Analysis of fires and firefighting operations on fully cellular container vessels over the period 2000–2015. Diploma dissertation for the award of the academic degree «Diplom-Wirtschaftsingenieur für Seeverkehr (FH)» (BSc equivalent in marine industrial engineering). 2016. 86 p.
14. The Internet – the https://www.gks.ru/resource.
15. The Internet – the https://iumi.com/resource.
16. The order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 17.07.2012 No. 239 "About the approval of Administrative regulations of Federal Agency for Sea and Inland Water Transport of providing public service on providing release to the vessel (Exceptions) to the requirements of the 1966 International Freight Mark Convention, the 1972 Convention on International Regulations for the Prevention of Collision of Ships at Sea, and the 1973 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (As amended by the 1978 Protocol thereto) and the 1974 International Convention for the Safety of Life at Sea" // ATP Consultant Plus.
17. The Internet – the https://www.bfu-web.de/DE/Home/homepage_node.html resource.

УДК 62.02 *asmosolov@yandex.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕЛЬФИ И АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРИОРИТЕТНОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТЕ ЗАЩИТЫ

APPLICATION OF METHODS OF DELPHI AND ANALYSIS OF HIERARCHIES AT THE CHOICE OF THE PRIORITY SCENARIO OF DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATION AT THE PROTECTED OBJECT

Ковальский Ф. С.,
Мосолов А. С., кандидат технических наук, доцент,
РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва,
Прус Ю. В., доктор физико-математических наук, профессор,
Российский государственный университет нефти и газа
(Научно-исследовательский университет) им. И. М. Губкина, Москва

Kovalskii F. S., Mosolov A. S.,
Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
Prus Yu. V., National University of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow

В статье рассмотрено применение методов экспертных оценок, которые целесообразно использовать для принятия решений при наличии большого числа альтернатив и разнонаправленных критериев. Исследуется возможность использования «метода анализа иерархий» и «метода Дельфи» при определении приоритетного сценария развития аварийной ситуации в случае совершения акта незаконного вмешательства, в том числе террористического акта, внутренним нарушителем путем реализации угрозы технического воздействия на критические элементы объекта.

Ключевые слова: приоритетный сценарий, метод анализа иерархий, метод смещенного идеала, метод Дельфи, технологическая безопасность, комплексная безопасность объектов ТЭК, террористический акт, угроза технического воздействия.

The article discusses the application of expert assessment methods, which are advisable to use for decision making in the presence of a large number of alternatives and multidirectional criteria. The possibility of using the “hierarchy analysis method” and the “Delphi method” to determine the priority scenario for the development of an emergency in the event of an act of unlawful interference, including a terrorist act, is investigated by an internal violator by realizing a threat of technical impact on critical elements of the object.

Keywords: priority scenario, hierarchy analysis method, shifted ideal method, Delphi method, technological security, integrated security of fuel and energy facilities, terrorist act, threat of technical impact.

Определение приоритетного сценария развития аварийной ситуации в результате акта незаконного вмешательства (АНВ) на объекте топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является чрезвычайно важной проблемой при категорировании объектов ТЭК [1]. В зависимости от значений показателей критериев категорирования объекту присваивается категория потенциальной опасности от акта незаконного вмешательства, а для критических элементов устанавливается определенный уровень защищенности [2]. Для решения этой проблемы в литературе [3, 4] описан метод (далее – Метод), позволяющий из

множества вероятных сценариев выбрать приоритетный сценарий, который будет стремиться реализовать потенциальный нарушитель. Структура Метода включает следующие этапы:

1. Анализ производства.
2. Определение списка возможных сценариев (комбинации отказов и вероятности из возникновения) развития аварийной ситуации.
3. Определение последствий для каждого сценария.
4. Прогнозирование сценариев развития аварийной ситуации с использованием метода смещенного идеала (МСИ) [5].

Надежность Метода, в том числе для уменьшения влияния человеческого фактора (ошибка, предвзятое мнение и т. д.), в данной статье подкрепляется результатами исследований с применением методов экспертных оценок: метода Дельфи [6] и метода анализа иерархий (МАИ) [7].

С помощью указанных экспертных методов определяется важность каждого из критериев, по которым оцениваются последствия от АНВ.

Метод Дельфи, разработанный в 50 – 60-е годы XX века сотрудниками «РЭНД Корпорейшн» (США) Д. Гордоном и О. Хелмером с целью прогнозирования влияния научных разработок на способы ведения военных действий, используется для многоуровневого и анонимного анализа экспертных решений [6]. Его цель заключается в выборе наиболее вероятного решения проблемы или задачи с использованием мозгового штурма, интервьюирования и опросов экспертов. В нашем случае предложено его использование для того, чтобы экспертным путем оценить степень важности критериев категорирования для последствий аварийных ситуаций.

Рассмотрим этапы метода Дельфи.

1. Определение состава экспертной группы.
2. Получение мнения экспертов.
3. Анализ полученных данных и повторный опрос экспертов с указанием ответов всех экспертов.
4. Повторение пунктов 2,3 до тех пор, пока не будет изменений решений.
5. Анализ полученных данных.

На первом этапе производится отбор экспертной группы. Количество участников не ограничено, но рекомендуется привлекать не более 20 человек. Группа составляется полностью анонимно, эксперты не должны знать личности участников для исключения субъективного фактора.

На втором этапе экспертам предоставляются опросные листы с заданием указать важность каждого из четырех критериев последствий аварийной ситуации от 0 до 10, где 0 – не важно, а 10 – важно. В опросных листах используются следующие критерии последствий аварийной ситуации: вероятность отказа системы, зона чрезвычайной ситуации (ЧС), экономический ущерб, количество пострадавших. Определения критериев, кроме вероятностного, раскрыты в [8]: в частности, под зоной чрезвычайной ситуации (зона ЧС) понимается территория, условия жизнедеятельности людей на которой нарушены. Глубина территории заражения, загрязнения, разрушения и т. п. от эпицентра совершения базовой угрозы определяется в метрах в соответствии с методикой расчета, принятой межведомственной комиссией по категорированию [9].

На третьем этапе анализируются ответы экспертов, и опросные листы вновь передаются экспертам, но уже с указанием ответов всех экспертов. Перед отвечающим ставится задача ознакомиться с ответом всех членов экспертной группы и изменить, или не изменить ранее выставленные Вами баллы.

Четвертый этап заключается в повторении пунктов 2 и 3 до тех пор, пока все эксперты не перестанут вносить изменения в свои ответы.

На пятом этапе анализируется окончательный вариант распределения важно-

сти между критериями и определяется важность каждого критерия как среднее значение всех ответов (окончательных) экспертов по данному критерию.

Метод анализа иерархий (МАИ) (усеченный вид метода, представленного в [7]) заключается в анализе последствий аварийной ситуации с учетом важности каждого критерия (рассчитанного по методу Дельфи) и определении наиболее опасного сценария развития аварийной ситуации, выбор которого в дальнейшем подтверждается математическими методами нормирования и многокритериальной оптимизации [5].

В качестве исходных данных для описания МАИ используем данные, описанные в [3] для блока компримирования водорода установки производства водорода и представленные в таблице 1. Алгоритмы получения расчетных данных, представленных в таблице 1, детально описаны в [3]. Они представляют собой последствия той либо иной комбинации отказов, которые возникнут в результате сложившейся аварийной ситуации после совершения акта незаконного вмешательства.

Таблица 1

Расчетные числовые значения последствий комбинаций отказов

Комбинация	**Критерии**			
	Вероятность отказа системы	**Зона ЧС, м**	**Экономический ущерб, руб.**	**Количество пострадавших, чел.**
$К_1$	0,0277	28,05	70508,70	5
$К_2$	0,009	28,52	73877,50	7
$К_3$	0,0277	30,24	464319,1	7
$К_4$	0,0154	35,15	468433,9	7
$К_5$	0,0277	62,52	1075618,8	19
$К_6$	0,0277	62,52	1075618,8	19
$К_7$	0,0154	35,15	613701,10	7
$К_8$	0,0277	62,52	1075618,8	19
$К_9$	0,023	3	1939,6	0
$К_{10}$	0,0003	28,52	73877,5	7
$К_{11}$	0,001	28,05	70508,7	5
$К_{12}$	0,0006	35,15	468433,9	7
$К_{13}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{14}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{15}$	0,0006	35,15	613701,1	7
$К_{16}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{17}$	0,0008	3	1939,6	0
$К_{18}$	0,0003	28,52	73877,5	7
$К_{19}$	0,0002	35,15	468433,9	7
$К_{20}$	0,0003	30,24	464319,1	7
$К_{21}$	0,0003	28,52	73877,5	7
$К_{22}$	0,0002	35,15	613701,1	7
$К_{23}$	0,0003	28,52	73877,5	7
$К_{24}$	0,0003	3	1939,6	0
$К_{25}$	0,0006	30,24	464319,1	7
$К_{26}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{27}$	0,001	62,52	1075618,8	19

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС, м	Экономический ущерб, руб.	Количество пострадавших, чел.
$К_{28}$	0,0006	35,15	613701,1	7
$К_{29}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{30}$	0,0008	3	1939,6	0
$К_{31}$	0,0006	35,15	468433,9	7
$К_{32}$	0,0006	35,15	468433,9	7
$К_{33}$	0,0003	35,15	468433,9	7
$К_{34}$	0,0006	35,15	468433,9	7
$К_{35}$	0,0005	3	1939,6	0
$К_{36}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{37}$	0,0006	30,24	464319,1	7
$К_{38}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{39}$	0,0008	3	1939,6	0
$К_{40}$	0,0006	35,15	613701,1	7
$К_{41}$	0,001	62,52	1075618,8	19
$К_{42}$	0,0008	3	1939,6	0
$К_{43}$	0,0006	35,15	613701,1	7
$К_{44}$	0,0005	3	1939,6	0

Метод анализа иерархий (в нашем случае, с учетом объема статьи рассматриваем усеченный вариант) состоит из 3 этапов:

1. Нормирование значений каждого критерия и важности критериев (под важностью критерия понимается субъективная оценка экспертов, в вероятностном значении, определяющая значимость того, либо иного критерия).

2. Расчет цены каждой комбинации (под ценой комбинации подразумевается численная величина её привлекательности. Каждая комбинация отказов является сценарием развития аварийной ситуации ввиду отказа какого-либо из элементов либо совокупности элементов).

3. Расположение сценариев (комбинаций) в порядке увеличения их цен, формирование рейтинга комбинаций.

На первом этапе происходит:

– нормирование *значений каждого критерия*,

– нормирование *важности критериев*.

Нормирование *значений каждого критерия* вычисляется по формуле:

$$К_{ij} = \frac{К_{исх,ij}}{К_{сум,j}},$$

где $К_{ij}$ – нормированное значение комбинации i-й комбинации j-го критерия; $К_{исх,ij}$ – нормируемое значение i-й комбинации j-го критерия; $К_{сум,j}$ – сумма всех значений j-го критерия.

Например, так осуществляется нормирование значения комбинации 1 для критерия «Вероятность отказа системы»:

$$К_{11} = \frac{0,0277}{0,224} = 0,123.$$

Нормирование *важности критериев* вычисляется по формуле:

$$В_j = \frac{В_{исх,j}}{В_{сум}},$$

где $В_j$ – нормированное значение важности j-го критерия; $В_{исх,j}$ – нормируемое значение субъективной оценки экспертом важности j-го критерия; $В_{сум}$ – сумма всех значений важности всех критериев.

Проиллюстрируем получение нормированных значений важности критериев на примере таблицы 6 [3]. Напомним, оценки важности критериям определяют эксперты – члены межведомственной комиссии (МВК) по категорированию: представитель Минэнерго России, представитель ФСВНГ, представитель МЧС, представитель ФСБ, представитель администрации территориального субъекта, представитель департамента жилищно-коммунального хозяйства территориального субъекта [9]. С целью обеспечения незаинтересованности экспертов в процессе присвоения весов критериям, представители объекта ТЭК из состава МВК в экспертной оценке не принимают участия. Кроме того, присвоенные значения важности критериям носят анонимный характер.

Нормированное значение важности критериев рассчитывалась следующим образом:

1) Определение среднего значения важности каждого критерия (
2) Таблица ***2***);

Таблица 2

Веса критериев, определенные экспертами

Критерий	**Важность критерия**						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**Среднее значение**
Вероятность отказа системы	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,15
Зона ЧС	0,7	0,1	0,1	0,2	0,7	0,3	0,35
Экономический ущерб	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1	0,2	0,25
Количество пострадавших	0,1	0,1	0,7	0,4	0,1	0,1	0,25

3) Нормирование средних значений важности каждого критерия в соответствии с формулой:

$$B_j = \frac{B_{исх,j}}{B_{сум}}.$$

Так, для критерия «Вероятность отказа системы» нормированное значение важности рассчитывается следующим образом:

$$B_1 = \frac{0,15}{0,15 + 0,35 + 0,25 + 0,25} = 0,15.$$

В таблице 3 представлены результаты нормирования важности критериев.

Таблица 3

Нормированные значения важности критериев

Критерий	$\mathbf{B_{исх,}}$	$\mathbf{B_j}$
Вероятность отказа системы	0,15	0,15
Зона ЧС	0,35	0,35
Экономический ущерб	0,25	0,25
Количество пострадавших	0,25	0,25

В таблице 4 приведены нормированные значения каждой комбинации.

Таблица 4

Нормированные значения каждой комбинации отказов

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	**Зона ЧС**	**Экономический ущерб, руб.**	**Количество Пострадавших, чел.**
K_1	1,23E-01	1,81E-02	3,17E-03	1,28E-02
K_2	4,00E-02	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K_3	1,23E-01	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K_4	6,85E-02	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_5	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_6	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_7	6,85E-02	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K_8	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_9	1,02E-01	1,93E-03	8,72E-05	0,00E+00
K_{10}	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K_{11}	4,45E-03	1,81E-02	3,17E-03	1,28E-02
K_{12}	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{13}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{14}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{15}	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K_{16}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{17}	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K_{18}	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K_{19}	8,90E-04	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{20}	1,34E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K_{21}	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K_{22}	8,90E-04	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K_{23}	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K_{24}	1,34E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K_{25}	2,67E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K_{26}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{27}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{28}	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K_{29}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{30}	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0,00E+00
K_{31}	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{32}	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{33}	1,34E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{34}	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K_{35}	2,22E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K_{36}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{37}	2,67E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K_{38}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{39}	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K_{40}	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K_{41}	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K_{42}	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС	Экономический ущерб, руб.	Количество Пострадавших, чел.
$К_{43}$	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
$К_{44}$	2,22E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
$К_{45}$	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0

На втором этапе определяется цена каждой комбинации. Напомним, что под ценой комбинации подразумевается численная величина её привлекательности. Чем выше значение цены комбинации, тем она привлекательнее (представляет наибольшую опасность). Расчет производится по формуле:

$$S_i = \sum_i^j (B_j \cdot K_{ij}),$$

где S_i – цена i-й комбинации; K_{ij} – нормированное значение i-й комбинации j-го критерия.

Так, цена комбинации 1 рассчитывалась следующим образом:

$$S_1 = 0{,}123 \cdot 0{,}15 + 0{,}0181 \cdot 0{,}35 + 0{,}00317 \cdot 0{,}25 + 0{,}0128 \cdot 0{,}25 = 0{,}0288.$$

Рассчитанные значения цены каждой комбинации приведены в таблице 5.

На третьем этапе комбинации располагают в порядке уменьшения их цены и формируют рейтинг сценариев развития аварийной ситуации, где наиболее приоритетный сценарий располагается в начале списка. Было проведено сравнение результатов анализа с использованием МСИ, данные взяты из [3], и МАИ, результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Рейтинг сценариев

Метод смещенного идеала	Метод анализа иерархий	
Комбинация	**Комбинация**	**Цена комбинации**
$К_5$	$К_5$	5,68E-02
$К_6$	$К_6$	5,68E-02
$К_8$	$К_8$	5,68E-02
$К_3$	$К_{13}$	3,90E-02
$К_1$	$К_{14}$	3,90E-02
$К_7$	$К_{16}$	3,90E-02
$К_4$	$К_{26}$	3,90E-02
$К_{13}$	$К_{27}$	3,90E-02
$К_{14}$	$К_{29}$	3,90E-02
$К_{16}$	$К_{36}$	3,90E-02
$К_{26}$	$К_{38}$	3,90E-02
$К_{27}$	$К_{41}$	3,90E-02
$К_{29}$	$К_3$	3,50E-02
$К_{36}$	$К_7$	2,96E-02
$К_{38}$	$К_1$	2,88E-02
$К_{41}$	$К_4$	2,79E-02
$К_9$	$К_{15}$	1,97E-02
$К_2$	$К_{28}$	1,97E-02

Метод смещенного идеала	Метод анализа иерархий	
Комбинация	**Комбинация**	**Цена комбинации**
$К_{15}$	$К_{40}$	1,97E-02
$К_{28}$	$К_{43}$	1,97E-02
$К_{40}$	$К_{22}$	1,94E-02
$К_{43}$	$К_{12}$	1,80E-02
$К_{12}$	$К_{31}$	1,80E-02
$К_{22}$	$К_{32}$	1,80E-02
$К_{31}$	$К_{34}$	1,80E-02
$К_{32}$	$К_{33}$	1,78E-02
$К_{34}$	$К_{19}$	1,78E-02
$К_{33}$	$К_{2}$	1,77E-02
$К_{25}$	$К_{25}$	1,69E-02
$К_{37}$	$К_{37}$	1,69E-02
$К_{19}$	$К_{20}$	1,67E-02
$К_{20}$	$К_{9}$	1,60E-02
$К_{11}$	$К_{10}$	1,19E-02
$К_{10}$	$К_{18}$	1,19E-02
$К_{18}$	$К_{21}$	1,19E-02
$К_{21}$	$К_{23}$	1,19E-02
$К_{23}$	$К_{11}$	1,10E-02
$К_{17}$	$К_{17}$	1,23E-03
$К_{30}$	$К_{30}$	1,23E-03
$К_{39}$	$К_{39}$	1,23E-03
$К_{42}$	$К_{42}$	1,23E-03
$К_{45}$	$К_{45}$	1,23E-03
$К_{35}$	$К_{35}$	1,03E-03
$К_{44}$	$К_{44}$	1,03E-03
$К_{24}$	$К_{24}$	8,98E-04

По результатам обоих методов приоритетными комбинациями выбраны $К_5$, $К_6$, $К_8$, значения комбинаций по каждому критерию совпадают и соответствуют:

– вероятность отказа системы – 0,0277;

– зона ЧС – 62,52 м;

– экономический ущерб – 1075618,8 руб;

– количество пострадавших – 19 чел.

В таблице 5 цветом указаны различия в результатах используемых методов, однако, несмотря на это, оба метода показывают высокую сходимость, подтверждая расположение комбинаций в порядке уменьшения их приоритета. Несущественные различия между результатами методов можно объяснить разностью важности критериев в каждом методе.

При категорировании объектов ТЭК наиболее трудоемкой и подверженной риску ошибки человека является выбор приоритетного сценария развития аварийной ситуации в результате акта незаконного вмешательства на объект ТЭК. Описанные в данной статье методы Дельфи и анализа иерархий позволяют упростить порядок расчетов и, в то же время, повышают степень надежности метода выбора приоритетного сценария.

Особенно важным представляется возможность применять разработанный в [3] Метод при проведении категорирования объектов ТЭК [1, 2] дистанционно и на

условиях анонимности. Приведенный пример использования методов Дельфи и анализа иерархий только повышает степень доверия к точности оценки при выборе приоритетного сценария развития аварийной ситуации на критических элементах объекта ТЭК, что является одним из основных требований контролирующего органа, ФСВНГ России.

Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2011 № 256-ФЗ «О категорировании объектов топливно-энергетического комплекса»: принят Государственной Думой 6 июля 2011 года.
2. Методические рекомендации по анализу уязвимости производственно-технологического процесса и выявлению критических элементов объекта, оценке социально-экономических последствий совершения на объекте террористического акта и антитеррористической защищенности объекта при проведении категорирования и составлению паспорта безопасности объекта топливно-энергетического комплекса: утв. статс-секретарем-заместителем Министра энергетики РФ 10.10.2012.
3. Акинин Н. И., Губина Т. А., Мосолов А. С. Алгоритм метода определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты // Кокс и химия. 2019. С. 41–49.
4. Патент РФ RU 2 709 155 C1, 16.12.2019. Система оценки безопасности опасного производственного объекта // Патент России. Бюл. № 35 / Губина Т. А., Мосолов А. С., Мосолов А. А.
5. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М., 1981. 560 с.
6. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1980. 263 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метода анализа иерархий. М., 1993. 278 с.
8. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
9. Постановление Правительства РФ от 05.05.2012 № 459 «Об утверждении Положения об исходных данных для проведения категорирования объекта топливно-энергетического комплекса, порядке его проведения и критериях категорирования»: изм. 10.09.2016.

References

1. Federal'nyj zakon ot 21.07.2011 № 256-FZ «O kategorirovanii ob"ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa»: prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 6 iyulya 2011 goda.
2. Metodicheskie rekomendacii po analizu uyazvimosti proizvodstvenno-tekhnologicheskogo processa i vyyavleniyu kriticheskih elementov ob"ekta, ocenke social'no-ekonomicheskih posledstvij soversheniya na ob"ekte terroristicheskogo akta i antiterroristicheskoj zashchishchennosti ob"ekta pri provedenii kategorirovaniya i sostavleniyu pasporta bezopasnosti ob"ekta toplivno-energeticheskogo kompleksa: utv. stats-sekretarem-zamestitelem Ministra energetiki RF 10.10.2012.
3. Akinin N. I., Gubina T. A., Mosolov A. S. Algoritm metoda opredeleniya prioritetnogo scenariya razvitiya avarijnoj situacii na ob"ekte zashchity // Koks i himiya. 2019. S. 41–49.
4. Patent RF RU 2 709 155 C1, 16.12.2019. Sistema ocenki bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo ob"ekta // Patent Rossii. Byul. № 35 / Gubina T. A., Mosolov A. S., Mosolov A. A.
5. Kini R. L., Rajfa H. Prinyatie reshenij pri mnogih kriteriyah: predpochteniya i zameshcheniya. M., 1981. 560 s.
6. Beshelev S. D., Gurvich F. G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnyh ocenok. 2-e izd., pererab. i dop. M., 1980. 263 p.
7. Saati T. Prinyatie reshenij. Metoda analiza ierarhij. M., 1993. 278 p.
8. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21 maya 2007 g. № 304 «O klassifikacii chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera».
9. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 05.05.2012 № 459 «Ob utverzhdenii Polozheniya ob iskhodnyh dannyh dlya provedeniya kategorirovaniya ob"ekta toplivno-energeticheskogo kompleksa, poryadke ego provedeniya i kriteriyah kategorirovaniya»: izm.10.09.2016

УДК 614.84 *otdel_1_3@mail.ru*

ИЗУЧЕНИЕ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСМЕЩЕННОЙ ОЦЕНКИ

STUDY OF THE FIRE HAZARD LEVEL IN THE RUSSIAN FEDERATION USING UNBIASED ESTIMATION

Харин В. В.,
Бобринев Е. В., кандидат биологических наук,
Удавцова Е. Ю., кандидат технических наук,
Кондашов А. А., кандидат физико-математических наук,
Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, Балашиха

Kharin V. V., Bobrinev E. V., Udavtsova E. YU., Kondashov A. A.,
All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha

Проанализированы различные подходы к оценке уровня пожарной опасности территорий в Российской Федерации. Рассмотрены проблемные вопросы, возникающие при использовании для оценки уровня пожарной опасности таких показателей, как «количество пожаров» и «количество погибших людей при пожарах».

Из-за изменения порядка учета пожаров и их последствий в 2018 г. в Российской Федерации произошел рост количества пожаров и погибших на них людей. В связи с этим рассмотрена возможность для оценки уровня пожарной опасности использовать показатель «количество пожаров и загораний», однако эта оценка будет смещенной, так как при таком подходе суммируются явно неоднородные события. Использование показателя «среднее количество погибших при пожарах людей» для оценки уровня пожарной опасности также является некорректным, поскольку законом нормируется не средняя гибель людей при пожарах, а гибель хотя бы одного человека в результате пожара.

Показано, что показатель «количество пожаров с гибелью людей» дает несмещенную оценку уровня пожарной опасности. Рассмотрено использование показателя «соотношение количества погибших и травмированных при пожарах» для характеристики уровня пожарной опасности. Изучена динамика уровня пожарной опасности в Российской Федерации с использованием показателей «количество пожаров с гибелью» и «соотношение травмированных и погибших при пожарах».

Ключевые слова: количество пожаров, пожарная опасность, гибель, травмирование, несмещенная оценка.

Various approaches to estimating the level of fire danger of territories in the Russian Federation are analyzed. The problem issues that arise when using such indicators as "number of fires" and "number of people killed in fires" to assess the level of fire danger are considered.

Due to changes in the accounting procedure for fires and their consequences, the number of fires and people killed in them increased in the Russian Federation in 2018. In this regard, it is considered possible to use the indicator "number of fires and fires" to assess the level of fire danger, but this estimate will be biased, since this approach summarizes

clearly heterogeneous events. The use of the indicator "average number of people killed in fires" to estimate the level of fire danger is also incorrect, since the law does not normalize the average death of people in fires, but the death of at least one person as a result of a fire.

It is shown that the indicator "number of fires with loss of life" gives an unbiased estimation of the level of fire danger. The use of the indicator "the ratio of the number of dead and injured in fires" to characterize the level of fire danger is considered. The dynamics of the fire danger level in the Russian Federation was studied using the indicators "number of fires with death" and "ratio of injured and dead in fires".

Keywords: the number of fires, fire danger, death, injury, unbiased estimation.

Уровень пожарной опасности характеризует возможность возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара. Для количественной оценки уровня пожарной опасности какой-либо территории часто используют такой показатель, как количество пожаров. До 2018 г. количество пожаров в Российской Федерации неуклонно снижалось. Так, за период с 2010 по 2018 гг. этот показатель уменьшился почти на 25 % [1]. Учет пожаров и их последствий осуществляется в соответствии с приказом МЧС России от 21.10.2008 № 714 «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий». В 2018 г. в порядок учета пожаров и их последствий приказом МЧС России от 08.10.2018 № 431 «О внесении изменений в порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714» был внесен ряд изменений. В частности, было исключено слово «загорание», соответственно все случаи горения, которые ранее рассматривались как «загорания», теперь учитываются как «пожары».

Изменение порядка учета пожаров привело к резкому росту количества пожаров. Так, если в 2018 г. в Российской Федерации было зарегистрировано 131,8 тыс. пожаров, то в 2019 г. количество пожаров возросло в 3,6 раза до 471,1 тыс. [1].

В связи с изменением порядка учета пожаров и их последствий возникает вопрос, как получить несмещенную оценку уровня пожарной опасности. Одно из возможных решений этой проблемы состоит в том, чтобы использовать показатель, равный сумме количества пожаров и загораний. В качестве примера на рис. 1 показано распределение количества пожаров и загораний в Российской Федерации за период с 2014 по 2019 гг. [1]. В 2014 –2016 гг. наблюдалось значительное снижение количества пожаров и загораний, в последующие годы количество пожаров и загораний меняется незначительно. Однако, количество пожаров и загораний дает смещенную оценку при определении уровня пожарной опасности, т. к. в числе загораний учитываются случаи горения, при которых отсутствует какой-либо социальный (гибель и травмирование людей) и материальный ущерб, то есть при таком подходе суммируются явно неоднородные события.

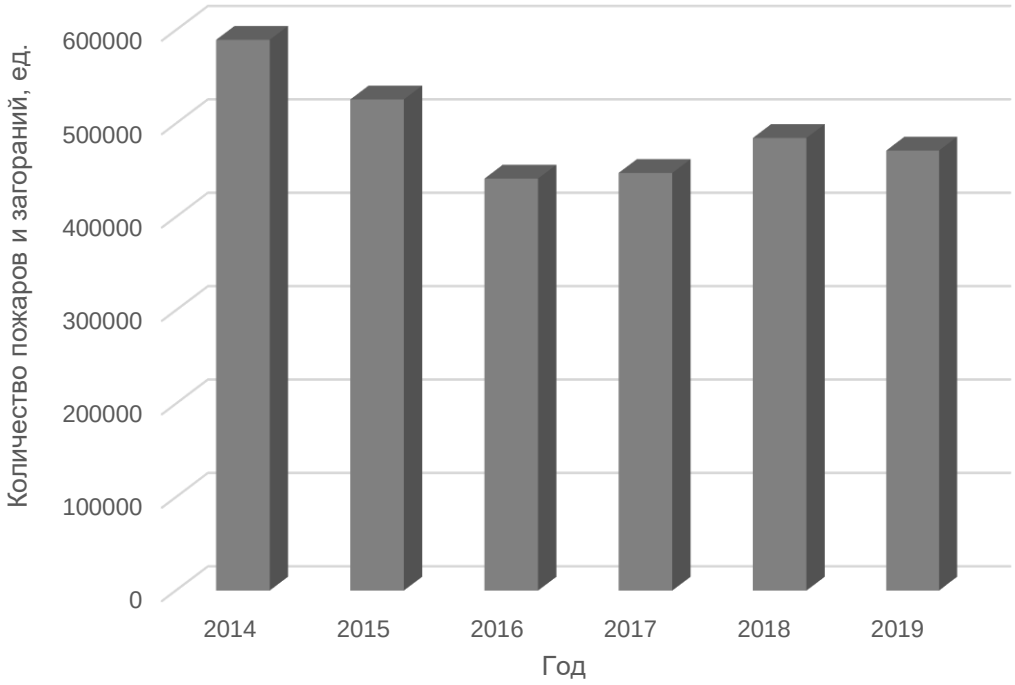


Рисунок 1. Количество пожаров и загораний в Российской Федерации за период с 2014 по 2019 гг.

Другим показателем, который используют для оценки уровня пожарной опасности, является количество погибших при пожарах [2]. Чтобы выяснить, насколько корректно использование этого показателя при оценке уровня пожарной опасности, было проведено изучение зависимости количества пожаров от числа погибших на одном пожаре людей. В качестве примера на рис. 2 приведено распределение количества пожаров с гибелью для 5-этажных домов в Российской Федерации в зависимости от количества погибших на одном пожаре за период с 2014 по 2018 гг. [1]. Если случаи гибели людей на пожаре являются независимыми событиями, то вероятность того, что на пожаре погибнет два человека, равна квадрату вероятности гибели одного человека. В этом случае распределение на рис. 2 должно описываться законом Пуассона. Однако из данных рисунка видно, что точки, соответствующие количеству пожаров с гибелью двух и более человек, лежат существенно выше кривой распределения Пуассона. Следовательно, вероятность гибели двух и более человек на пожаре больше квадрата вероятности гибели одного человека, и случаи гибели двух и более человек на пожаре не являются независимыми событиями.

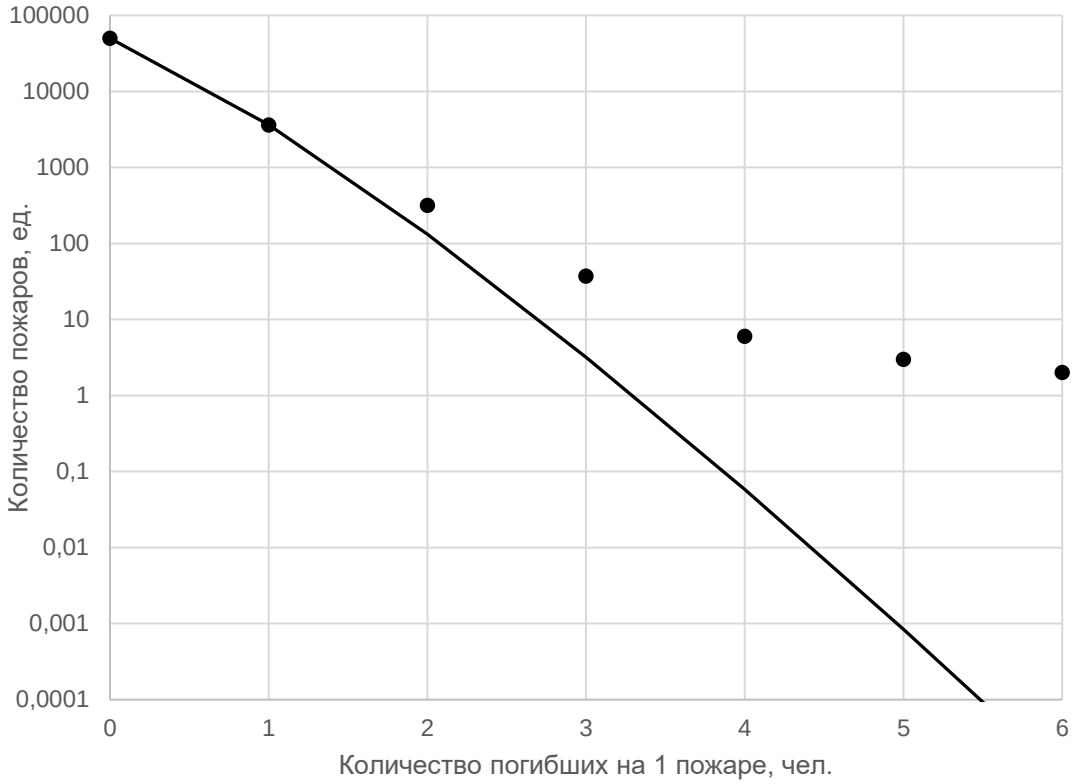


Рисунок 2. Распределение среднегодового количества пожаров в зависимости от количества погибших на одном пожаре для 5-этажных домов. Кривая – распределение Пуассона

В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – Технический регламент) определен допустимый уровень индивидуального пожарного риска, превышение которого может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара. В соответствии с Техническим регламентом индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке. Таким образом, законом нормируется не средняя гибель людей при пожарах, а гибель хотя бы одного человека в результате пожара, в этом случае использование показателя «среднее количество погибших при пожарах людей» для оценки уровня пожарной опасности будет некорректным, так как условная вероятность гибели людей, попавших в зону действия опасных факторов пожара, будет варьировать и зависеть от их нахождения от выхода из здания и от места возникновения пожара.

По нашему мнению, для получения несмещенной оценки уровня пожарной опасности следует использовать показатель «количество пожаров с гибелью людей», который можно интерпретировать как количество пожаров, при которых был превышен допустимый уровень пожарного риска. Было проведено изучение этого показателя за период с 2010 по 2019 гг. для федеральных округов Российской Федерации и в целом по стране. На рис. 3 приведены распределения количества пожаров с гибелью людей по федеральным округам Российской Федерации, на рис. 4 – в целом по Российской Федерации. Как видно из рисунков, в 2010 – 2017 гг. происходило снижение количества пожаров с гибелью во всех федеральных округах. За этот период количество пожаров с

гибелью в Российской Федерации снизилось на 39,6 %. Наибольшее снижение произошло в Приволжском федеральном округе (42,5 %), наименьшее – в Уральском федеральном округе (34,0 %).

Следует отметить, что в 2018 и 2019 гг. произошло увеличение количества пожаров с гибелью. По-видимому, это связано с изменениями в порядке учета пожаров и их последствий, внесенными приказом МЧС России от 08.10.2018 № 431. В соответствии с этими изменениями «берутся на учет погибшие при пожаре люди, смерть которых наступила на месте пожара или умершие от его последствий в течение 30 последующих суток». Указанный рост количества пожаров с гибелью отмечается во всех федеральных округах.

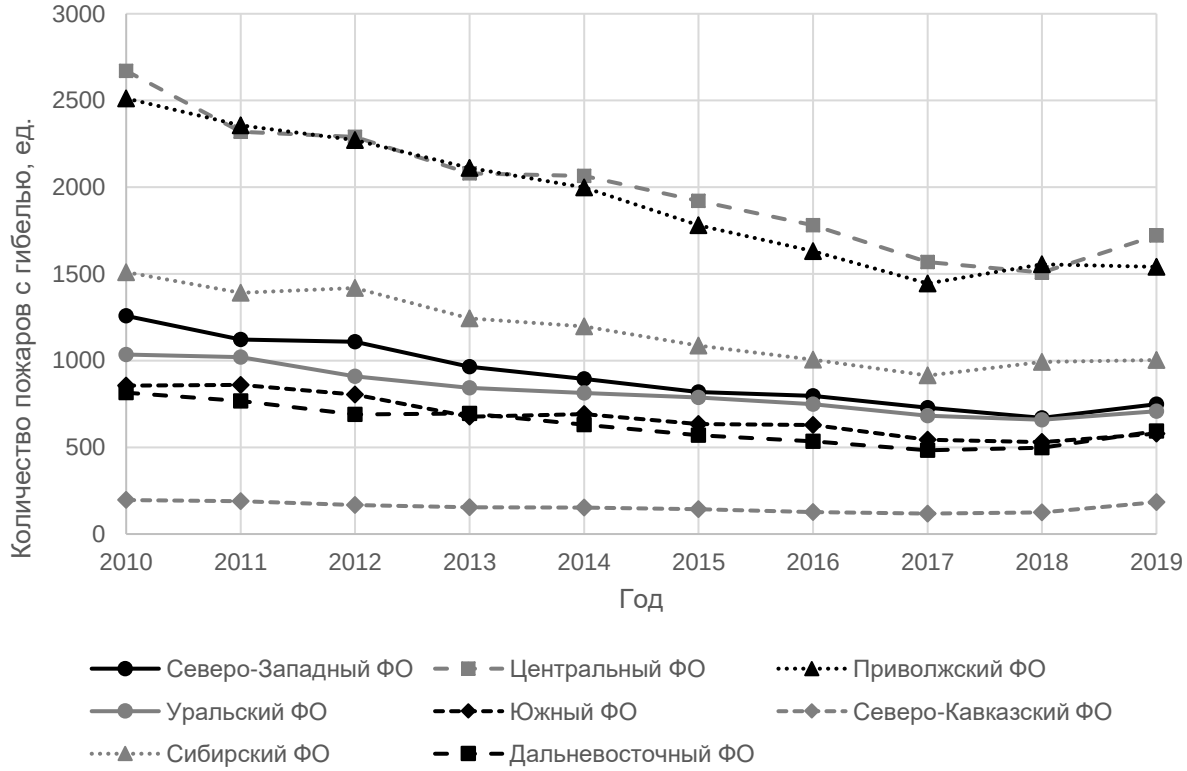


Рисунок 3. Распределение количества пожаров с гибелью людей по федеральным округам Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

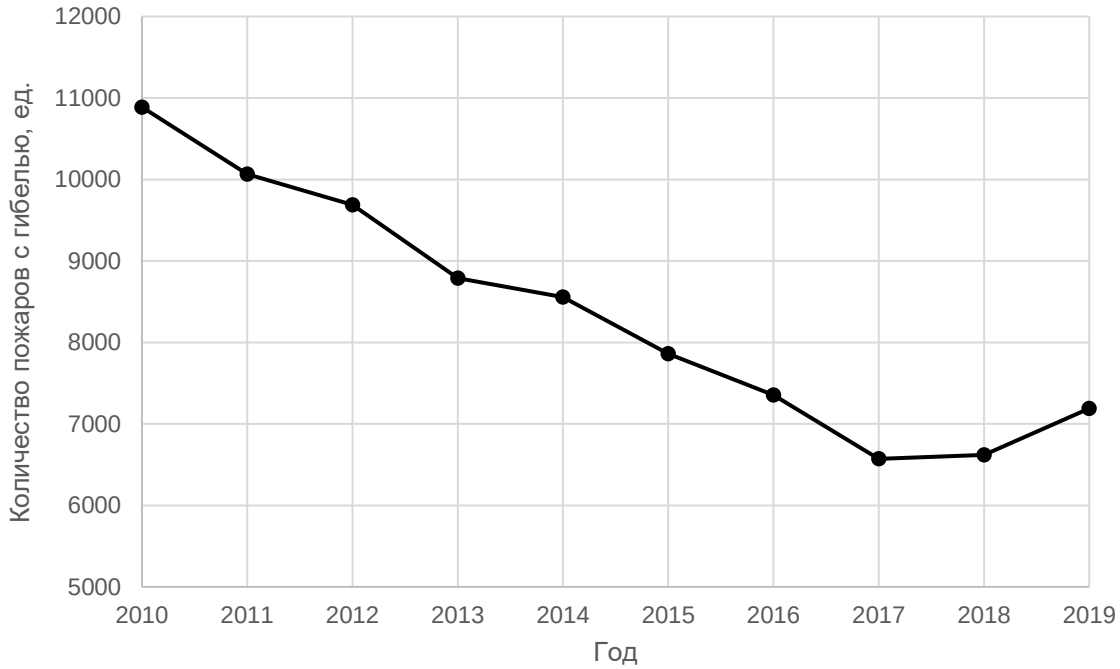


Рисунок 4. Распределение количества пожаров с гибелью людей в Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

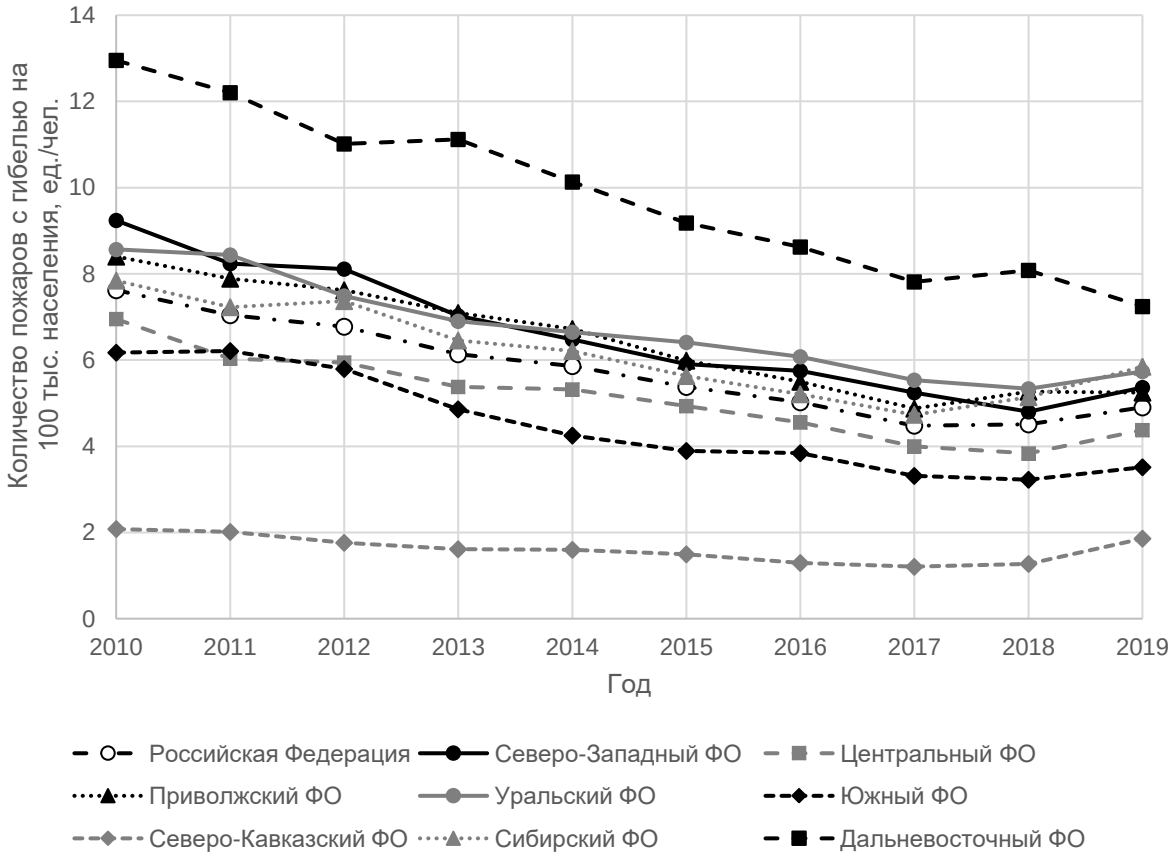


Рисунок 5. Распределение показателя «среднее количество пожаров с гибелью людей в расчете на 100 тыс. жителей» для федеральных округов и целом по Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

Для сравнения уровней пожарной опасности территорий удобно использовать показатель «среднее количество пожаров с гибелью людей в расчете на 100 тыс. жителей». На рис. 5 приведено распределение данного показателя для федеральных округов и в целом по Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

Как видно из данных рисунка, самый низкий уровень пожарной опасности наблюдается в Северо-Кавказском федеральном округе. Количество пожаров с гибелью в расчете на численность населения здесь в 2,6 раза меньше, чем в среднем по Российской Федерации, и почти в 4 раза меньше, чем в Дальневосточном федеральном округе, где фиксируется наиболее высокий уровень пожарной опасности. В остальных федеральных округах количество пожаров с гибелью в расчете на численность населения отличается от среднероссийского значения не более, чем на 30 %, причем в Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском федеральных округах значения этого показателя выше среднероссийского, а в Центральном и Южном федеральных округах – ниже среднероссийского значения.

В ряде исследований для оценки уровня пожарной опасности предлагается использовать показатель «отношение количества травмированных при пожарах людей к погибшим» [3 – 5]. По мнению авторов публикаций, этот показатель характеризует уровень развития мероприятий противопожарной защиты (средства пожарной сигнализации в жилых домах, первичные средства пожаротушения и др.), которые частично нейтрализуют опасные факторы пожара, снижая количество погибших при пожарах людей. Следует отметить, что позднее проведение мероприятий по спасению людей, например, через 10–15 минут после начала пожара, увеличивает количество погибших [6].

Таким образом, по соотношению количества травмированных и погибших можно характеризовать уровень пожарной опасности – чем меньше значение этого показателя, тем опасней считается поражающий фактор.

На рис. 6 показано отношение травмированных и погибших при пожарах людей для федеральных округов, а на рис. 7 – в целом по Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг. В Российской Федерации до 2018 г. наблюдалась положительная динамика данного показателя. С 2010 по 2018 гг. отношение травмированных и погибших при пожарах людей увеличилось на 21 %, что указывает на снижение степени относительной опасности пожаров. Однако в 2019 г. произошло снижение данного показателя, что может быть связано с изменением порядка учета пожаров и их последствий, внесенных Приказом МЧС России от 08.10.2018 № 431.

Для Северо-Кавказского федерального округа отношение травмированных и погибших при пожарах существенно выше среднего по Российской Федерации (примерно на 60 %), что указывает на существенно более низкий уровень пожарной опасности в этом федеральном округе. За период с 2010 по 2017 гг. данный показатель в Северо-Кавказском федеральном округе увеличился на 24 %, однако затем произошло снижение до уровня 2010 г.

Значения отношения травмированных и погибших при пожарах для остальных федеральных округов колеблются около среднероссийского значения, причем в Центральном и Приволжском федеральных округах отношение травмированных и погибших несколько ниже среднего по Российской Федерации, что соответствует более высокому уровню пожарной опасности. В Южном и Уральском федеральном округах отношение травмированных и погибших несколько выше среднего по Российской Федерации, что соответствует более низкому уровню пожарной опасности.

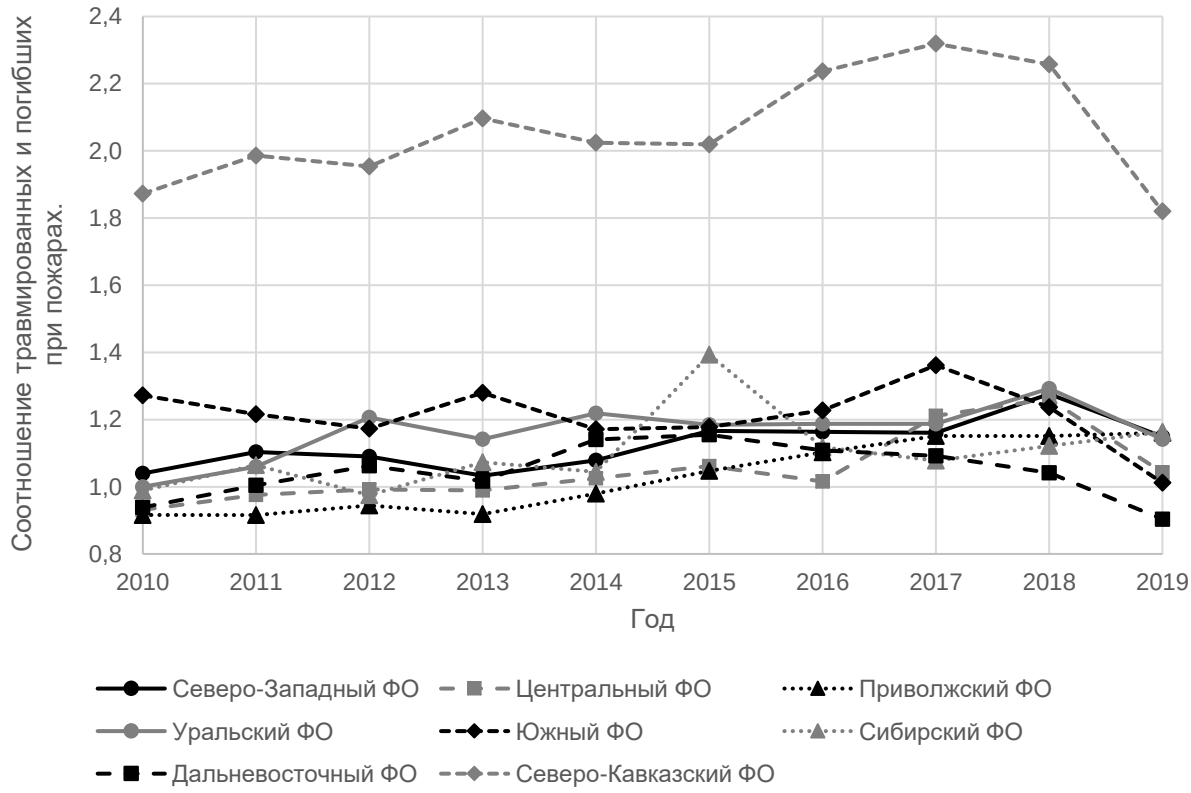


Рисунок 6. Отношение травмированных и погибших людей при пожарах для федеральных округов Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

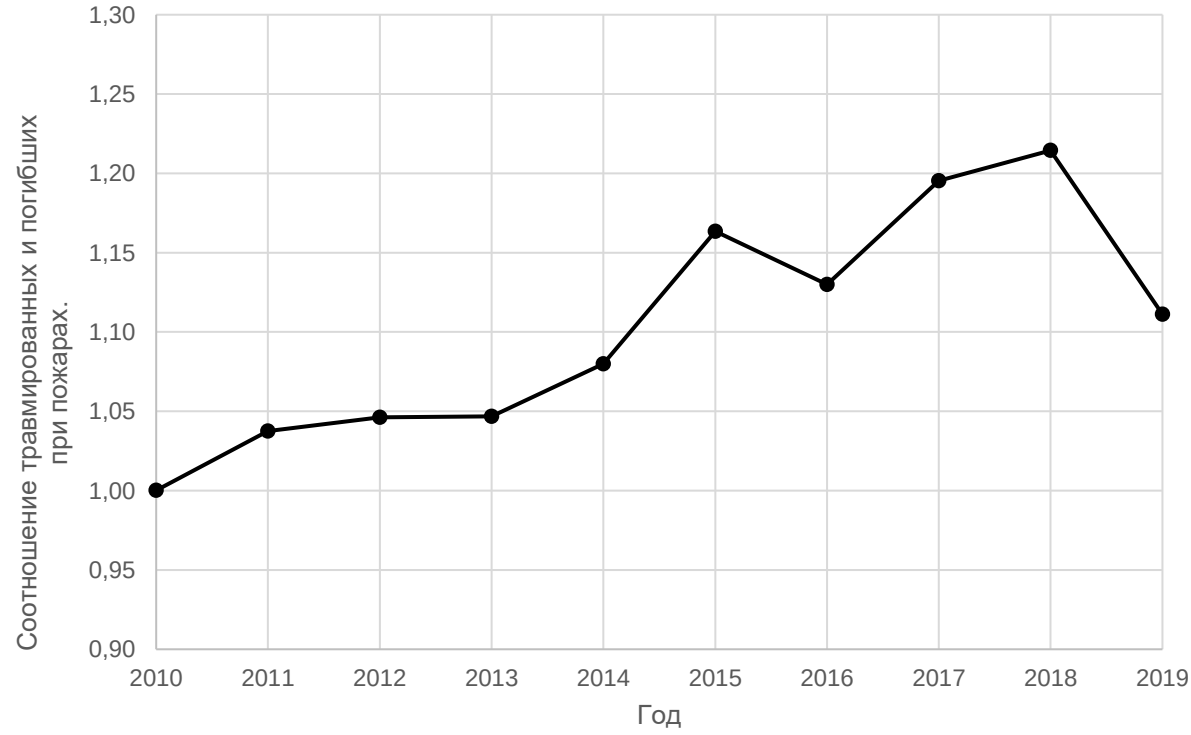


Рисунок 7. Отношение травмированных и погибших людей при пожарах в Российской Федерации за период 2010 – 2019 гг.

Проведенные исследования показывают, что использование таких показателей, как количество пожаров и количество погибших при пожарах может приводить к погрешностям при оценке уровня пожарной опасности. Для получения несмещенной оценки уровня пожарной опасности рекомендуется использовать такие показатели, как количество пожаров с гибелью людей и отношение количества травмированных и погибших при пожарах. Изучение обстановки с пожарами в Российской Федерации за последнее десятилетие с использованием рекомендованных показателей указывает на снижение уровня пожарной опасности.

Литература

1. Статистика пожаров за 2010–2019 гг. URL: https://sites.google.com/site/statistikapozaro/home/rezultaty-rascetov/operativnye-dannye-po-pozaram (дата обращения: 03.03.2020).

2. Порошин А. А., Харин В. В., Кондашов А. А. и др. Исследование зависимости риска гибели людей на пожарах от времени прибытия первого пожарного подразделения // Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 9. С. 3–9.

3. Евдокимов В. И., Алексанин С. С., Бобринев Е. В. Анализ показателей заболеваемости, травматизма, инвалидности и смертности сотрудников Государственной противопожарной службы России (1996–2015 гг.): монография. Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России. Санкт-Петербург, 2019. 167 с.

4. Порошин А. А., Харин В. В., Бобринев Е. В. и др. Риски гибели и травмирования людей на пожарах // Вестник НЦБЖД. 2019. Т. 40. № 2. С. 127–132.

5. Харин В. В., Бобринев Е. В., Кондашов А. А. и др. Статистический подход оценки степени пожарной опасности по соотношению травмированных и погибших при пожарах людей // Вестник НЦБЖД. 2019. Т. 42. № 4. С. 127–135.

6. Маштаков В. А., Харин В. В., Бобринев Е. В. и др. Исследование зависимости гибели людей при пожарах от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар // Актуальные проблемы пожарной безопасности: XXXI Международная научно-практическая конференция. М., 2019. С. 496–499.

References

1. Statistika pozharov za 2010–2019 gg. [Fire statistics for 2010–2019]. URL: https://sites.google.com/site/statistikapozaro/home/rezultaty-rascetov/operativnye-dannye-po-pozaram (Access data: 03.03.2020).

2. Poroshin A. A., Kharin V. V., Kondashov A. A. et al. Issledovanie zavisimosti riska gibeli lyudej na pozharah ot vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya. [Investigation of the dependence of the risk of death in fires on the time of arrival of the first fire Department] // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2019. No. 9. Pp. 3–9.

3. Evdokimov V. I. Aleksanin S. S., Bobrinev E. V. Analiz pokazatelej zabolevaemosti, travmatizma, invalidnosti i smertnosti sotrudnikov Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Rossii (1996–2015 gg.): monografiya. [Analysis of indicators of morbidity, injuries, disability and mortality of employees of the State fire service of Russia (1996–2015): monograph]. Vserossijskij centr ekstrennoj i radiacionnoj mediciny im. A. M. Nikiforova MCHS Rossii. Sankt-Peterburg, 2019, 167 p.

4. Poroshin A. A., Kharin V. V., Bobrinev E. V. et al. Riski gibeli i travmirovaniya lyudej na pozharah. [Risks of death and injury in fires] // Vestnik NCBZHD. 2019. Vol. 40, No. 2. Pp. 127–132.

5. Kharin V. V., Bobrinev E. V., Kondashov A. A. et al. Statisticheskij podhod ocenki stepeni pozharnoj opasnosti po sootnosheniyu travmirovannyh i pogibshih pri pozharah lyudej. [Statistical approach to assessing the degree of fire danger by the ratio of injured and dead people in fires.] // Vestnik NCBZHD. 2019. Vol. 42, No.4. Pp. 127–135.

6. Mashtakov V. A., Kharin V. V., Bobrinev E. V. et al. Issledovanie zavisimosti gibeli lyudej pri pozharah ot vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya na pozhar // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: [Investigation of the dependence of the death of people in fires on the time of arrival of the first fire Department to the fire.]. XXXI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. M., 2019. Pp. 496–499.

УДК 311.31, 332.14, 519.23, 519.25 *kaibitchev@mail.ru*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

MATHEMATICAL MODEL AMOUNT FIRE IN SVERDLOVSKOY AREA

Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Kaybichev I. A., Tuzhikov E. N.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Выполнен регрессионный анализ зависимости количества пожаров в Свердловской области от потребительских расходов в среднем на душу населения в месяц. Установлено, что минимальное среднее значение квадрата ошибки дает линейная модель.

Ключевые слова: количество пожаров, Свердловская область, регрессионный анализ, математическая модель.

It is executed регрессионный analysis to dependencies amount fire in Sverdlovskoy area from consumer expenses at the average at month per capita. It is installed that minimum average importance square of the mistake gives the linear model.

Keywords: amount fire, Sverdlovsk region, correlation analysis, regression analysis, mathematical model.

Актуальность установления функциональной формы зависимости количества пожаров в регионе РФ и основных показателей социально-экономического развития, не вызывает сомнения. Одним из самых эффективных способов решения этой задачи является использование метода математического моделирования, а именно одного из его инструментов – регрессионного анализа.

Вместе с тем исследований, в которых математическое моделирование используется в процессе выявления зависимости числа пожаров от особенностей социально-экономического развития регионов Российской Федерации, в литературе нет. Регрессионный анализ количества пожаров на данный момент выполнены для Пензенской [1], Ивановской [2 – 4] и Курганской [5] областей для установления функциональной формы зависимости количества пожаров от фактора времени. Таким образом, к данному моменту нет исследований влияния показателей социально-экономического развития Свердловской области [9] на количество пожаров [10].

С помощью регрессионного анализа [6 – 8] исследуем зависимость количества пожаров (Y) от потребительских расходов в среднем на душу населения в месяц (X).

Рассмотрим наиболее часто используемые модели функциональной зависимости двух переменных.

Линейная модель.

Метод наименьших квадратов привел к возможности использования линейной функции

$$Y_м = -0{,}23896 * X + 8475{,}678, \qquad (1)$$

где $Y_м$ – модельное значение количества пожаров; X – потребительские расходы в среднем на душу населения в месяц (Табл. 1). Разница e = Y - $Y_м$ составляет ошибку моделирования, e^2 – квадрат разницы (Табл. 1). Среднее значение ошибки равно 0, среднее значение квадрата ошибки – 314680.

Линейная модель может показаться простой. На практике, например, есть линейная зависимость затрат на производство продукции от объема производства

Таблица 1

Линейная модель

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	7724	-918	842987
2002	7063	4144	7485	-422	178439
2003	6933	5381	7190	-257	65959
2004	6900	6672,5	6881	19	353
2005	7209	5994,6	7043	166	27490
2006	6716	7727,1	6629	87	7535
2007	6646	10076,9	6068	578	334450
2008	5957	13071,9	5352	605	366033
2009	5130	13915,6	5150	-20	415
2010	4867	16689	4488	379	143911
2011	4569	19746,7	3757	812	659392
2012	4361	22007,9	3217	1144	1309582
2013	1603	24736	2565	-962	924903
2014	1611	26250,5	2203	-592	350240
2015	1669	27503	1904	-235	54995
2016	1466	28250	1725	-259	67084
2017	1347	29306	1473	-126	15791
среднее	4756		4756	0,00	314680

Гиперболическая модель.

Успешно гиперболическая модель применяется для описания зависимости предельного расхода электроэнергии на единицу продукции от объема выпущенной продукции, описания связи безработицы с изменениями зарплат, объема потребления товаров или услуг с доходом потребителя при неизменных ценах и предпочтениях.

Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 2588{,}706 + \frac{20708543}{X}. \qquad (2)$$

Среднее значение ошибки равно 0, среднее значение квадрата ошибки – 2261966 (Табл. 2).

Таблица 2

Гиперболическая модель

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	9173	-2367	5604102
2002	7063	4144	7586	-523	273468
2003	6933	5381	6437	496	245855
2004	6900	6672,5	5692	1208	1458607

2005	7209	5994,6	6043	1166	1358998
2006	6716	7727,1	5269	1447	2094691
2007	6646	10076,9	4644	2002	4008976
2008	5957	13071,9	4173	1784	3182980
2009	5130	13915,6	4077	1053	1109105
2010	4867	16689	3830	1037	1076290
2011	4569	19746,7	3637	932	867850
2012	4361	22007,9	3530	831	691117
2013	1603	24736	3426	-1823	3322923
2014	1611	26250,5	3378	-1767	3120833
2015	1669	27503	3342	-1673	2797798
2016	1466	28250	3322	-1856	3443815
2017	1347	29306	3295	-1948	3796020
среднее	4756		4756	0	2261966

Среднее значение квадрата ошибки для гиперболической модели оказалось больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, гиперболическая модель в данном случае не подходит.

Степенная модель.

Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 4522547 * X^{-0,74495}. \quad (3)$$

Среднее значение ошибки равно 96, среднее значение квадрата ошибки – 2741430 (Таб. 3).

Таблица 3

Степенная модель

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	11216	-4410	19445874
2002	7063	4144	9132	-2069	4282319
2003	6933	5381	7518	-585	341656
2004	6900	6672,5	6404	496	245644
2005	7209	5994,6	6936	273	74276
2006	6716	7727,1	5741	975	950238
2007	6646	10076,9	4711	1935	3744692
2008	5957	13071,9	3881	2076	4310884
2009	5130	13915,6	3704	1426	2033292
2010	4867	16689	3235	1632	2663266
2011	4569	19746,7	2854	1715	2941280
2012	4361	22007,9	2633	1728	2987548
2013	1603	24736	2413	-810	656208
2014	1611	26250,5	2309	-698	486608
2015	1669	27503	2230	-561	314485
2016	1466	28250	2186	-720	517992
2017	1347	29306	2127	-780	608043

среднее	4756		4661	96	2741430

Среднее значение квадрата ошибки для степенной модели оказалось больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, степенная модель в данном случае не подходит.

Показательная модель.

Показательная модель применяется в демографических расчетах и в страховом деле. Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 11135{,}74 * 0{,}999934538^X. \quad (4)$$

Среднее значение ошибки равно 13, среднее значение квадрата ошибки – 1063749 (Табл. 4).

Таблица 4

Показательная модель

Год	Y	X7	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	9064	-2258	5097160
2002	7063	4144	8490	-1427	2036061
2003	6933	5381	7830	-897	803721
2004	6900	6672,5	7195	-295	86883
2005	7209	5994,6	7521	-312	97492
2006	6716	7727,1	6715	1	1
2007	6646	10076,9	5757	889	789589
2008	5957	13071,9	4732	1225	1499743
2009	5130	13915,6	4478	652	425012
2010	4867	16689	3735	1132	1282377
2011	4569	19746,7	3057	1512	2285843
2012	4361	22007,9	2636	1725	2974012
2013	1603	24736	2205	-602	362725
2014	1611	26250,5	1997	-386	149084
2015	1669	27503	1840	-171	29206
2016	1466	28250	1752	-286	81847
2017	1347	29306	1635	-288	82978
среднее	4756		4743	13	1063749

Среднее значение квадрата ошибки для показательной модели оказалось больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, показательная модель в данном случае не подходит.

Логарифмическая модель.

Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 31204{,}303373 - 2804{,}38 * \ln(X). \quad (5)$$

Среднее значение ошибки равно 0, среднее значение квадрата ошибки – 1027039 (Табл. 5).

Таблица 5
Логарифмическая модель

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	8619	-1813	3287062
2002	7063	4144	7845	-782	612218
2003	6933	5381	7113	-180	32365
2004	6900	6672,5	6510	390	152393
2005	7209	5994,6	6810	399	159143
2006	6716	7727,1	6098	618	381786
2007	6646	10076,9	5354	1292	1670518
2008	5957	13071,9	4624	1333	1777526
2009	5130	13915,6	4448	682	464634
2010	4867	16689	3939	928	861754
2011	4569	19746,7	3467	1102	1214639
2012	4361	22007,9	3163	1198	1435549
2013	1603	24736	2835	-1232	1518172
2014	1611	26250,5	2668	-1057	1118285
2015	1669	27503	2538	-869	754774
2016	1466	28250	2463	-997	993261
2017	1347	29306	2360	-1013	1025576
среднее	4756		4756	0	1027039

Среднее значение квадрата ошибки для логарифмической модели оказалось больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, логарифмическая модель в данном случае не подходит.

Логистическая модель часто используется в экономике для описания процессов первоначального медленного роста, переходящего в быстрый подъем, а потом наступающего насыщения.

Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = \frac{7210}{1+0{,}011898*\exp[0{,}0002374*(X-3000)]}. \quad (6)$$

Среднее значение ошибки равно -121, среднее значение квадрата ошибки – 216053 (Табл. 6).

Таблица 6
Логистическая модель

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	7122	-316	100039
2002	7063	4144	7099	-36	1308
2003	6933	5381	7062	-129	16669
2004	6900	6672,5	7011	-111	12211
2005	7209	5994,6	7039	170	28744
2006	6716	7727,1	6956	-240	57473
2007	6646	10076,9	6777	-131	17209
2008	5957	13071,9	6380	-423	179153
2009	5130	13915,6	6221	-1091	1191277
2010	4867	16689	5517	-650	421938

2011	4569	19746,7	4411	158	24896
2012	4361	22007,9	3457	904	816530
2013	1603	24736	2345	-742	550719
2014	1611	26250,5	1815	-204	41651
2015	1669	27503	1442	227	51754
2016	1466	28250	1248	218	47628
2017	1347	29306	1010	337	113707
среднее	4756		4877	-121	216053

Среднее значение квадрата ошибки для логистической модели оказалось больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, логистическая модель в данном случае не подходит.

Модель Гомперца описывает ситуацию с мобильными телефонами.

Пока стоимость была высокой, рост количества был медленный, затем наступил период бурного роста, потом наступило насыщение. Модель Гомперца также применялась в демографии при описании численности населения в ограниченном пространстве. Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 3246 * \exp[0,7 * \exp\{-6,55949 * 10^{-5} * (X - 3000\}] . \quad (7)$$

Среднее значение ошибки равно 1, среднее значение квадрата ошибки – 2172210 (Таб. 7).

Таблица 7
Модель Гомперца

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	6493	313	97675
2002	7063	4144	6214	849	720666
2003	6933	5381	5907	1026	1051850
2004	6900	6672,5	5627	1273	1620634
2005	7209	5994,6	5769	1440	2072178
2006	6716	7727,1	5424	1292	1669755
2007	6646	10076,9	5040	1606	2578263
2008	5957	13071,9	4660	1297	1682652
2009	5130	13915,6	4570	560	313601
2010	4867	16689	4317	550	302255
2011	4569	19746,7	4099	470	220744
2012	4361	22007,9	3969	392	153349
2013	1603	24736	3841	-2238	5007216
2014	1611	26250,5	3780	-2169	4704836
2015	1669	27503	3735	-2066	4268035
2016	1466	28250	3710	-2244	5035304
2017	1347	29306	3677	-2330	5428559
среднее	4756		4755	1	2172210

Среднее значение квадрата ошибки для модели Гомперца оказалось больше

аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, модель Гомперца в данном случае не подходит.

Модель Гомперца – Мейкхама.

Согласно закону Гомпертца – Мейкхама [58], смертность является суммой независимого от возраста компонента (члена Мейкхама) и компонента, зависимого от возраста (функция Гомпертца), который возрастает с возрастом и описывает старение организма. В защищённых средах, где внешние причины смерти отсутствуют (в лабораторных условиях, в зоопарках или для людей в развитых странах) независимый от возраста компонент часто становится малым, и формула упрощается до функции Гомпертца.

Закон смертности Гомпертца – Мейкхама хорошо описывает динамику смертности человека в диапазоне возраста 30–80 лет. В области большего возраста смертность не возрастает так быстро, как предполагает этот закон смертности.

До 1950-х годов смертность людей была в большей мере вызвана независимым от времени компонентом закона смертности (членом или параметром Мейкхама), тогда как зависимый от возраста компонент (функция Гомпертца) почти не изменялась. После 1950-х годов картина изменилась, смертность в позднем возрасте снизилась и кривая выживания сгладилась.

Метод наименьших квадратов привел к результату

$$Y_м = 3246 * \exp\left[0{,}7 * 3{,}510116^{-6{,}55949*10^{-5}*(X-3000)} + 0{,}07826\right]. \quad (8)$$

Среднее значение ошибки равно -190, среднее значение квадрата ошибки – 2087284 (Табл. 8).

Таблица 8

Модель Гомперца – Мейхама

Год	Y	X	Yм	e	e^2
2001	6806	3145	7010	-204	41719
2002	7063	4144	6638	425	181032
2003	6933	5381	6240	693	479822
2004	6900	6672,5	5888	1012	1023495
2005	7209	5994,6	6066	1143	1306788
2006	6716	7727,1	5640	1076	1157161
2007	6646	10076,9	5189	1457	2123706
2008	5957	13071,9	4764	1193	1423660
2009	5130	13915,6	4667	463	214216
2010	4867	16689	4403	464	214925
2011	4569	19746,7	4187	382	146171
2012	4361	22007,9	4063	298	88706
2013	1603	24736	3945	-2342	5486363
2014	1611	26250,5	3892	-2281	5201169
2015	1669	27503	3852	-2183	4767512
2016	1466	28250	3831	-2365	5593873
2017	1347	29306	3803	-2456	6033512
среднее	4756		4946	-190	2087284

Среднее значение квадрата ошибки для модели Гомперца – Мейхама оказалось

больше аналогичной величины для линейной модели. Следовательно, модель Гомперца – Мейхама в данном случае не подходит.

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод. На примере Свердловской области определено, что количество пожаров линейно зависит от потребительских расходов в среднем на душу населения в месяц.

Литература

1. Асанина Д. А., Шишов В. Ф. Прогнозирование количество городских пожаров в регионе // Концепт. 2014. Т. 20. С. 3256–3260. URL: http://e-koncept.ru/2014/54915.htm.
2. Салихова А. Х., Самойлов Д. Б., Шварев Е. А. и др. Опыт прогнозирования обстановки с пожарами на территории субъекта Российской Федерации на примере Ивановской области // Техносферная безопасность. 2018. № 1 (18). С. 9–16.
3. Самойлов Д. Б., Салихова А. Х., Шварев Е. А. и др. Разработка программы прогнозирования пожаров на объектах защиты на основе статистических данных // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, 18 апреля 2017 г., Иваново. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 3–5.
4. Есина М. Г., Хонгорова О. В. Моделирование пожарной статистики в SPSS // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 1, № 1. С. 130–133.
5. Кайбичев И. А., Ергин С. В. Сравнительный анализ методов прогнозирования пожаров на примере Курганской области // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 10, № 2. С. 40–46.
6. Харченко М. А. Корреляционный анализ. Воронеж, 2008. 31 с.
7. Рубан А. И. Методы анализа данных. Красноярск, 2004. 319 с.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1990. 350 с.
9. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002–2018: стат. сборник. М., 2002–2018.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2005–2018: стат. сборник. М., 2005–2018.

Referenses

1. Asanina D. A., SHishov V. F. Prognozirovanie kolichestvo gorodskih pozharov v regione // Koncept. 2014. T. 20. S. 3256–3260. URL: http://e-koncept.ru/2014/54915.htm.
2. Salihova A. H., Samojlov D. B., Shvarev E. A. et al. Opyt prognozirovaniya obstanovki s pozharami na territorii sub"ekta Rossijskoj Federacii na primere Ivanovskoj oblasti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 1 (18). P. 9–16.
3. Samojlov D. B., Salihova A. H., Shvarev E. A. Razrabotka programmy prognozirovaniya pozharov na ob"ektah zashchity na osnove statisticheskih dannyh // Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernyh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov: materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 18 aprelya 2017 g., Ivanovo. – Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. – P. 3–5.
4. Esina M. G., Hongorova O. V. Modelirovanie pozharnoj statistiki v SPSS // Uspekhi sovremennoj nauki I obrazovaniya. 2017. T. 1, № 1. P. 130–133.
5. Kajbichev I. A., Ergin S. V. Sravnitel'nyj analiz metodov prognozirovaniya pozharov na primere Kurganskoj oblasti // Pozharovzryvobezopasnost'. 2009. T. 10, № 2. P. 40–46.
6. Xarchenko M. A. Korrelyacionny`j analiz. Voronezh, 2008. 31 p.
7. Ruban A. I. Metody` analiza danny`x. Krasnoyarsk, 2004. 319 p.
8. Lakin G. F. Biometriya. M., 1990. 350 p.
9. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli. 2002–2018: stat. sbornik. M., 2002– 2018.
10. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2005–2018: stat. sbornik. M., 2005–2018.

УДК 614.84:519 *kaibitchev@mail.ru*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОНА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

USING A NEURON TO PREDICT THE NUMBER OF FIRES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Кайбичева Е. И., кандидат экономических наук,
Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург

Kaibichev I. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Kaibicheva E. I.,
Ural State University of Economics, Yekaterinburg

Рассмотрена возможность применения нейрона для прогнозирования количества пожаров в Российской Федерации. Расчет состоит из этапов обучения нейрона и прогноза. На этапе обучения использованы данные за три последовательных года. Показатели текущего года использованы как эталонные, а данные за два предшествующих позволяли определить коэффициенты взвешивания. На этапе прогноза на входы нейрона подавали данные двух последних лет и на выходе получали прогнозное значение на следующий год. Сравнение фактических и прогнозных значений за период 2004 – 2018 годов показало, что величина модуля относительной ошибки находилась в интервале от 0,59 до 4,21 %. Предложенный способ прогноза дает 98,58 % достоверности описания реальной ситуации за период 2004 –2018 годов.

Ключевые слова: количество пожаров, Российская Федерация, прогнозирование, нейронная сеть.

The possibility of using a neuron to predict the number of fires in the Russian Federation is considered. The calculation consists of the stages of neuron training and prediction. At the training stage, data for 3 consecutive years was used. The indicators of the current year were used as a reference, and the data for the previous two years allowed us to determine the weighting coefficients. At the forecast stage, the neuron inputs were fed data from the last two years and received a forecast value for the next year at the output. Comparison of actual and forecast values for the period 2004 – 2018 showed that the value of the relative error module was in the range from 0.59 to 4.21 %. The proposed forecast method gives 98.58 % confidence in the description of the real situation for the period 2004 – 2018.

Keywords: the number of fires, Russian Federation, forecasting, neural network.

Имеющиеся исследования в области прогнозирования количества пожаров [1 – 8] в основном основаны на теории временных рядов [9, 10]. В данное время приобретает популярность применение для прогнозирования нейронных сетей [11, 12]. На перспективность этого подхода в области пожарной безопасности обращено внимание в работах [13, 14].

Нелинейные нейронные сети плодотворно использовали при прогнозировании количества пожаров в Киевской области [15]. При этом на основе данных за три последовательных месяца получали прогнозное значение на следующий месяц. В зависимости от выбора алгоритма достигнута точность прогноза в 75 и 87 %. В исследовании [16] для прогнозирования количества пожаров в Пензенской области на следующий год использовали данные за предшествующий год. При этом ошибка прогноза находилась в диапазоне 7 – 15 %.

Приведенный обзор научных исследований показывает актуальность рассмотрения возможности применения нейронных сетей для прогнозирования количества пожаров в Российской Федерации.

Нейронную сеть упростим до одного нейрона. Нейрон представляет собой модель биологического нейрона мозга [11, 12]. Его изображают в виде кружочка со стрелками, обозначающими входы и выход. В исследовании используем упрощенный нейрон, имеющий два входа и один выход (рис. 1).

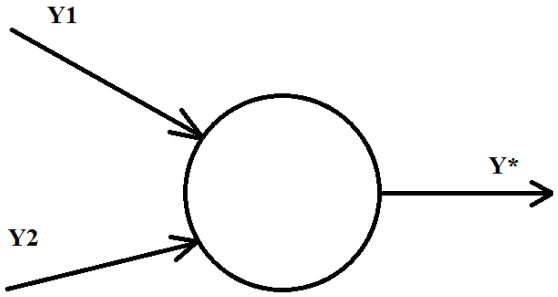


Рисунок 1. Математический нейрон

На входы нейрона поступают сигналы Y_1 и Y_2, которые суммирует, умножая каждый входной сигнал на некоторый весовой коэффициент W_j:

$$S= W_1 Y_1 + W_2 Y_2. \quad (1)$$

Затем нейрон формирует свой выходной сигнал согласно правилу

$$Y^* = \begin{cases} 1, если\ S \geq \theta \\ 0, если\ S < \theta \end{cases}. \quad (2)$$

Здесь величину θ называют порогом чувствительности нейрона.

Таким образом, нейрон существует в двух состояниях. Если взвешенная сумма входных сигналов S меньше θ, то его выходной сигнал Y* равен нулю. В этом случае нейрон не возбужден. Если входные сигналы достаточно интенсивны и их взвешенная сумма достигает порога чувствительности θ, то нейрон переходит в возбужденное состояние, и на его выходе образуется сигнал Y* =1.

В нашем исследовании мы применим нейрон для прогнозирования количества пожаров в Российской Федерации. В этой задаче моделирование работы мозга не требуется. На два входа нейрона мы будем подавать количества пожаров за прошедший и позапрошлый год, на выходе – получать прогнозное значение на текущий год. При этом выходной сигнал должен быть некоторым числом, а не логическим значением. Данные по количеству пожаров за 2001 – 2018 года показывают, что ситуации, когда пожары отсутствуют, не было (Табл. 1).

Таблица 1

Количество пожаров в Российской Федерации (тыс. ед.)

Год	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Y	246,5	260,8	239,2	233,2	229,8	220,5	212,6	202,0	187,6
год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Y	179,5	168,5	162,9	153,5	150,8	145,9	139,5	132,8	131,8

Поэтому вместо нелинейной функции активации нейрона (2) проще использовать линейную функцию

$$Y^* = S. \quad (3)$$

Такой подход заметно упрощает процедуру расчетов и не потребует значительных вычислительных ресурсов, которые были необходимы при использовании нелинейной функции [17].

После создания нейронной сети начинается этап обучения. В процессе обучения нужно определить значения весовых коэффициентов W_1 и W_2 в формуле (1). Состояние обучения нейрона возникает при подаче на входы Y_1 и Y_2 данных за два предыдущих года, а на выход Y* – данных за текущий год. При этом данные за текущий год являются тестовыми. Весовые коэффициенты W_1 и W_2 в формуле (1) подбираем так, чтобы получить результат, совпадающий с тестовым.

Для имитации процесса обучения использовали программу Microsoft Excel. Для подсчета весовых коэффициентов W_1 и W_2 брали начальные значения 1 и с помощью сервиса *Поиск решений* находили нужные значения.

В базу обучения для прогноза на 2004 год входят 2001 г. и 2002 г. Данные 2003 г. используются в качестве эталона (Табл. 2).

Таблица 2

Этап обучения нейрона

Год	Y(тыс.)	w1	w2	Y*
2001	246,5	0,48682	0,45705	239,2
2002	260,8			
2003	239,2			

После обучения нейрона весовые коэффициенты W_1 и W_2 запоминали.

На этапе прогнозирования на входы нейрона подавали показатели 2002 г. и 2003 г. (Табл. 3). На выходе Y* получали прогнозное значение на 2004 год.

Таблица 3

Этап прогнозирования

Год	Y(тыс.)	w1	w2	Y*
2002	260,8	0,48682	0,45705	236,3
2003	239,2			
2004	233,2			

Ошибка прогнозирования равна e = Y*-Y. Для 2004 года e = 3,1. Модуль относительной ошибки составил

$$\varepsilon = \frac{|e|}{Y} = 1{,}32\ \%. \quad (4)$$

При прогнозировании на 2005 год процедура меняется. В процессе обучения используем данные 2002 и 2003 годов, тестовым значением были данные 2004 года. Для прогноза используем данные 2003 и 2004 года. В результате нейрон выдал прогнозное значение на 2005 год – 220,1 тыс. ед. (Табл. 4). Модуль относительной ошибки составил 4,21 %.

Таблица 4

Результаты прогноза

Год	W_1	W_2	Y (тыс.)	Y* (тыс.)	e	ε, %
2004	0,48682	0,45705	233,2	236,3	3,1	1,32
2005	0,48002	0,45155	229,8	220,1	-9,7	4,21
2006	0,502	0,47051	220,5	225,2	4,7	2,13
2007	0,49115	0,46112	212,6	214,5	1,9	0,91
2008	0,48648	0,45717	202,2	204,5	2,3	1,12
2009	0,37819	0,55883	187,6	193,4	5,8	3,09
2010	0,36902	0,53979	179,5	175,9	-3,6	2,02
2011	0,38541	0,54141	168,5	169,5	1,0	0,59
2012	0,37866	0,54297	162,9	159,5	-3,4	2,11
2013	0,38965	0,55168	153,5	155,5	2,0	1,32
2014	0,37853	0,55075	150,8	146,2	-4,6	3,05
2015	0,37505	0,55247	145,9	140,9	-5,0	3,44
2016	0,39335	0,56711	139,5	142,1	2,6	1,83
2017	0,38808	0,55502	132,8	134,0	1,2	0,94
2018	0,37885	0,55574	131,8	126,7	-5,1	3,91
2019	0,39822	0,57416		129,1		

Прогнозное значение на 2019 год составило 129,1 тыс. ед. (Табл. 4). Поскольку фактических данных пока нет, ошибку мы найти не можем.

Сравнение реальных и прогнозных значений (рис. 2) приводит к выводу о достаточно хорошем качестве прогноза.

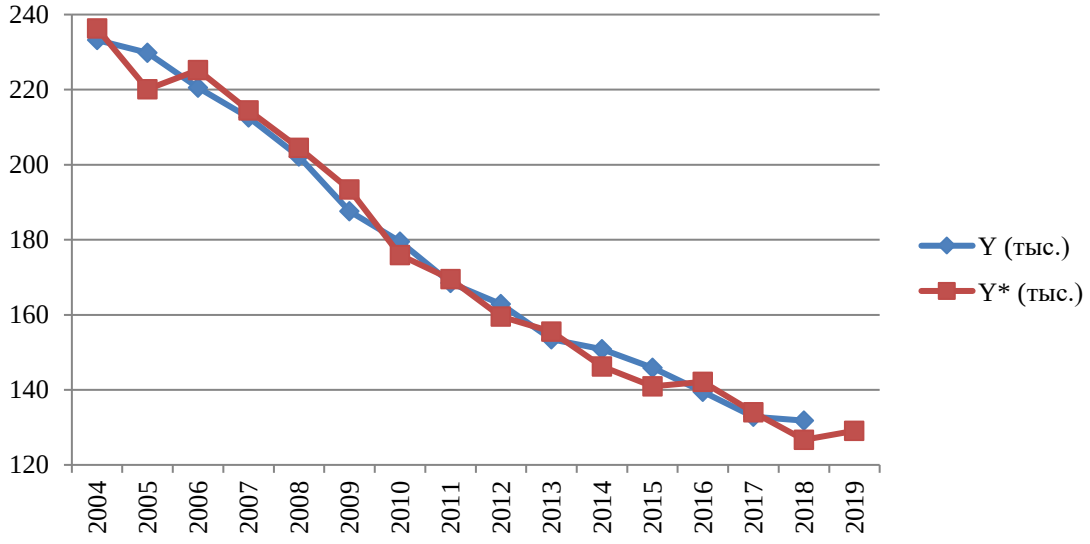


Рисунок 2. Сравнение фактических и прогнозных значений

Величина модуля относительной ошибки находилась в интервале от 0,59 до 4,21 %. Среднее значение квадрата ошибки за 2004 – 2018 годы составило18,548. Коэффициент корреляции между фактическим и прогнозным количеством пожаров равен 0,992885. Квадрат этой величины равен 0,985821. Он дает значение коэффициента детерминации. В итоге получается, что такой способ прогноза дает 98,58 % достоверности описания реальной ситуации за период 2004 – 2018 годов.

Метод прогнозирования с помощью нейрона достаточно прост. Не требует сложной математики, может найти применение на практике

Литература

1. Батуро А. Н. Прогнозирование количества пожаров в регионе на основе теории временных рядов // Civil Security Technology. 2013. V. 10, No 3 (37). P. 84–88.
2. Матеров Е. Н. Использование языка программирования R в вопросах пожарной безопасности: обработка и визуализация данных // Сибирский пожарно-спасательный вест ник. 2018. № 4. С. 60–66.
3. Матеров Е. Н. Использование языка программирования R в вопросах пожарной безопасности: анализ статистики количества пожаров на основе теории временных рядов // Сибирский пожарно-спасательный вест ник. 2019. № 1. С. 52–57.
4. Матеров Е. Н. Использование языка программирования R в вопросах пожарной безопасности: анализ главных компонент // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 2. С. 49–53.
5. Пранов Б. М. О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 5 (57). С. 5. URL: http://ipb.mos.ru/ttb.
6. Пранов Б. М. Адекватные междисциплинарные модели в прогнозировании временных рядов статистических данных // Программные продукты и системы. 2018. № 3 (31). С. 444–447.
7. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. К вопросу об адекватности модели Кобба – Дугласа в прогнозировании временных рядов пожарной статистики // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). С. 3–15.
8. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Регрессионный анализ временного ряда количества пожаров в России // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 2. С. 49–53.
9. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М., 1974. Кн. 1. 403 с.
10. Бриллинджер Д. Временные ряды. М., 1980. 536 с.
11. Комарцова Л. Г., Максимов А. В. Нейрокомпьютеры. М., 2004. 400 с.
12. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: методология и технологии современного анализа даннях / под ред. В. П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2008. 392 с.
13. Топольский Н. Г., Божич В. И., Арзуманян Р. В. О возможности использования нейрокомпьютеров в автоматизированных системах безопасности // Информатиз. систем безопас. М.,1992. С. 115–116.
14. Олейников В. Т., Мосягин А. А. Возможность прогнозирования опасных ситуаций в субъектах РФ на основе нейронных сетей. URL: http://www.ipb.mos.ru/konf/2004/sb-2004/sec-2-04/2.68.pdf.
15. Чумаченко Е. И., Ледовский А. Ю. Прогнозирование пожаров на основе использования нейросетей // Електроніка та системи управління. 2011. № 2 (28). С. 142–148.
16. Шишов В. Н., Киндаев А. Ю. Прогнозирование показателей городских пожаров с помощью искусственных нейронных сетей (на примере Пензенской области) // Концепт. 2014. Т. 20. С. 2816–2820. URL: http://e-koncept.ru/2014/54827.htm.
17. Ясинский Ф. Н., Потёмкина О. В., Сидоров С. Г. и др. Прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров с помощью нейросетевого алгоритма на многопроцессорной вычислительной технике // Вестник ИГЭУ. 2001. Вып. 2. С. 1–4.

References

1. Baturo A. N. Prognozirovanie kolichestva pozharov v regione na osnove teorii vremennyh ryadov // Civil Security Technology. 2013. V. 10, No 3 (37). P. 84–88.
2. Materov E. N. Ispol'zovanie yazyka programmirovaniya R v voprosah pozharnoj bezopasnosti: obrabotka i vizualizaciya dannyh // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2018. № 4. P. 60–66.
3. Materov E. N. Ispol'zovanie yazyka programmirovaniya R v voprosah pozharnoj bezopasnosti: analiz statistiki kolichestva pozharov na osnove teorii vremennyh ryadov // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2019. № 1. P. 52–57.
4. Materov E. N. Ispol'zovanie yazyka programmirovaniya R v voprosah pozharnoj bezopasnosti: analiz glavnyh komponent // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2019. № 2. P. 49–53.
5. Pranov B. M. O nekotoryh podhodah k modelirovaniyu i prognozirovaniyu vremennyh ryadov pozharnoj

statistiki // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2014. № 5 (57). P. 5. URL: http://ipb.mos.ru/ttb.

6. Pranov B. M. Adekvatnye mezhdisciplinarnye modeli v prognozirovanii vremennyh ryadov statisticheskih dannyh // Programmnye produkty i sistemy. 2018. № 3 (31). P. 444–447.

7. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I. K voprosu ob adekvatnosti modeli Kobba – Duglasa v prognozirovanii vremennyh ryadov pozharnoj statistiki // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 2 (23). P. 3–15.

8. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I. Regressionnyj analiz vremennogo ryada kolichestva pozharov v Rossii // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2019. № 2. P. 49–53.

9. Box G. E. P et all Time Series Analysis: Forecast and Control. N.Y., 2015. 712 p.

10. Brillinger D. R Time Series. Data Analysis and Theory. San Fransisco, SIAM, 2001. 561 p.

11. Komarcova L. G., Maksimov A. V. Nejrokomp'yutery. M., 2004. 400 p.

12. Nejronnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannyh / pod red. V. P. Borovikova. 2-e izd., pererab. i dop. M., 2008. 392 p.

13. Topol'skij N. G., Bozhich V. I., Arzumanyan R. V. O vozmozhnosti ispol'zovaniya nejrokomp'yuterov v avtomatizirovannyh sistemah bezopasnosti // Informatiz. sistem bezopas. M., 1992. P. 115–116.

14. Olejnikov V. T., Mosyagin A. A. Vozmozhnost' prognozirovaniya opasnyh situacij v sub'ektah RF na osnove nejronnyh setej. URL: http://www.ipb.mos.ru/konf/2004/sb-2004/sec-2-04/2.68.pdf.

15. Chumachenko E. I., Ledovskij A. Yu. Prognozirovanie pozharov na osnove ispol'zovaniya nejrosetej // Elektronika ta sistemi upravliniya. 2011. № 2 (28). P. 142–148.

16. Shishov V. N., Kindaev A. Yu. Prognozirovanie pokazatelej gorodskih pozharov s pomoshch'yu iskusstvennyh nejronnyh setej (na primere Penzenskoj oblasti) // Koncept. 2014. V. 20. P. 2816–2820. URL: http://e-koncept.ru/2014/54827.htm.

17. Yasinskij F. N., Potyomkina O. V., Sidorov S. G. et al. Prognozirovanie veroyatnosti vozniknoveniya lesnyh pozharov s pomoshch'yu nejrosetevogo algoritma na mnogoprocessornoj vychislitel'noj tekhnike // Vestnik IGEU. 2001. No 2. P. 1–4.

УДК 614.8.01:51-7 *chistanal@rambler.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF FIRE PROTECTION SYSTEMS BASED ON A MATRIX REPRESENTATION OF FIRE RISKS

Прус Ю. В., доктор физико-математических наук,
РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва,
Чистякова А. А., ВНИИПО МЧС России, Балашиха,
Прус М. Ю., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва

Prus Yu. V., RSU of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow,
Chistyakova A. A., All-Russian Research Institute
for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha,
Prus M. Yu., RSU of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow

Обсуждены проблемы адаптации общей модели матричного представления рисков к построению систем безопасности и управлению пожарными рисками в жилом секторе. На основе матричного представления пожарных рисков строится модель, позволяющая проводить оценку эффективности внедрения систем противопожарной защиты.

Ключевые слова: техногенный риск, природный риск, пожарный риск, социотехническая система, риск-ориентированный подход, система обеспечения безопасности.

The problems of adaptation of the model toconstruction of security systems and risk management in sociotechnical systems are discussed. The article substantia tesexpediency of transition to the matrix form of presentation of technogenic, natural and fire risks. Forms of matrix components are proposed which arerepresent the probabilistic parameters and characteristics of possible consequences of adverse events, allowing to consider the effectiveness of measures to prevent threats and protect against dangerous factors.

Keywords: technological risk, natural risk, fire risk, sociotechnical system, risk-based approach, security system.

Обеспечение необходимого уровня пожарной безопасности в жилом секторе требует проведения ряда мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров, внедрения современных систем противопожарной защиты, обучения населения мерам безопасности и действиям при пожаре, подразделений противопожарной службы, что сопряжено со значительными затратами финансовых, материальных и трудовых ресурсов на протяжении длительного периода времени. В связи с этим крайне актуальной становится проблема поиска и обоснования наиболее эффективных вариантов вложения финансовых средств, выделяемых на обеспечение пожарной безопасности жилого сектора, позволяющих добиться скорейших и значимых результатов по снижению социально-экономических потерь от пожаров.

Наиболее перспективными представляются подходы к выбору вариантов выбора мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, внедрению технических средств предупреждения и защиты от последствий опасных событий, на основанные на применении различных методов

имитационного моделирования рисков в социотехнических системах. Современные программно-аппаратные средства моделирования позволяют добиться значительной детализации как объектов защиты по подверженности воздействию опасным факторам и степени уязвимости, так и совокупности возможных последствий опасных событий по видам ущерба. Однако крайне примитивный математический аппарат, используемый до настоящего времени в теории рисков, препятствует реализации потенциальных возможностей современных методов имитационного моделирования.

Существенный прогресс в построении систем имитационного моделирования, позволяющих детализировать, выявлять причины возникновения рисков и исследовать различные процессы, влияющие на динамику рисков, обусловлен применением представления риска в виде мультипликатора двух групп факторов. Одна из групп обусловлена факторами, определяющими возможности возникновения опасного явления, а другая связана с факторами, влияющими на уязвимость подвергающихся опасности объектов. В математической модели рисков первая группа факторов представляется, как вероятность подвергнуться опасности, а вторая – как условная вероятность наступления определенного вида последствий.

Результаты исследований мировой и отечественной пожарной статистики на протяжении ряда лет [1, 2] показали достаточно высокую информативность представления индивидуальных и интегральных пожарных рисков единой совокупностью статистических показателей вида:

$$R_3 = R_1 \cdot R_2, [R_3] = \frac{1}{10^5 \cdot \text{год}}, \ [R_1] = \frac{\text{пожаров}}{10^5 \text{чел} \cdot \text{год}}, [R_2] = \frac{\text{чел}}{\text{пожар}}, \quad (1)$$

где индивидуальный риск гибели R_3 связан с риском для человека оказаться в условиях пожара R_1 и условным риском R_2 гибели на пожаре. В примере (1) выделяются две компоненты риска: первая представляет собой статистическую оценку вероятности подвергнуться опасным факторам пожара (ОФП), а вторая – статистическую оценку условной вероятности гибели на пожаре. Для информационно-аналитической поддержки управления в территориальных системах обеспечения пожарной безопасности успешно построены модели рисков, основанные на разделении компонент риска на две группы, одна из которых связана с частотой возникновения пожаров, а другая – с ожидаемыми социально-экономическими потерями.

Возможности дальнейшей детализации структуры рисков обусловлены преодолением принципиальных ограничений, обусловленных скалярной формой представления рисков. Векторно-матричное представление рисков [3, 4] значительно усложняет и расширяет возможности математического аппарата, позволяя оперировать как с событийным рядом, обусловливающим возникновение факторов риска для различных объектов, так и с результатами их воздействия. При этом осуществляется стратификация объектов защиты по степени уязвимости и подверженности воздействию опасных факторов, а также возможных последствий опасных событий по тяжести ущерба.

Дальнейшая модификация модели позволяет проводить сравнение результатов, направленных на снижение рисков воздействий, например, при реализации мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, построении элементов системы безопасности и защиты.

Адаптируем основные положения модели векторно-матричного представления рисков [3] и введем ряд дополнительных элементов, позволяющих исследовать аспекты пожарных рисков, связанные с изменением вероятностных параметров неблагоприятных событий и характеристик

возможных последствий (ущерба) вследствие направленных на снижение рисков воздействий.

При исследовании пожарных рисков в жилом секторе необходимо провести стратификацию множества «население территории» по принадлежности подмножеств к определенным группам риска на основе установления корреляционных связей между социальными, психофизиологическими и иными признаками с одной стороны, и с другой – характеристиками уязвимости и подверженности воздействию ОФП.

Совокупность «население территории» представляется вектором с компонентами, равными или пропорциональными соответствующему распределению населения по кластерам – группам риска. Кластеризацию необходимо проводить с учетом возрастной классификации, трудоспособности, а также различий по половым признакам, месту проживания, физическим параметрам [4]. В качестве критериев распределения населения по группам риска предлагается использовать классификацию [5], в соответствии с которой следует выделить следующие четыре кластера: c_1 – дети и подростки до 18 лет; c_2 – трудоспособное население (мужчины 16–64 лет, женщины 16–59 года); c_3 – лица старше трудоспособного возраста (мужчины 65 лет и старше, женщины 60 лет и старше); c_4 – инвалиды и лица с ограниченными возможностями. Тогда вектор распределения по группам риска представляется как:

$$\vec{C} = (c_1, c_2, c_3, c_4)\,. \qquad (2)$$

В расположенных на территории жилых зданиях $z^k, k = \{1 \dots K\}$, различающихся по техническому оснащению системами противопожарной защиты, по свойствам и характеристикам пожароопасности, а также ряду внешних факторов, влияющим на пожарную опасность, находятся представители указанных групп населения.

Первая составляющая событийного ряда, определяющая, в соответствии с положениями общей модели векторно-матричного представления рисков, вероятностные характеристики рассматриваемых групп населения подвергнуться воздействию ОФП, согласно [4] определяется элементами диагональной матрицы V (от лат. victima – жертва). Воздействию ОФП подвергаются одновременно все находящиеся в здании, поэтому элементы матрицы V пропорциональны общему множителю, представляющему численную оценку вероятности пожара в здании, а также относительному времени τ_1^k пребывания представителей отдельных групп:

$$\mathbf{V^k} = \begin{pmatrix} v_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v_4^k \end{pmatrix} = p^k \begin{pmatrix} \tau_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tau_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_4^k \end{pmatrix}. \qquad (3)$$

Эффект от реализации конкретного набора мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров учитывается введением некоторых понижающих коэффициентов $w^k \le 1$ для элементов $\mathbf{V^k}$. Можно предложить простейшую модель, описывающую влияние пожарной профилактики на вероятность пожара в течение определенного временного периода T. Возникновение пожаров связано с некоторыми инициирующими событиями, обусловленными совокупностью ряда техногенных и антропогенных факторов от двух принципиально различных типов источников, генерирующих единый поток. Интенсивности первой группы потоков $\lambda_f^k, f = \{1 \dots F\}$ определяются техническим состоянием соответствующих систем (электроснабжение, газопровод и пр.) либо иными инженерно-техническими параметрами

здания. Интенсивности второй группы потоков $\lambda_i^k, i = \{1 \dots I\}$ определяются возможностью возникновения пожара вследствие нарушения правил пожарной безопасности со стороны представителей каждой из групп населения. Вероятность возникновения пожара в здании с учетом эффекта от реализации конкретного набора мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров определим как:

$$p^k = \left(\sum_{f=1}^{F} \left(\lambda_{f^0}^k \left(1 - \alpha_f^k\right) + \alpha_f^k \lambda_{f^*}^k \right) + \sum_{i=1}^{I} \left(\lambda_{i^0}^k \left(1 - \alpha_i^k\right) + \alpha_i^k \lambda_{i^*}^k \right) \right) T\,, \quad (4)$$

где $\lambda_{f^0}^k$,$\lambda_{i^0}^k$ потоки инициирующих событий до и $\lambda_{f^*}^k$, $\lambda_{i^*}^k$ – после проведения мероприятий по предупреждению и предотвращению угроз, а коэффициенты α_f^k и α_i^k характеризует относительный охват соответствующих источников и представителей. Как следует из (4), при учете эффекта от реализации профилактических мероприятий по предупреждению и предотвращению пожаров необходимо разделить каждый из потоков на подпотоки, а группы источников и представителей на соответствующие подгруппы.

Частота возникновения пожара в здании в течение года определяется согласно [6] в домах жилых многоквартирных – $2{,}6 \cdot 10^{-2}$; в домах жилых одноквартирных – $1{,}9 \cdot 10^{-3}$. Однако для более точной оценки определения вероятности пожара в жилом здании необходимо создание соответствующей статистически обоснованной либо экспертной методики.

Для обеспечения возможности дальнейшего определения эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре целесообразно разделить группы риска на подгруппы, а вектор (2) – на два вектора распределения:

$$\overrightarrow{C^k} = (c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k) = \overrightarrow{C_0^k} + \overrightarrow{C_*^k} = \overrightarrow{C^k}\mathrm{A}^{\boldsymbol{k}} + \overrightarrow{C^k}(\mathrm{E} - \mathrm{A})^{\boldsymbol{k}} =$$

$$= \left(c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k\right) \begin{pmatrix} \alpha_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_4^k \end{pmatrix} +$$

$$+\left(c_1^k, c_2^k, c_3^k, c_4^k\right) \begin{pmatrix} 1-\alpha_1^k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\alpha_2^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\alpha_3^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-\alpha_4^k \end{pmatrix} =$$

$$=\left(\left(1-\alpha_1^k\right)c_1^k, \left(1-\alpha_2^k\right)c_2^k, \left(1-\alpha_3^k\right)c_3^k, \left(1-\alpha_4^k\right)c_4^k\right) + (\alpha_1^k c_1^k, \alpha_2^k c_2^k, \alpha_3^k c_3^k, \alpha_4^k c_4^k), \quad (5)$$

где нижние индексы i^*и i^0 отличают представителей групп, с которыми проводились или не проводились профилактические мероприятия, α_i^k – показатели относительного охвата отдельных групп мероприятиями противопожарной профилактики, определяющие размеры подгрупп $c_{i^0}^k$ и $c_{i^*}^k$.

Локальные частотные характеристики подверженности воздействию ОФП для совместно находящихся в отдельных зданиях представителей определенных групп населения представляются векторами:

$$\overrightarrow{F^k} = \left(f_1^k, f_2^k, f_3^k, f_4^k\right) = \overrightarrow{\mathrm{C}^k}\mathbf{V}^{\boldsymbol{k}} = \overrightarrow{C_0^k}\mathbf{V}^{\boldsymbol{k}} + \overrightarrow{C_*^k}\mathbf{V}^{\boldsymbol{k}} = \overrightarrow{F_0^k} + \overrightarrow{F_*^k} =$$

$$= \left(f_{1^0}^k, f_{2^0}^k, f_{3^0}^k, f_{4^0}^k\right) + \left(f_{1^*}^k, f_{2^*}^k, f_{2^*}^k, f_{4^*}^k\right) = p^k\left(c_{1^0}^k\tau_1^k, c_{2^0}^k\tau_2^k, c_{3^0}^k\tau_3^k, c_{4^0}^k\tau_4^k\right) +$$
$$+ p^k\left(c_{1^*}^k\tau_1^k, c_{2^*}^k\tau_2^k, c_{3^*}^k\tau_3^k, c_{4^*}^k\tau_4^k\right). \quad (6)$$

Под причиненным здоровью человека вредом согласно [7] понимается нарушение анатомической целостности и физиологической функции органов и тканей человека в результате воздействия физических, химических, биологических и психических факторов. В соответствии с квалифицирующими признаками тяжести вреда, причиненного здоровью человека, выделяются следующие четыре вида последствий: $d_1 -$ гибель; $d_2 -$ тяжелые травмы; $d_3 -$ травмы средней тяжести; $d_4 -$ легкие травмы.

Вторая составляющая событийного ряда, определяющая условные вероятности наступления различного вида последствий от воздействия ОФП, согласно общей модели векторно-матричного представления рисков, представляется прямоугольной матрицей $\mathbf{S}$ (от англ. sensitivity –чувствительность), элементы которой характеризуют различные виды уязвимости для представителей всех групп риска. С учетом эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению представителей групп населения мерам безопасности и действиям при пожаре единая матрица $\mathbf{S}$ распадается на две подматрицы:

$$\boldsymbol{S_0} = \begin{pmatrix} s_{1^0 1} & s_{1^0 2} & s_{1^0 3} & s_{1^0 4} \\ s_{2^0 1} & s_{2^0 2} & s_{2^0 3} & s_{2^0 3} \\ s_{3^0 1} & s_{3^0 2} & s_{3^0 3} & s_{3^0 4} \\ s_{4^0 1} & s_{4^0 2} & s_{4^0 3} & s_{4^0 4} \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{S}_* = \begin{pmatrix} s_{1^* 1} & s_{1^* 2} & s_{1^* 3} & s_{1^* 4} \\ s_{2^* 1} & s_{2^* 2} & s_{2^* 3} & s_{2^* 3} \\ s_{3^* 1} & s_{3^* 2} & s_{3^* 3} & s_{3^* 4} \\ s_{4^* 1} & s_{4^* 2} & s_{4^* 3} & s_{4^* 4} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где нижние индексы i^*и i^0 отличают подгруппы, состоящие из представителей групп, профилактические мероприятия с которыми соответственно проводились или не проводились.

Введем для определенного здания z^kматрицы $\boldsymbol{S}_0^k$ и $\boldsymbol{S}_*^k$ элементами которых являются соответствующие локальные условные вероятности наступления вышеуказанных последствий воздействия ОФП, обусловленные результатом выполнения основных функций противопожарной защиты (вторая матрица введена для возможности учета эффекта от проведенных профилактических мероприятий).

Согласно положениям общей модели векторно-матричного представления рисков, компоненты «вектора ожидаемых потерь» отражают негативные последствия жизни и здоровью человека. Для учета эффекта от реализации профилактических мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре потери каждого вида разделим на две составляющих $d_{j^0}^k$, $d_{j^*}^k (j = \{1 \ldots J\})$ потерь для охваченного и неохваченного мероприятиями противопожарнойпрофилактики населения. Тогда локальный «вектор ожидаемых потерь» можно представить следующим образом:

$$\overrightarrow{D^k} = \left(d_1^k, d_2^k, d_3^k, d_4^k\right) = \left(d_{1^0}^k, d_{2^0}^k, d_{3^0}^k, d_{4^0}^k\right) + \left(d_{1^*}^k, d_{2^*}^k, d_{3^*}^k, d_{4^*}^k\right) =$$
$$= \overrightarrow{D_0^k} + \overrightarrow{D_*^k} = \overrightarrow{F_0^k}\boldsymbol{S}_0^k + \overrightarrow{F_*^k}\boldsymbol{S}_*^k = \overrightarrow{C_0^k}\boldsymbol{V^k}\boldsymbol{S_0^k} + \overrightarrow{C_*^k}\boldsymbol{V^k}\boldsymbol{S}_*^k. \quad (8)$$

Основные факторы, влияющие на количественные характеристики и структуру ожидаемых потерь в случае возникновения пожара, определяются совокупностью сил и средств обеспечения функций противопожарной защиты. К значимым факторам относятся также проведение мероприятий по обучению населения мерам безопасности и действиям при пожаре, обеспечением

индивидуальными средствами защиты от ОФП и ряд других мер.

При проведении анализа влияния отдельных факторов необходимо отличать друг от друга два обстоятельства, связанные с наличием определенной совокупности сил, средств и систем, с одной стороны и, с другой стороны – фактическим выполнением ими функций противопожарной защиты или результатами их срабатывания в случае возникновения пожара. Введем для каждой из рассматриваемых ниже L функций противопожарной защиты показатели, обозначающие наличие/отсутствие возможности выполнения и фактическое выполнение/невыполнение, соответствующими булевыми переменными $R_l^k = [1,0]$, $\mathrm{E}_l^k = [1,0]$, $(l = \{1 \dots L\})$.

Показатели R_l^k возможности выполнения/невыполнения основных функций противопожарной защиты в случае пожара в здании являются детерминированными величинами, поскольку однозначно определяются установкой систем противопожарной защиты, а также наличием сил и средств обеспечения пожарной безопасности и иных значимых факторов.

Показатели E_l^k фактического выполнения/невыполнения основных функций противопожарной защиты представляют собой случайные величины, вероятности которых:

$$\begin{bmatrix} 0 \le P\left(E_l^k = 1\right) \le 1 \text{ при } R_l^k = 1 \\ P\left(E_l^k = 1\right) = 0 \left(P\left(E_l^k = 0\right) = 1\right) \text{ при } R_l^k = 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Согласно (9) событие «выполнение функции $[\Phi_l]$ противопожарной защиты» является возможным только при условии наличия возможности его выполнения, при этом его вероятность равна вероятности фактического выполнения. В случае отсутствия возможности выполнения рассматриваемой функции указанное событие является невозможным и его вероятность равна нулю.

Для обозначения событий, заключающихся в выполнении или невыполнении функций противопожарной защиты, введем булевы индексы, представляющие собой произведения соответствующих пар $\left(R_l^k \cdot E_l^k\right)$. Любой из возможных вариантов фактически действующей в случае возникновения пожара совокупности функций противопожарной защиты обозначается упорядоченным набором булевых индексов:

$$\left(R_1^k \cdot E_1^k\right) \dots \dots \left(R_l^k \cdot E_l^k\right) \dots \dots \left(R_L^k \cdot E_L^k\right), \quad l = \{1 \dots . . L\}. \quad (10)$$

В зависимости от технических характеристики показателей срабатывания установленных в здании систем противопожарной защиты, а также совокупности иных сил и средств обеспечения пожарной безопасности, каждому из возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты соответствует некоторая вероятность:

$$P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right) \dots \dots \left(R_l^k \cdot E_l^k\right) \dots \dots \left(R_L^k \cdot E_L^k\right)\right]. \quad (11)$$

Основными параметрами модели, позволяющими производить численную оценку ожидаемых потерь, являются относящиеся к заданному варианту выполнения совокупности функций противопожарной защиты частные локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп $c_{i^0}^k$ и $c_{i^*}^k$:

$$s_{i^0 j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \ldots\ldots (R_l^k \cdot E_l^k) \ldots\ldots (R_L^k \cdot E_L^k)}, \qquad s_{i^* j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \ldots\ldots (R_l^k \cdot E_l^k) \ldots\ldots (R_L^k \cdot E_L^k)} \qquad (12)$$

Значения условных вероятностей ожидаемых потерь при определенном наборе функций защиты возможно оценить в процессе исследования статистических данных о потерях от пожаров либо на основе экспертных методов. В настоящее время подобные методики не применяются, поэтому на первоначальном этапе можно предложить использование полученной методами парных сравнений оценочной шкалы рисков для подгрупп $c_{i^0}^k$ и $c_{i^*}^k$при определенных вариантах выполнения совокупности функций противопожарной защиты.

Локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп $c_{i^0}^k$и $c_{i^*}^k$определяются как математические ожидания величин $s_{i^0 j}^k$ и $s_{i^* j}^k$, т. е. представляют собой суммы попарных произведений частных локальных условных вероятностей (12) на соответствующие вероятности возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты (11):

$$\langle s_{i^0 j}^k \rangle = \sum_{E_1 \ldots\ldots E_L} s_{i^0 j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \ldots\ldots (R_l^k \cdot E_l^k) \ldots\ldots (R_L^k \cdot E_L^k)} P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right) \ldots \ldots \left(R_l^k \cdot E_l^k\right) \ldots \ldots \left(R_L^k \cdot E_L^k\right)\right]$$
$$\langle s_{i^* j}^k \rangle = \sum_{E_1 \ldots\ldots E_L} s_{i^* j}^{(R_1^k \cdot E_1^k) \ldots\ldots (R_l^k \cdot E_l^k) \ldots\ldots (R_L^k \cdot E_L^k)} P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right) \ldots \ldots \left(R_l^k \cdot E_l^k\right) \ldots \ldots \left(R_L^k \cdot E_L^k\right)\right]. \qquad (13)$$

Локальный «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий для проживающего в здании населения пожара и воздействий ОФП выразим, используя в (8) результаты (13), следующим образом:

$$\overrightarrow{D^k} = \overrightarrow{D_0^k} + \overrightarrow{D_*^k} = \overrightarrow{F_0^k}\boldsymbol{S_0^k} + \overrightarrow{F_*^k}\boldsymbol{S_*^k} == \overrightarrow{C_0^k}\boldsymbol{V^k}\boldsymbol{S_0^k} + \overrightarrow{C_*^k}\boldsymbol{V^k}\boldsymbol{S_*^k}$$
$$= \left(d_{1^0}^k, d_{2^0}^k, d_{3^0}^k, d_{4^0}^k\right) + \left(d_{1^*}^k, d_{2^*}^k, d_{3^*}^k, d_{4^*}^k\right) =$$
$$= p^k\left(c_{1^0}^k\tau_1^k, c_{2^0}^k\tau_2^k, c_{3^0}^k\tau_3^k, c_{4^0}^k\tau_4^k\right)\begin{pmatrix} \langle s_{1^0 1}^k\rangle & \langle s_{1^0 2}^k\rangle & \langle s_{1^0 3}^k\rangle & \langle s_{1^0 4}^k\rangle \\ \langle s_{2^0 1}^k\rangle & \langle s_{2^0 2}^k\rangle & \langle s_{2^0 3}^k\rangle & \langle s_{2^0 4}^k\rangle \\ \langle s_{3^0 1}^k\rangle & \langle s_{3^0 2}^k\rangle & \langle s_{3^0 3}^k\rangle & \langle s_{3^0 4}^k\rangle \\ \langle s_{4^0 1}^k\rangle & \langle s_{4^0 1}^k\rangle & \langle s_{4^0 3}^k\rangle & \langle s_{4^0 4}^k\rangle \end{pmatrix} +$$
$$+ p^k\left(c_{1^*}^k\tau_1^k, c_{2^*}^k\tau_2^k, c_{3^*}^k\tau_3^k, c_{4^*}^k\tau_4^k\right)\begin{pmatrix} \langle s_{1^* 1}^k\rangle & \langle s_{1^* 2}^k\rangle & \langle s_{1^* 3}^k\rangle & \langle s_{1^* 4}^k\rangle \\ \langle s_{2^* 1}^k\rangle & \langle s_{2^* 2}^k\rangle & \langle s_{2^* 3}^k\rangle & \langle s_{2^* 4}^k\rangle \\ \langle s_{3^* 1}^k\rangle & \langle s_{3^* 2}^k\rangle & \langle s_{3^* 3}^k\rangle & \langle s_{3^* 4}^k\rangle \\ \langle s_{4^* 1}^k\rangle & \langle s_{4^* 1}^k\rangle & \langle s_{4^* 3}^k\rangle & \langle s_{4^* 4}^k\rangle \end{pmatrix}. \qquad (14)$$

Интегральный «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий от пожара и воздействий ОФП для всего проживающего на территории населения и представляют вычисляемые в соответствии с (14) аддитивные величины:

$$\vec{D} = \sum_{k=1}^{K} \overrightarrow{D^k} = \sum_{k=1}^{K} \left(\overrightarrow{D_0^k} + \overrightarrow{D_*^k} \right) = \sum_{k=1}^{K} \overrightarrow{D_0^k} + \sum_{k=1}^{K} \overrightarrow{D_*^k} =$$

$$= \left(\sum_{k=1}^{K} d_1^k, \sum_{k=1}^{K} d_2^k, \sum_{k=1}^{K} d_3^k, \sum_{k=1}^{K} d_4^k \right) . \quad (15)$$

Приведем общую методику определения ожидаемых потерь от пожаров и воздействий ОФП для проживающего на заданной территории населения.

В случае возникновения пожара в жилых зданиях возможные последствия обусловленные непосредственным выполнением основных функций противопожарной защиты, которые, согласно [8], отразим табл. 1.

Таблица 1

Основных функций противопожарной защиты

$\boldsymbol{\Phi_l}$	ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ	$\boldsymbol{R_l}$	$\boldsymbol{E_l}$	ОБЕСПЕЧЕНИЕ	ВЗАИМОСВЯЗЬ С ОСТАЛЬНЫМИ Φ_l	
$\boldsymbol{\Phi_1}$	обеспечение управления эвакуацией (ОУЭ)	$\boldsymbol{R_1}$	$\boldsymbol{E_1}$	установка систем защиты от ОФП (с САП и без САП)	$\boldsymbol{R_3=1}$ ---------- $\boldsymbol{R_3=0}$	$[\boldsymbol{\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \Phi_3}]$ ---------- $[\boldsymbol{\Phi_1 \quad \Phi_2}]$
$\boldsymbol{\Phi_2}$	обеспечение противодымной защиты (ПДЗ)	$\boldsymbol{R_2}$	$\boldsymbol{E_2}$			
$\boldsymbol{\Phi_3}$	обеспечение автоматического пожаротушения (АП)	$\boldsymbol{R_3}$	$\boldsymbol{E_3}$			
$\boldsymbol{\Phi_4}$	обеспечение своевременного прибытия подразделений ПО	$\boldsymbol{R_4}$	$\boldsymbol{E_4}$	дислокация ПО	автономны	$[\boldsymbol{\Phi_4}]$
$\boldsymbol{\Phi_5}$	обеспечение доступа к обычным путям эвакуации	$\boldsymbol{R_5}$	$\boldsymbol{E_5}$	эвакуационные пути		$[\boldsymbol{\Phi_5}]$
$\boldsymbol{\Phi_6}$	обеспечение возможности дополнительной аварийной эвакуации	$\boldsymbol{R_6}$	$\boldsymbol{E_6}$	аварийные выходы		$[\boldsymbol{\Phi_6}]$

Для обозначения возможности или невозможности выполнения каждой из шести основных функций противопожарной защиты введем

соответствующие идентификаторы, представленные булевыми переменными $\{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$. Введем также идентификаторы, обозначающие фактическое выполнение/невыполнение каждой из шести основных функций противопожарной защиты, представленные булевыми переменными $\{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6\}$, изменяющимися в зависимости от срабатывания отдельных средств защиты от ОФП.

Функции Φ_1, Φ_2, Φ_3(либо функции Φ_1, Φ_2 без Φ_3) связаны между собой и обусловлены конкретной конфигурацией оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП. В жилых зданиях, не оборудованных системами автоматического пожаротушения (САП), возможность выполнения совокупности двух функций $[\Phi_1 \ \Phi_2]$ определяется наличием систем обнаружения пожара (СОП), систем обеспечения управления эвакуацией (СОУЭ) и систем противодымной защиты (СПДЗ), а также соответствие имеющихся систем требованиям нормативных документов по пожарной безопасности (табл. 2).

В оборудованных системами автоматического пожаротушения (САП) жилых зданиях на возможность выполнения совокупности трех функций $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$ влияет наличие систем обеспечения управления эвакуацией (СОУЭ) и систем противодымной защиты (СПДЗ), а также соответствие имеющихся систем требованиям нормативных документов по пожарной безопасности (табл. 3). Наличие систем защиты от ОФП и их соответствие требованиям нормативных документов по пожарной безопасности указано в строках таблиц для объектов, необорудованных (табл. 2) и оборудованных системами АП (табл. 3).

Таблица 2

Наличие систем защиты от ОФП необорудованных системами АП

Система ОП			**Система ОУЭ**			**Система ПДЗ**			Идентификаторы возможности выполнения функций			Идентификаторы выполнения $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3](R_1E_1)(R_2E_2)($ и вероятности $P(\ (R_1E_1)(R_2E_2)(R_3E_3))$			
									Ф1	***Ф2***	***Ф3***				
н	***с***	***К*обн**	***н***	***с***	***К*соуэ**	***н***	***с***	***К*пдз**	***R1***	***R2***	***R3***	**110**	**100**	**010**	**000**
1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	**1**	**1**	**0**	0,512	0,128	0,128	0,232
1	1	0,8	1	1	0,8	1	0	0	**1**	**0**	**0**	0	0,64	0	0,36
1	1	0,8	1	1	0,8	0	0	0	**1**	**0**	**0**	0	0,64	0	0,36
1	1	0,8	1	0	0	1	1	0,8	**0**	**1**	**0**	0	0	0,64	0,36
1	1	0,8	1	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	1	0,8	0	0	0	1	1	0,8	**0**	**1**	**0**	0	0	0,64	0,36
1	1	0,8	0	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	1

н – наличие, ***с*** – соответствие

Таблица 3

Наличие систем защиты от ОФП оборудованных системами АП

Система АП			**Система ОУЭ**			**Система ПДЗ**			Идентификаторы возможности выполнения функций			Идентификаторы выполнения $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$ $(R_1E_1)(R_2E_2)(R_3E_3)$и вероятности P($(R_1E_1)(R_2E_2)(R_3E_3)$)				
									Ф1	**Ф2**	**Ф3**					
н	***с***	***К*ап**	***н***	***с***	***К*со уэ**	***н***	***с***	***К*пдз**	**R1**	**R2**	**R3**	**111**	**101**	**011**	**001**	**000**
1	1	0,9	1	1	0,8	1	1	0,8	**1**	**1**	**1**	0,576	0,144	0,144	0,036	0,1
1	1	0,9	1	1	0,8	1	0	0	**1**	**0**	**1**	0	0,72	0	0,18	0,1
1	1	0,9	1	1	0,8	0	0	0	**1**	**0**	**1**	0	0,72	0	0,18	0,1
1	1	0,9	1	0	0	1	1	0,8	**0**	**1**	**1**	0	0	0,72	0,18	0,1
1	1	0,9	1	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**1**	0	0	0	0,9	0,1
1	1	0,9	0	0	0	1	1	0,8	**0**	**1**	**1**	0	0	0,72	0,18	0,1
1	1	0,9	0	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**1**	0	0	0	0,9	0,1
1	1	0,9	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**	**1**	0	0	0	0,9	0,1
1	0	0	1	1	0,8	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0,8	0	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	1	0,8	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	1

н – наличие, ***с*** – соответствие

Каждый из вариантов выполнения совокупности функций $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$ противопожарной защиты (либо совокупности $[\Phi_1 \ \Phi_2]$**)** представляет сложное событие, состоящее из определенной последовательности взаимосвязанных простых событий, отражающих различные возможные варианты срабатывания систем защиты от ОФП. Соответствующие деревья событий (рис. 1,2), представляют графическую интерпретацию потенциально возможных событий и их последовательности (сценариев развития), исходящих от основного (инициирующего) события-пожара. В зависимости от конкретной конфигурации оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП определяются возможности и вероятности реализации различных вариантов выполнения совокупности функций $[\Phi_1 \ \Phi_2]$ (либо $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$). При расчете вероятностей осуществления вариантов выполнения функций $[\Phi_1 \ \Phi_2]$ (либо $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$) в соответствии с табл. 2 и 3 проводился с учетом определенных коэффициентов, позволяющих оценить вероятности срабатывания рассматриваемых систем защиты от ОФП.

Событие «выполнение совокупности функций $[\Phi_1 \ \Phi_2]$ (либо $[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$)» является сложным и представляет композицию взаимосвязанных между собой событий, представляющую определенную последовательность взаимосвязанных простых событий, отражающую различные возможные варианты срабатываниях систем защиты от ОФП. Возможности и вероятности отдельных простых событий (срабатывания систем защиты от ОФП) определяются в зависимости от конкретной конфигурации – наличия систем защиты от ОФП и их соответствия нормативным требованиям.

Как следует из рассмотренных выше сценариев развития событий (табл. 2, 3 и рис. 1, 2), вероятности возможных ва-

риантов выполнения совокупности функций $[\Phi_1 \quad \Phi_2]$ (либо$[\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \Phi_3]$) определяются при заданной конфигурации значениями элементов табл. 2, 3 с соответствующими идентификаторами $P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\right]$ (либо $P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\right]$).Оценка вероятности срабатывания рассматриваемых систем защиты от ОФП проведена на основе определения понижающих коэффициентов в соответствии с [6].

Функции Φ_4, Φ_5, Φ_6 независимы друг от друга и определяются иными влияющими на спасение людей факторами, зависящими от ряда обстоятельств, отраженных в табл. 4, 5, 6. Возможности выполнения функций $[\Phi_4]$, $[\Phi_5]$,$[\Phi_6]$ определяются по данным табл. 4–6, в зависимости от дислокации подразделений пожарной охраны (ПО) на территории поселений и городских округов, обеспечения требований пожарной безопасности к путям эвакуации, аварийным и эвакуационным выходам (в зависимости от класса функциональной пожарной опасности здания). Эти данные также использованы для оценки вероятности выполнения $[\Phi_4]$,$[\Phi_5]$,$[\Phi_6]$ на основе определения понижающих коэффициентов согласно [3].

ОБН		ОУЭ		ПДЗ	
н	с	н	с	н	с
1	1	1	1	1	1

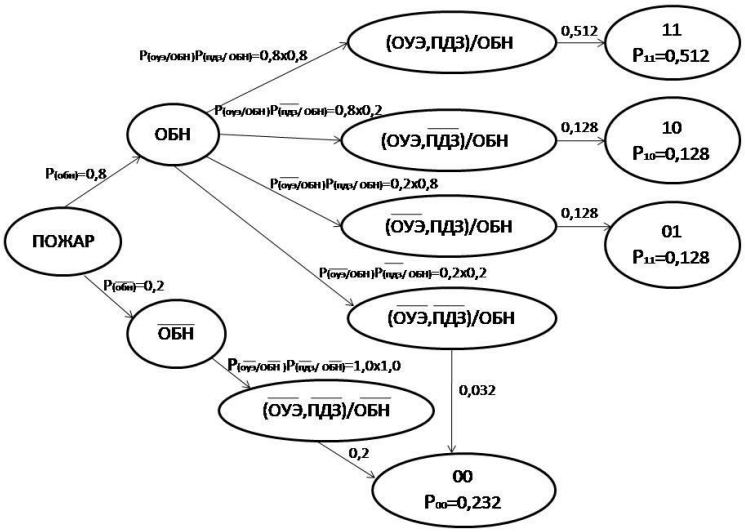


Рисунок 1. Дерево событий, обусловливающих возможные варианты выполнения (невыполнения) функций Φ_1, Φ_2, Φ_3 для конфигурации 1 из табл. 2

АП		ОУЭ		ПДЗ	
н	с	н	с	н	с
1	1	1	1	1	1

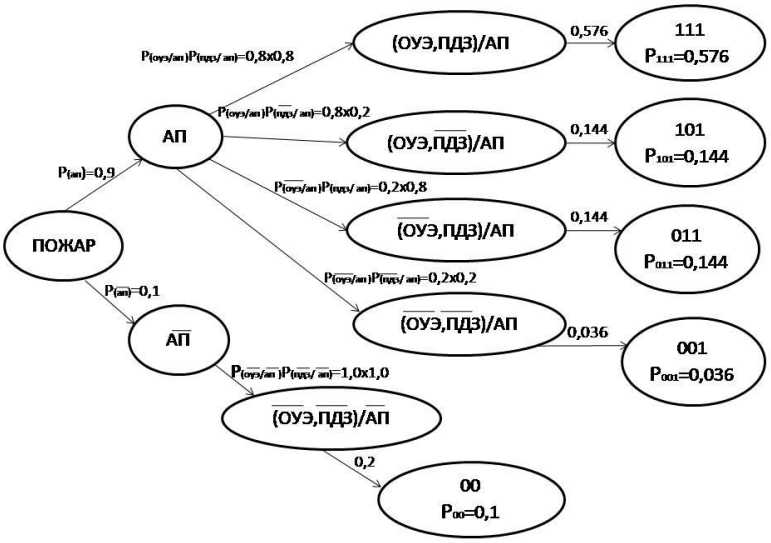


Рисунок 2. Дерево событий, обусловливающих возможные варианты выполнения (невыполнения) функций $Ф_1$, $Ф_2$, $Ф_3$ для конфигурации 1 из табл. 3

Таблица 4

Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий Ф 1.3 и Ф 1.4	**Дислокация ПО**		**$Ф_4$**	
	с	$K_{по}$	возм. выполнения/R_4	P_4= P(E_4=1)
	1	0,95	**1**	0,95
	0	0	**0**	0

Таблица 5

Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий Ф 1.3 и Ф 1.4	**пути эвакуации**		**$Ф_5$**	
	с	$K_{эв}$	возм. выполнения /R_5	P_5= P(E_5=1)
	1	0,8	**1**	0,8
	0	0	**0**	0

Таблица 6

Дополнительные факторы, влияющие на спасение людей

Для зданий	**Аварийные выходы**			**$Ф_6$**	
	н	***с***	$K_ф$	возм. выполнения/R_6	P_6= P(E_6=1)
Ф 1.3	1	1	0,75	**1**	O,75
	1	0	0	**0**	0
	0	0	0	**0**	0
Ф 1.4.	1	1	0,75	**1**	0,75

События «выполнение функций [$Ф_4$], [$Ф_5$], [$Ф_6$] независимы друг от друга и от рассмотренного выше сложного события. Вероятности возможных вариантов выполнения каждой из функций [$Ф_4$], [$Ф_5$], [$Ф_6$] определяются

при заданной конфигурации значениями элементов табл. 4–6 с соответствующими идентификаторами $P\left[\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\right]$, $P\left[\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\right]$, $P\left[\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)\right]$.

Введем комплексные идентификаторы возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты $[R_1R_2R_3R_4R_5R_6]$, представленные упорядоченными наборами из шести соответствующих булевых переменных.

Охарактеризуем находящиеся на определенной территории жилые здания z^k с точки зрения возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты, отображая данные в табл. 7. Значения комплексных идентификаторов возможности выполнения определенной совокупности основных функций противопожарной защиты $[R_1R_2R_3R_4R_5R_6]$ для каждого здания определяем по соответствующим столбцам табл. 2–6 с идентификаторами возможности выполнения или невыполнения функций противопожарной защиты. С учетом конфигурации оснащения жилого здания системами от ОФП (табл. 7) значение идентификатора $[R_1R_2R_3]$ определяется по табл. 2, 3.Факторы, влияющие на спасение находящихся в жилом здании людей (табл. 7) учитываются при определении значений каждого из идентификаторов $[R_4]$, $[R_5]$, $[R_6]$ в соответствии с табл. 4–6.

Совокупность жилых зданий z^k может быть разбита на подгруппы с одинаковыми $[R_1R_2R_3R_4R_5R_6]$ в соответствии с конкретными конфигурациями оснащения жилых зданий системами защиты от ОФП и иных влияющих на спасение людей факторов.

Все возможные варианты выполнения совокупности шести основных функций противопожарной защиты составляют полную группу событий, каждое из которых представляет собой композицию четырех независимых событий: сложного события «выполнение совокупности функций $[\Phi_1 \ \Phi_2]$(либо$[\Phi_1 \ \Phi_2 \ \Phi_3]$) а также трех событий «выполнение функций $[\Phi_4]$, $[\Phi_5]$, $[\Phi_6]$». Вероятность выполнения совокупности шести основных функций противопожарной защиты можно представить в виде произведения вероятностей четырех независимых событий:

$$P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)\right] = \\ = P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\right]P\left[\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\right]P\left[\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\right]P\left[\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)\right]. \quad (16)$$

Локальные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП для подгрупп $c_{i^0}^k$ и $c_{i^*}^k$ в соответствии с (13) определяются как математические ожидания величин с учетом вероятностей возможных вариантов выполнения совокупности функций противопожарной защиты:

$$\langle s_{i^0 j}^k \rangle = \sum_{E_1E_2E_3E_4E_5E_6} s_{i^0 j}^{\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)} \\ \times P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\right]P\left[\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\right]P\left[\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\right]P\left[\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)\right],$$

$$\langle s_{i^* j}^k \rangle = \sum_{E_1E_2E_3E_4E_5E_6} s_{i^0 j}^{\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)} \times P\left[\left(R_1^k \cdot E_1^k\right)\left(R_2^k \cdot E_2^k\right)\left(R_3^k \cdot E_3^k\right)\right]P\left[\left(R_4^k \cdot E_4^k\right)\right]P\left[\left(R_5^k \cdot E_5^k\right)\right]P\left[\left(R_6^k \cdot E_6^k\right)\right]. \quad (17)$$

При известных значениях всех параметров модели (12), для определенного

значения шестизначного идентификатора локальные усредненные условные вероятности наступления последствий воздействия ОФП могут быть вычислены в соответствии с (17), с определением численных значений вероятностей возможных вариантов выполнения функций противопожарной защиты из табл. 4–6.

Таблица 7

Оснащения жилого здания системами от ОФП и возможности или невозможности выполнения всей совокупности функций противопожарной защиты

k	p^k 10^{-2}	Группы c_i относительное время τ_i подгруппы $c_{i^0}^k$ / $c_{i^*}^k$				Оснащение жилых зданий системами защиты от ОФП								Факторы, влияющие на спасение людей				Идентификаторы текущий и достижимый, затраты		
		c_1 τ_1= 0,6	c_2 τ_2= 0,5	c_3 τ_2= 0,7	c_4 τ_2= 0,9	САП		СОП		СОУЭ		СПДЗ		Дислокация ПО	Пути эвакуации	Аварийные выходы		$\left[\underbrace{R_l^k}_{L}\right]^0$	$\left[\underbrace{R_l^k}_{L}\right]^*$	$\overrightarrow{w^k}$ 10^6 руб.
						н	с	н	с	н	с	н	с	с	с	н	с			
1	2,6	40/53	37/9	18/11	1/0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	001 111	111 111	2,1
2	2,6	6/6	11/9	8/8	3/5	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	100 111	110 111	0,15
3	2,6	7/8	2/6	3/4	5/5	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	010 111	111 111	0,15
4	2,6	9/7	2/8	1/3	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	100 111	110 111	1,2

В качестве примера приведем расчет для здания с максимально возможным обеспечением средствами защиты и наиболее благоприятными факторами, влияющими на спасение людей. При подстановке в выражение (17) идентификатора [111111], соответствующего данному варианту конфигурации средств защиты от ОФП и факторов, влияющих на спасение людей, получим:

$$\begin{aligned}\langle s_{i^0 j}^k \rangle = {} & s_{i^0 j}^{111111} P_{123}(111) P_4(1) P_5(1) P_6(1) \\ & + s_{i^0 j}^{111110} P_{123}(111) P_4(1) P_5(1) P_6(0) + s_{i^0 j}^{111101} P_{123}(111) P_4(1) P_5(0) P_6(1) \\ & + s_{i^0 j}^{111011} P_{123}(111) P_4(0) P_5(1) P_6(1) + s_{i^0 j}^{111100} P_{123}(111) P_4(1) P_5(0) P_6(0) \\ & + s_{i^0 j}^{111010} P_{123}(111) P_4(0) P_5(1) P_6(0) + s_{i^0 j}^{111001} P_{123}(111) P_4(0) P_5(0) P_6(1) \\ & + + s_{i^0 j}^{111000} P_{123}(111) P_4(0) P_5(0) P_6(0) + s_{i^0 j}^{101111} P_{123}(101) P_4(1) P_5(1) P_6(1) \\ & + s_{i^0 j}^{101110} P_{123}(101) P_4(1) P_5(1) P_6(0) + s_{i^0 j}^{101101} P_{123}(101) P_4(1) P_5(0) P_6(1) \\ & + + s_{i^0 j}^{101011} P_{123}(101) P_4(0) P_5(1) P_6(1) + s_{i^0 j}^{101100} P_{123}(101) P_4(1) P_5(0) P_6(0) \\ & + s_{i^0 j}^{101010} P_{123}(101) P_4(0) P_5(1) P_6(0) +\end{aligned}$$

$$+s_{i^0j}^{101001}P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(1)+s_{i^0j}^{101000}P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^0j}^{011111}P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(1)+s_{i^0j}^{011110}P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(0)$$
$$+\ +s_{i^0j}^{011101}P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{011011}P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^0j}^{011100}P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^0j}^{011010}P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^0j}^{011001}P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{011000}P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(0)+s_{i^0j}^{001111}P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{001110}P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^0j}^{001101}P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{001011}P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^0j}^{001100}P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^0j}^{001010}P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^0j}^{001001}P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{001000}P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(0)+s_{i^0j}^{000111}P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+\ +s_{i^0j}^{000110}P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+s_{i^0j}^{000101}P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{000011}P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+\ +s_{i^0j}^{000100}P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^0j}^{000010}P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+s_{i^0j}^{000001}P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^0j}^{000000}P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(0)\ ,$$

(18)

$$\langle s_{i^*j}^{k}\rangle\ =\ s_{i^*j}^{111111}P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{111110}P_{123}(111)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+s_{i^0j}^{111101}P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{111011}P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^*j}^{111100}P_{123}(111)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{111010}P_{123}(111)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+s_{i^*j}^{111001}P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+\ +s_{i^*j}^{111000}P_{123}(111)P_4(0)P_5(0)P_6(0)+\ s_{i^*j}^{101111}P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{101110}P_{123}(101)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+s_{i^*j}^{101101}P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+\ +s_{i^*j}^{101011}P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^*j}^{101100}P_{123}(101)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{101010}P_{123}(101)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+$$
$$+s_{i^*j}^{101001}P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(1)+s_{i^*j}^{101000}P_{123}(101)P_4(0)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{011111}P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(1)+s_{i^*j}^{011110}P_{123}(011)P_4(1)P_5(1)P_6(0)$$
$$+\ +s_{i^*j}^{011101}P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{011011}P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^*j}^{011100}P_{123}(011)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{011010}P_{123}(011)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^*j}^{011001}P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{011000}P_{123}(011)P_4(0)P_5(0)P_6(0)+s_{i^*j}^{001111}P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{001110}P_{123}(001)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^*j}^{001101}P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{001011}P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+s_{i^*j}^{001100}P_{123}(001)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{001010}P_{123}(001)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+\ +s_{i^*j}^{001001}P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{001000}P_{123}(001)P_4(0)P_5(0)P_6(0)+s_{i^*j}^{000111}P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(1)$$
$$+\ +s_{i^*j}^{000110}P_{123}(000)P_4(1)P_5(1)P_6(0)+s_{i^*j}^{000101}P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{000011}P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(1)+\ +s_{i^*j}^{000100}P_{123}(000)P_4(1)P_5(0)P_6(0)$$
$$+s_{i^*j}^{000010}P_{123}(000)P_4(0)P_5(1)P_6(0)+s_{i^*j}^{000001}P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(1)$$
$$+s_{i^*j}^{000000}P_{123}(000)P_4(0)P_5(0)P_6(0)\ .$$

Далее, с учетом численных значений вероятностей выполнения функций противопожарной защиты из табл. 4–6 получим окончательное выражение для

усредненных условных вероятностей наступления последствий воздействия ОФП в здании с идентификатором:

$$\langle s^{k}_{i^0 j}\rangle = s^{111111}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{111110}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{111101}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{111011}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{111100}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{111010}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{111001}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{111000}_{i^0 j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{101111}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{101110}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{101101}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + +s^{101011}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{101100}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{101010}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{101001}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{101000}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{011111}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{011110}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{011101}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{011011}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{011100}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{011010}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{011001}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{011000}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{001111}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{001110}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{001101}_{i^0 j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{001011}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{001100}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{001010}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{001001}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{001000}_{i^0 j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{000111}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{000110}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{000101}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{000011}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{000100}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{000010}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{000001}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{000000}_{i^0 j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75\,, \quad (19)$$

$$\begin{aligned}\langle s^{k}_{i^* j}\rangle = {} & s^{111111}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 \\ & + s^{111110}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{111101}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + s^{111011}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{111100}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 \\ & + s^{111010}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{111001}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + s^{111000}_{i^* j}0{,}576\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{101111}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 \\ & + s^{101110}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{101101}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + +s^{101011}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{101100}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 \\ & + s^{101010}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{101001}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + s^{101000}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{011111}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 \\ & + s^{011110}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{011101}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + s^{011011}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{011100}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 \\ & + s^{011010}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{011001}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 \\ & + s^{011000}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{001111}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8 \\ & \cdot 0{,}75 + s^{001110}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{001101}_{i^* j}0{,}144\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2 \\ & \cdot 0{,}75 + s^{001011}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{001100}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2 \\ & \cdot 0{,}25 + s^{001010}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{001001}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2 \\ & \cdot 0{,}75 + s^{001000}_{i^* j}0{,}036\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{000111}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 \\ & + s^{000110}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}8\cdot 0{,}25 + s^{000101}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{000011}_{i^* j}0{,}1 \\ & \cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 + s^{000100}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}95\cdot 0{,}2\cdot 0{,}25 + s^{000010}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}8\cdot 0{,}75 \\ & + s^{000001}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75 + s^{000000}_{i^* j}0{,}1\cdot 0{,}05\cdot 0{,}2\cdot 0{,}75\ .\end{aligned}$$

Используя параметры (11) и данные табл. 7, в соответствии с (17) проводится оценка всех элементов (13) матриц локальных условных вероятностей наступления последствий воздействия ОФП. Далее находим в соответствии с (14) компоненты локального «вектора ожидаемых потерь», характеризующие значения составляющих ожидаемого ущерба по видам последствий для проживающего в выбранном здании населения от пожара и воздействий ОФП:

$$\begin{aligned}
d_1^k &= p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 1}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 1}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 1}\rangle + c_{2^*}^k\langle s_{2^* 1}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 1}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 1}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 1}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 1}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_2^k &= p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 2}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 2}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 2}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 2}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 2}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 2}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 2}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 2}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_3^k &= p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 3}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 3}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 3}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 3}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 3}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 3}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 3}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 3}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_4^k &= p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 4}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 4}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 4}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 4}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 4}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 4}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 1}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 4}\rangle\right)\tau_4^k\right).
\end{aligned} \quad (20)$$

Компоненты интегрального «вектора ожидаемых потерь», характеризующие значения составляющих ожидаемого ущерба по видам последствий от пожара и воздействий ОФП для всего проживающего на территории населения:

$$\begin{aligned}
d_1 &= \sum_{k=1}^{K} p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 1}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 1}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 1}\rangle + c_{2^*}^k\langle s_{2^* 1}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 1}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 1}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 1}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 1}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_2 &= \sum_{k=1}^{K} p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 2}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 2}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 2}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 2}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 2}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 2}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 2}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 2}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_3 &= \sum_{k=1}^{K} p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 3}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 3}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 3}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 3}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 3}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 3}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 3}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 3}\rangle\right)\tau_4^k\right),\\
d_4 &= \sum_{k=1}^{K} p^k\left(\left(c_{1^0}^k\langle s_{1^0 4}\rangle + c_{1^*}^k\langle s_{1^* 4}\rangle\right)\tau_1^k + \left(c_{2^0}^k\langle s_{2^0 4}\rangle + \langle c_{2^*}^k s_{2^* 4}\rangle\right)\tau_2^k + \left(c_{3^0}^k\langle s_{3^0 4}\rangle + c_{3^*}^k\langle s_{3^* 4}\rangle\right)\tau_3^k + \left(c_{4^0}^k\langle s_{4^0 1}\rangle + c_{4^*}^k\langle s_{4^* 4}\rangle\right)\tau_4^k\right).
\end{aligned} \quad (21)$$

Для оценки эффективности различных вариантов вложения финансовых средств, выделяемых на оборудования отдельных жилых зданий современными системами защиты от ОФП, необходимо производить оценку компонент интегрального «вектора ожидаемых потерь» при соответствующем изменении вариантов конфигурации средств защиты от ОФП и факторов, влияющих на спасение людей и отражающихся в табл. 7 как переход к новым идентификаторам.

Расширение табл. 7 для каждого здания показывает возможность перехода к одному или нескольким новым состояниям противопожарной защищенности (характеризуемыми новыми комплексными индентификаторами) и соответствующие этим переходам финансовые затраты:

$$\left[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k\right]^0 \xrightarrow{w^k} \left[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k\right]^*, \quad (22)$$

где w^k – затраты на оборудование здания z^k системами защиты от ОФП.

Сокращение компонент соответствующих локальных «векторов ожидаемых потерь», а также сокращение компонент интегрального «вектора ожидаемых потерь» определяется с учетом соответствующих изменений идентификаторов:

$$\Delta d_j^k = d_j^{k^0} - d_j^{k^*} = d_j^k\left(\left[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k\right]^0\right) - d_j^k\left(\left[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k\right]^*\right). \quad (23)$$

Выбор распределения финансовых средств и иных ресурсов является оптимальным при условии достижения минимально возможного уровня потерь от пожаров и воздействий ОФП при общих расходах, не превышающих допустимый общий объем затрат и локальных расходах, не превышающих допустимые локальные объемы затрат.

$$\max_{[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^*} \left[\Delta d_j^k\right] = \max_{[R_1^k R_2^k R_3^k R_4^k R_5^k R_6^k]^*} \left[\sum_{k=1}^{K} \Delta d_j^k\right]$$

при (24)

$$\sum_{k=1}^{K} w^k \le W_{max}, \;\; w^k \ll w_{max}^k \;\; .$$

Таким образом, приведенная выше модификация и последовательная адаптация основных элементов модели векторно-матричного представления рисков [3] к описанию пожарных рисков в жилом секторе позволяет создать инструментарий сравнительного анализа эффективности мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности, на основе оценки, в соответствии с (23), ожидаемого сокращения потерь. Не менее важным результатом является возможность постановки задачи многокритериальной оптимизации (24) при обосновании эффективности планируемых затрат на оборудование жилых зданий системами противопожарной защиты на основе определения наилучшего по количественным и качественным параметрам достижимого варианта сокращения потерь от пожаров.

Литература

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаробезопасность. 2017. Т. 26, № 2. С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V. et al. World Fire Statistics. Moscow, 2017. 68 p. URL: http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF_Report24_Persian_190530%20%281%29.pdf.

3. Прус Ю. В., Колесникова А. Р., Клепко Е. А. и др. Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 4 (56). С. 16.

4. Прус Ю. В., Чистякова А. А., Россинская К. Г. Управление профилактической деятельностью на основе матричного представления рисков // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 43–50.

5. Рынок труда / под ред. проф. Н. А. Буланова, проф. Н. А. Волгина. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2003. 480 с.

6. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности: приложение к приказу МЧС России от 31 июня 2009 г. № 382.

7. Постановление Правительства РФ от 17 августа 2007 г. № 522 «Об утверждении Правил определения степени тяжести вреда, причиненного здоровью человека».

8. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (последняя редакция).

References

1. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Grigorieva M. P. Analysis of the main fire risks in the world and in Russia // Fire safety. 2017. Vol. 26, No 2. P. 72–80. DOI: 10.18322/PVB. 2017. 26. 02.72-80.

2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V. et al. World Fire Statistics. Moscow, 2017. 68 p. URL: http://www.ctif.org/sites/default/files/2019-06/CTIF_Report24_Persian_190530%20%281%29.pdf.

3. Prus Yu. V., Kolesnikova A. R., Klepko E. A. et al. Modeling of structure and dynamics of technogenic and fire risks in sociotechnical systems // Technosphere safety Technologies. 2014. № 4 (56). P. 16.

4. Prus Yu. V., Chistyakova A. A., Rossinskaya K. G. Management of preventive activities based on matrix representation of risks // Technosphere security. 2019. № 4 (25). Pp. 43–50.

5. The labor Market / edited by prof. N. A. Bulanov and prof. N. A. Volgin. 2nd ed., reprint. and add. M., 2003. 480 p.

6. The method of determining the calculated values fire risk in buildings and structures of various classes of functional fire hazard (Annex to the order of EMERCOM of Russia from 31 June 2009, No 382).

7. Resolution of the Government of the Russian Federation from August, 17th, 2007 No 522 "On approval of Rules of determination of severity of harm caused to human health".

8. Federal law "Technical regulations on fire safety requirements" of 22.07.2008 No 123-FZ (latest version).

УДК 504 (075.32) *NatalyaDYu@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ТЕХНОГЕННОЙ АВАРИИ НА ГАЗОНЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ НА РАССЕИВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

THE EFFECT OF HARMFUL SUBSTANCES EMISSION PARAMETERS AT THE GAS-OIL FIELD ON THE DISPERSAL OF COMBUSTION PRODUCTS IN THE ENVIRONMENT

Добрынина Н. Ю., Якубова Т. В.,
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Dobrynina N. Yu., Yakubova T. V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Ekateringburg

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана. Выбран параметр – масса выброса, оказывающий наибольшее влияние на рассеивание продуктов горения в атмосферу. Получены распределения приземной концентрации вредных веществ. Определена область рассеивания, зона максимального выброса, максимальная концентрация вредных веществ. Установлено увеличение области рассеивания вредных веществ с ростом массы выброса, при постоянстве зоны максимального рассеивания. Установлена прямопропорциональная зависимость между массой выброса продукта горения и его концентрацией.

Ключевые слова: газовый фонтан, масса выброса, продукт горения, зона рассеивания, зона максимального рассеивания.

This article presents the results of the application of the calculating method of harmful emissions into the atmosphere in relation to the injection from the flame of the gas or gas-oil gusher. The mass of ejection is chosen because this parameter has the greatest impact on the dispersal of combustion products into the atmosphere. The distribution of the surface concentration of harmful substances was obtained. The dispersal area, the maximum emission zone, the maximum concentration of harmful substances were determined. It was established that the area of harmful substances dispersal increases with an increase in the mass of emissions, with the constancy of the maximum dispersal zone. There is a direct proportional relationship between the mass of the combustion product and its concentration.

Keywords: gas gusher, mass of ejection, combustion product, dispersal zone, maximum dispersal zone.

Введение

Техногенные аварии на скважинах газовых и газонефтяных месторождений представляют собой открытые пожары, в которых происходит неуправляемый выброс пластовых флюидов. Газ, содержащийся в пласте газонефтяного месторождения, находится под давлением порядка 100 –200 атм, и скорость его истечения составляет около 100 м^3/с. Аварийное истечение фонтанирующего газа может продолжаться в течение нескольких суток до воспламенения. В результате вблизи скважины образуется зона загазованности протяженностью несколько километров и зона растекания нефти радиусом

до нескольких сотен метров [1]. Действительная температура горения открытого фонтана приблизительно составляет 1700 К. Значит, аварии наносят экономический и экологический ущерб [2].

Для расчетов применяется предельно допустимая максимальная разовая концентрация ($ПДК_{мр}$), поскольку она устанавливается для атмосферного воздуха населенного пункта. $ПДК_{мр}$ (мг/м^3) в результате выброса при аварии на газовом или газонефтяном месторождении следующая: CO_2 – 5,0; CO – 0,15; NO_2 – 0,085; NO – 0,4; SO_2 – 0,5; H_2S – 0,008; CS_2 – 0,03; CH_3SH – 0,0001; $C_{20}H_{12}$ (бензпирен) – 0,00015, сажа – 0,15 [3].

Методика исследования влияния параметров выброса вредных веществ на распределение в атмосферном воздухе

В основе расчета лежит методика определения концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, предложенная Госкомгидрометом [3]. Методика предназначена для расчета приземных концентраций в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентраций на расстояниях, не превышающих 100 км. Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характеризуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, в том числе опасной скорости ветра.

Также методика позволяет учесть большое количество факторов, среди которых, параметры поступления газов в атмосферу (высота источника выброса вредного вещества, размер источника, масса выброса, температура поступающего в атмосферу вредного вещества), а также влияние других параметров (условия рассеивания загрязняющих веществ в географическом районе, температуры окружающего воздуха, рельефа местности). В итоге, методика позволяет сделать выводы о влиянии изучаемых факторов на организм человека и экологическое состояние окружающей среды.

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана [4].

Объект исследования – одиночный точечный источник – факел пламени газового или газонефтяного фонтана открытого пожара, образующийся в результате техногенной аварии.

Для анализа рассеивания вредных веществ предусмотрено изменение следующих параметров:

1) H (м) – высота факела пламени;
2) D (м) – диаметр устья трубы;
3) w_0 (м/с) – скорость выхода газо-воздушной смеси;
4) $T_г$ (К) – температура газо-воздушной смеси;
5) $T_в$ (К) – температура окружающего атмосферного воздуха;
6) M (г/с) – масса выброса;
7) A – коэффициент стратификации атмосферы;
8) η – коэффициент рельефа местности;
9) F – коэффициент оседания аэрозолей;
10) $ПДК_{мр}$ (мг/м^3).

Авторами работы видится целесообразным сузить число параметров, влияющих на рассеивание вредных веществ в атмосферу и найти наиболее значимые среди них. Можно не анализировать те параметры, которые слабо влияют на рассеивание или являются нормированными. Среди них можно выделить следующие: температура горения предельных углеводородов, которая составляет 1300–1350 °С; температура окружающего атмосферного воздуха, т. к. слабо влияет на разность температур: $\Delta T = T_г - T_в$; диаметр устья трубы составляет от 200 до 250 мм; коэффициент оседания аэрозолей необходимо принять равным 3, в связи с отсутствием очистки вредного выброса; коэффициент стратификации атмосферы примем равным 200; коэффициент рельефа местности примем равным 1. Не учитывается изменение высоты факела пла-

мени (H), т. к. на реальных пожарах ламинарный режим горения практически не встречается. Турбулизация пламени приводит к замедлению роста высоты факела пламени [2, 5] с увеличением расхода газа, что отражается в известной эмпирической формуле. Дебит газового фонтана составляет (Deb, млн м^3/сутки):

$$Deb = 0{,}0025 \cdot H^2. \quad (1)$$

Зависимость высоты факела пламени при выбранном диаметре устья (250 мм) от дебита (или секундного расхода газа) представлена в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость высоты факела пламени газового фонтана от его дебита

Deb, млн м^3/сутки	$V_г$, м^3/с	w_0, м/с	H, м
0,5	6	118	14
1–2	12–20	236–472	20–28
3–4	35–45	707–943	35–40
5–6	58–69	1179–1415	45–49
7–8	81–93	1651–1886	53–57
9–10	104–116	2122–2358	60–63
12–15	139–174	2830–3537	69–77

Из предложенных параметров модели в таблице 1 в наибольшей степени изменяется параметр w_0, м/с – эффективная скорость истечения газовой струи:

$$w_0 = 4V_г /(\pi D^2), \quad (2)$$

где $V_г$, м^3/с – секундный расход газа; D диаметр устья трубы.

Эффективная скорость истечения газовой струи связана с массой выброса вредного вещества по формуле (3):

$$M = \rho_Г \cdot V_Г \cdot N_г, \quad (3)$$

где $\rho_г$ – плотность газа при заданной температуре; $N_г$ – мольная доля газа (вредного вещества), полученная из уравнения реакции горения.

Таким образом, для анализа выброса вредных веществ в окружающую среду будем использовать один параметр – массу выброса.

Результаты расчетов

В расчете используется приведенная концентрация вредного вещества. В результате получены следующие параметры рассеивания вредного вещества в окружающую среду в зависимости от массы выброса:

– область рассеивания вредного вещества $x'_i - x''_i$, м;

– расстояние с максимальным значением вредного вещества (или зона максимального выброса) $x_м$, м;

– максимальная концентрация выброса $C_м$, мг/м^3;

– приведенная максимальная концентрация выброса $C_м$ / ПДК$_{мр}$, в долях.

Анализ расчетов для SO_2 показал: для масс выбросов M_1=80; M_2=160 г/с концентрации не превышают $ПДК_{мр}$ на любом расстоянии от источника выброса (см. рис.1). Для масс выбросов, превышающих 160 г/с, установлены границы зоны рассеивания продуктов горения:

M_3=320 г/с – превышение ПДК$_{мр}$ на расстоянии, равном 300–2800 м;

M_4=640 г/с – превышение ПДК$_{мр}$ на расстоянии 210–4600 м;

M_5=1280 г/с – превышение ПДК$_{мр}$ на расстоянии от 170 и до более чем 5000 м.

Установлено, что масса выброса не влияет на положение максимума кривых: $x_м$=980 м.

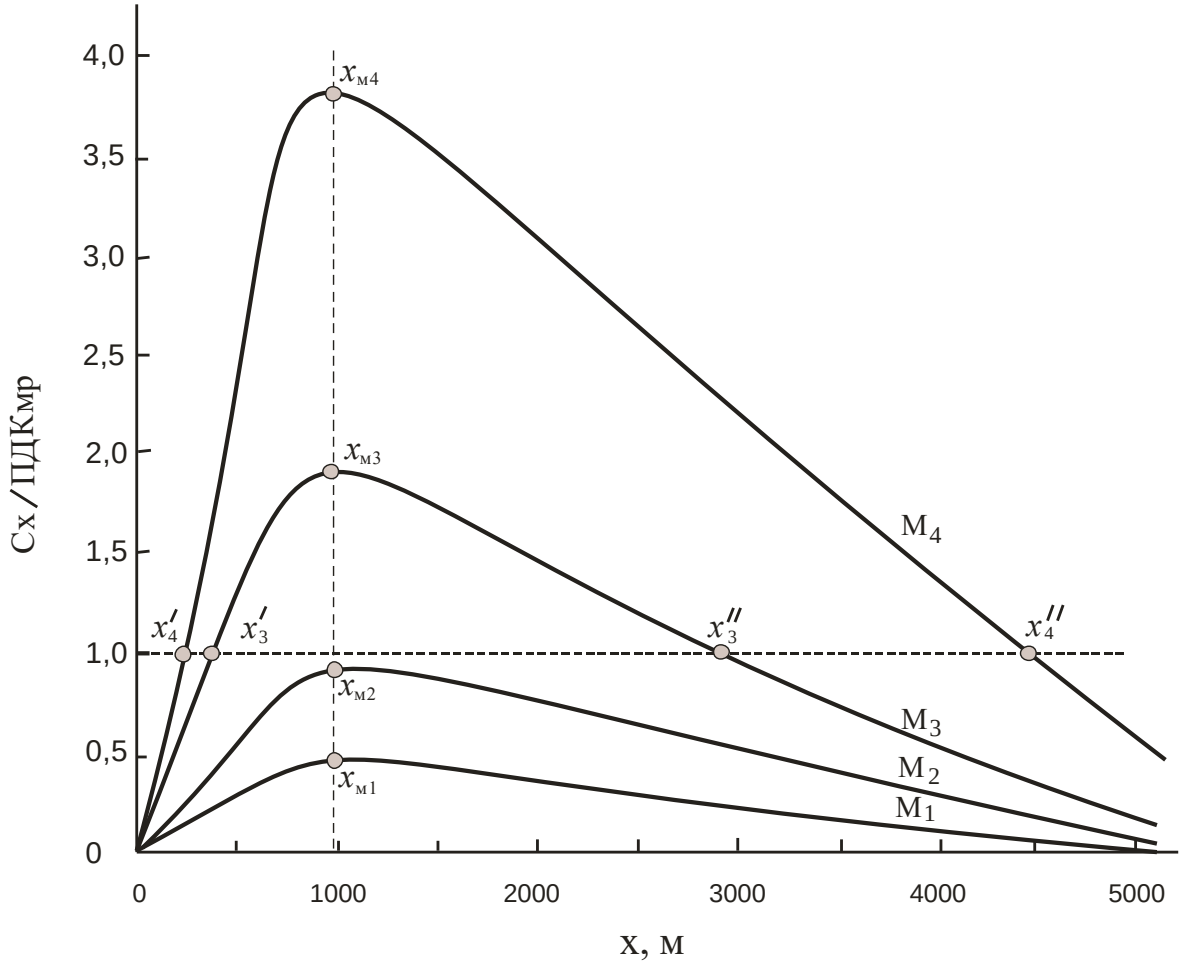


Рисунок 1. Влияние массы выброса (M_i) на рассеивание SO_2. M_1=80; M_2=160; M_3=320; M_4=640 г/с при фиксированных значениях остальных параметров: H = 24 м; D = 260 мм; w_0 = 369 м/с; $t_г$ = 1200 ^{0}C; A = 140; η = 1; F = 1; ПДК$_{мр}$ = 0,5 мг/м^3; пунктирная линия соответствует ПДК$_{мр}$ вредного вещества

В задачи исследования входило изучение влияния всех рассеиваемых в окружающее пространство вредных веществ в результате техногенной аварии на газовом или газонефтяном месторождении. Из [6] были взяты данные по выделению вредных веществ в результате горения природного газа. Они приведены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрации вредных веществ, выделяющихся при факельном сжигании природного газа

Название вредного вещества, химическая формула	Диапазон концентраций, об. %	Среднее значение массы выброса, г/с
Оксид азота, NO	2,56÷47,3	5095
Диоксид углерода, CO	1÷14	1274
Диоксид азота, NO_2	0,28÷5,05	127,4
Оксид углерода, CO	0,23÷2,77	318,0
Сажа, C	0,081÷0,75	89,2
Диоксид серы, SO_2	0,012÷0,02	2,55
Бензпирен, $C_{20}H_{12}$	0÷0,000051	0,06

Для оценки влияния природы вредного вещества были использованы средние значения масс выбросов вредных веществ, которые приведены в таблице 2. Получены распределения приземной концентрации вредных веществ при заданном среднем значении масс выбросов, представленные на рис. 2.

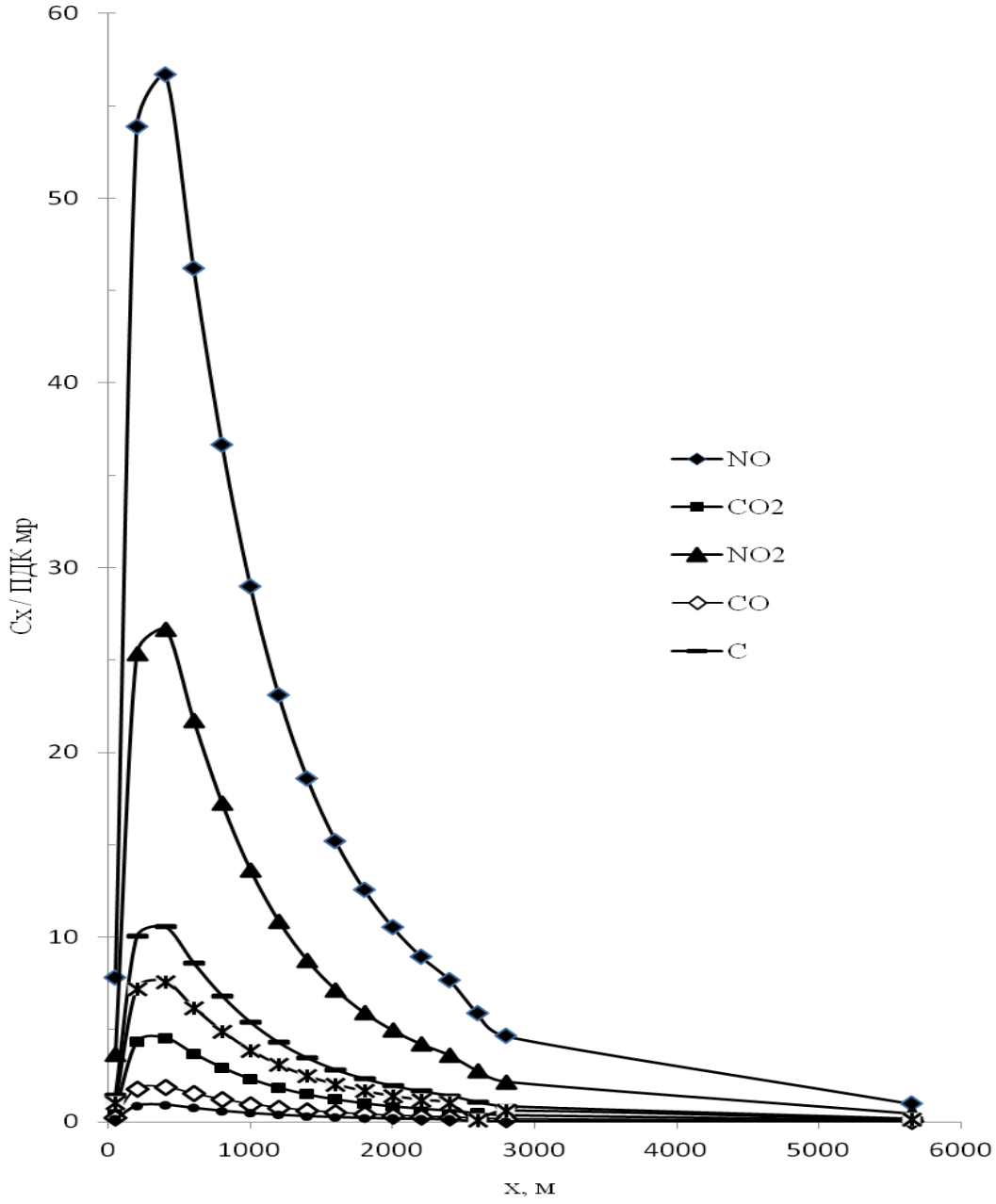


Рисунок 2. Влияние природы вредного вещества ($ПДК_{мрi}$) на рассеивание. Фиксированные значения параметров модели следующие: H = 44,7 м; D = 250 мм; w_0 = 1178 м/с; $t_г$ = 1200 °C; $t_в$ = 20 °C; A = 200; η = 1; F = 3

В итоге устанавлена прямопропорциональная зависимость между увеличением массы выброса (ΔМ) и изменением концентации выброса ($\Delta C/ПДК_{мр}$) вредного вещества, при котором в окружающей среде достигается максимальное значение ПДК по расстоянию *x* от источника выброса.

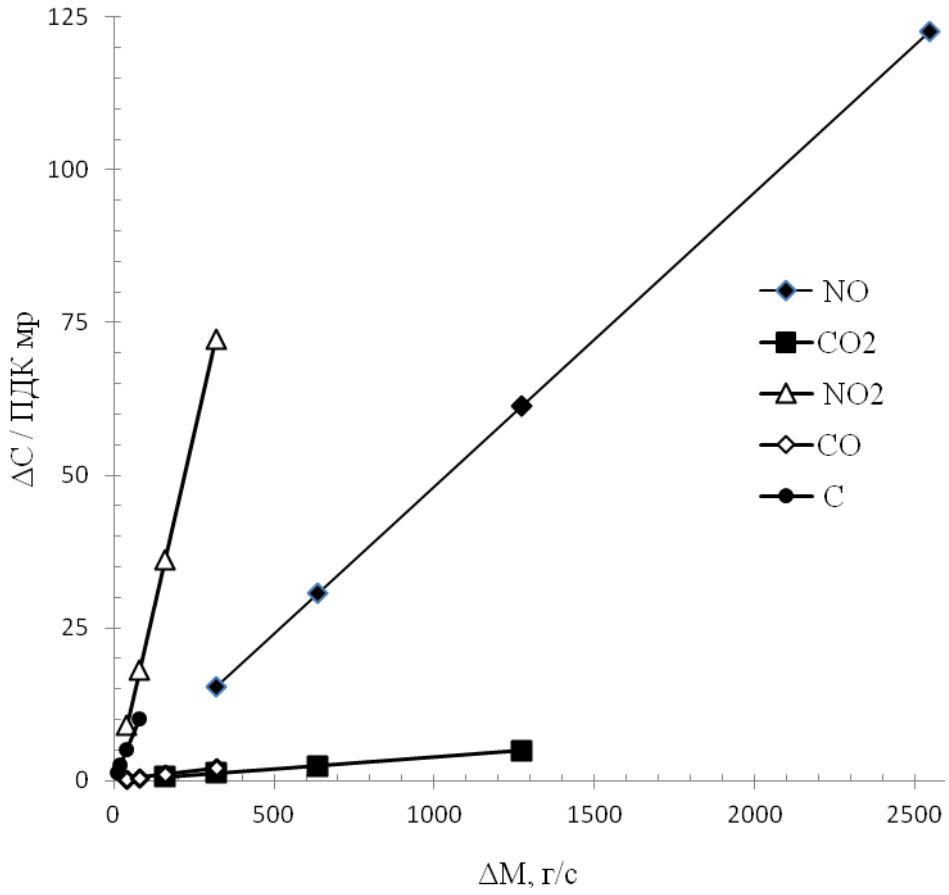


Рисунок 3. Влияние диапазона выброса вредных веществ на их рассеивание. Фиксированные значения параметров модели следующие: H = 44,7 м; D = 250 мм; w_0 = 1178 м/с; $t_г$ = 1200 °C; $t_в$ = 20 °C; A = 200; η = 1; F = 3

Выводы

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана. В расчетах использованы усредненные данные по выделению вредных веществ в результате горения природного газа.

Объектом исследования является одиночный точечный источник – факел пламени газового или газонефтяного фонтана открытого пожара. Для анализа выброса вредных веществ в окружающую среду выбран один, наиболее значимый параметр, оказывающий наибольшее влияние на рассеивание продуктов горения в атмосферу – масса выброса. Получены распределения приземной концентрации вредных веществ. Определена область рассеивания, зона максимального выброса, максимальная концентрация вредных веществ. Установлено увеличение области рассеивания вредных веществ с ростом массы выброса, при этом положение зоны максимального рассеивания вдоль координаты *x* не изменялось. Установлена прямопропорциональная зависимость между массой выброса продукта горения и его концентацией.

Литература

1. Расчет основных характеристик техногенной аварии, сопровождающейся горением газовых и газонефтяных фонтанов / сост. Е. В. Гайнуллина, Н. Ю. Добрынина. Екатеринбург, 2018. 41 с.
2. Физико-химические основа развития и тушения пожаров / В. Ф. Марков и др. Екатеринбург, 2009. 274 с.
3. ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л., 1987. 96 с.
4. Лабораторный практикум по дисциплине «Физико-химические основы пожароопасных процессов в техносфере» / сост. Е. В. Гайнуллина, Н. Ю. Добрынина. Екатеринбург, 2020. 98 с.
5. Гайнуллина Е. В., Кокшаров А. В., Добрынина Н. Ю. Пожароопасные процессы в техносфере. Екатеринбург, 2018. 123 с.
6. Энциклопедия теплоснабжения: свобод. энцикл. URL: http://www.rosteplo.ru (дата обращения: 01.03.2020).

References

1. Raschet osnovnyh harakteristik tekhnogennoj avarii, soprovozhdayushchejsya goreniem gazovyh i gazoneftyanyh fontanov / sost. E. V. Gajnullina, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2018. 41 s.
2. Fiziko-himicheskie osnova razvitiya i tusheniya pozharov / V. F. Markov i dr. Ekaterinburg, 2009. 274 s.
3. OND-86 «Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh veshchestv, soderzhashchihsya v vybrosah predpriyatij. L., 1987. 96 s.
4. Laboratornyj praktikum po discipline «Fiziko-himicheskie osnovy pozharoopasnyh processov v tekhnosfere» / sost. E. V. Gajnullina, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2020. 98 s.
5. Gajnullina E. V. Pozharoopasnye processy v tekhnosfere / E. V. Gajnullina, A. V. Koksharov, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2018. 123 s.
6. Enciklopediya teplosnabzheniya: svobod. encikl. URL: http://www.rosteplo.ru (data obrashcheniya: 01.03.2020).

УДК 614.84 *bezzaponnay@mail.ru*

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДРЕВЕСИНУ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

EVALUATION OF EXPOSURE TEMPERATURE ON WOOD UNDER FIRE CONDITIONS BY THERMAL ANALYSIS METHODS

Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Bezzaponnaya O. V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В статье описан методический подход для оценки термического воздействия на деревянные строительные конструкции. Установлено, что в качестве критериев для оценки температуры воздействия на древесину методами термического анализа целесообразно использовать термоаналитические характеристики: количество пиков на кривой дифференциальной термогравиметрии, потеря массы при температуре 400 °С (Δm_{400}, %), зольный остаток при температуре 700 °С ($ЗО^{700\ °C}$), температура при потере массы 40 % ($T_{40\%}$). Приведены результаты применения метода термического анализа для диагностики температуры воздействия на древесину сосны и очага пожара.

Ключевые слова: температура воздействия, очаг пожара, древесина, термические методы анализа, термоаналитические характеристики.

The article describes a methodological approach for assessing thermal effects on wooden building structures. It was found that it is advisable to use thermoanalytical characteristics as criteria for assessing the temperature of impact on wood using thermal analysis methods: the number of peaks on the differential thermogravimetry curve, weight loss at 400 °C (Δm_{400}, %), ash residue at 700 °C ($ZO^{700\ °C}$), temperature at a weight loss of 40% ($T_{40\%}$). The results of the application of the method of thermal analysis to diagnose the temperature of the impact on pine wood and the fire center are presented.

Keywords: exposure temperature, fire source, wood, thermal analysis methods, thermoanalytical characteristics.

Введение

Древесина является одним из самых пожароопасных строительных материалов. В сельской местности, где преобладают деревянные постройки, в большом количестве случаев не удаётся установить причину пожара, о чём свидетельствует статистика пожаров за последние 5 лет [1]. Анализ статистических данных указывает на слабо разработанную методическую базу процедуры исследования пожаров. Для большинства происходящих пожаров результатов визуального осмотра вполне достаточно для формирования выводов об очаге, но к таким пожарам относятся небольшие пожары, на которых горение не смогло или не успело развиться на большие площади вследствие архитектурных особенностей помещений или своевременного и эффективного тушения [2]. Но крупные пожары характеризуются тем, что горение распространяется на большие площади, практически полностью выгорает пожарная нагрузка и, соответственно, визуальный осмотр малоэффективен [3]. Поэтому при определении темпера-

туры воздействия и очага пожара при описанных выше условиях целесообразно применять инструментальные методы.

На сегодняшний день уже разработаны методики [4], которые позволяют получать необходимую для реконструкции пожара информацию путем исследования каменных неорганических строительных материалов, сталей, обгоревших остатков древесины, копоти, полимерных материалов, лакокрасочных покрытий. Однако для повышения точности определения температуры воздействия и, соответственно, очага пожара необходимы развитие и совершенствование методической базы.

Одним из самых информационных и точных инструментальных методов, позволяющим решать широкий круг задач [5–8], является метод термического анализа. В связи с этим применение методов термического анализа весьма актуально для решения задач пожарно-технической экспертизы, в частности для определения температуры воздействия на строительный материал (древесину) для диагностики очага пожара.

В работе [9] описан методический подход для оценки термического воздействия на вспучивающиеся огнезащитные покрытия методами термического анализа: изучены закономерности термоокислительной деструкции огнезащитных составов интумесцентного типа, разработаны критерии для оценки температуры воздействия на огнезащитные покрытия и приведены результаты применения методики диагностики температуры воздействия на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа для диагностики очага пожара. Рассмотрим возможность применения данного методического подхода для определения температуры воздействия на деревянные конструкции и диагностики очага пожара.

Методика проведения исследований

Для изучения закономерностей термоокислительной деструкции древесины с целью определения температуры воздействия на материал в ходе пожара необходимо исследовать как нативные образцы древесины, так и образцы, подверженные термическому воздействию при различных температурах. С этой целью исследовались образцы древесины сосны как самого распространённого строительного материала, предварительно подверженные воздействию различных температур (200 °С, 250 °С, 300 °С, 350 °С, 400 °С и т .д.) в течение 30 минут.

Исследования образцов древесины (сосны) проводили методами термического анализа на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха, в интервале температур, характерном для стандартного (целлюлозного) режима пожара (250–900 ºС). При проведении испытаний фиксировались следующие термоаналитические зависимости: термогравиметрическая (ТГ) кривая; дифференциально-термогравиметрическая (ДТГ) кривая; кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Условия проведения испытаний образцов древесины (сосны) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия проведения испытаний

Условия испытаний	Используемый метод (модуль)	
	ТГ	ДСК
Термопара (материал)	S типа (Pt/PtRh)	
Тигель (материал, объем)	Al_2O_3 (85 мкл)	
Масса образца, мг	4÷5 мг	
Форма образца	Опилки в дисперсном состоянии	
Атмосфера	воздух	
Расход газа, мл/мин	75	
Скорость нагрева, °С/мин	20	
Конечная температура нагрева, °С	900	

По ТГ, ДТГ и ДСК кривым с помощью программного обеспечения Proteus Thermal Analysis были определены следующие термоаналитические характеристики (ТАХ):

- температура (T, °С) при заданных значениях потери массы;
- потеря массы ($\Delta m_т$, %) при фиксированных значениях температуры;
- зольный остаток, % при температуре 700 °С (температуре окончания процесса термоокислительной деструкции древесины);
- значения температур при максимумах скорости потери массы (ДТГ-максимумов);
- температуры максимумов тепловых эффектов, (T, °С).

Результаты исследований и их обсуждение

Термограмма образцов древесины, не подвергнутых предварительному термическому воздействию в воздушной среде, представлена на рисунке 1.

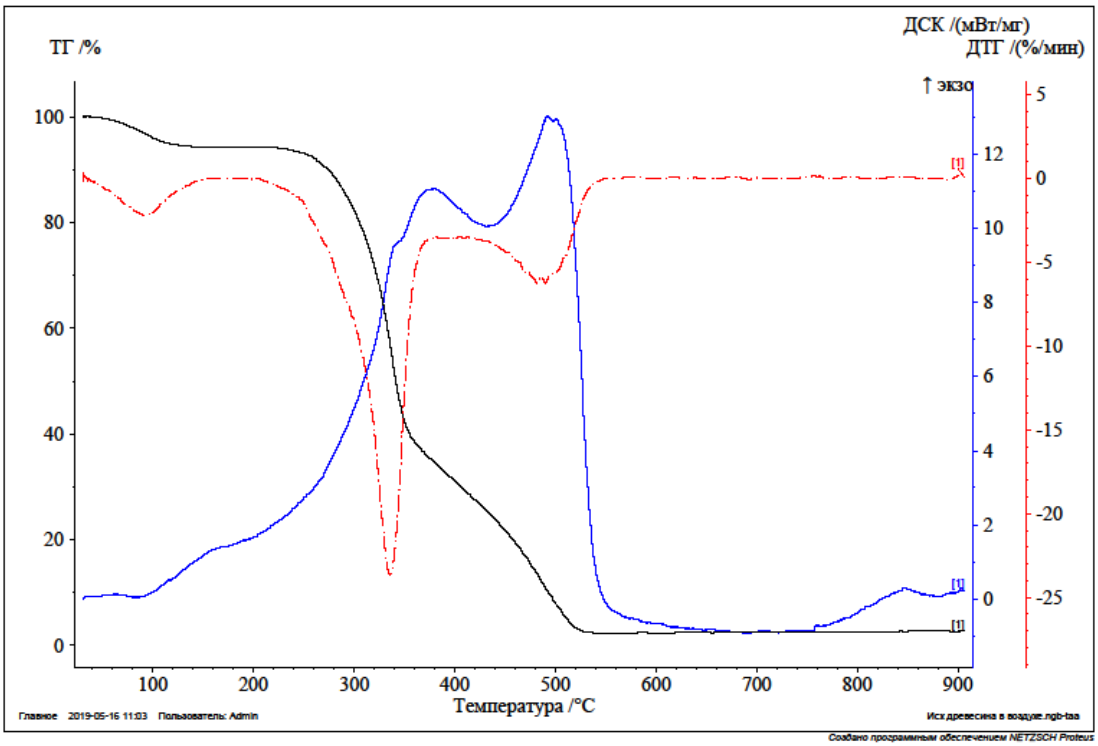


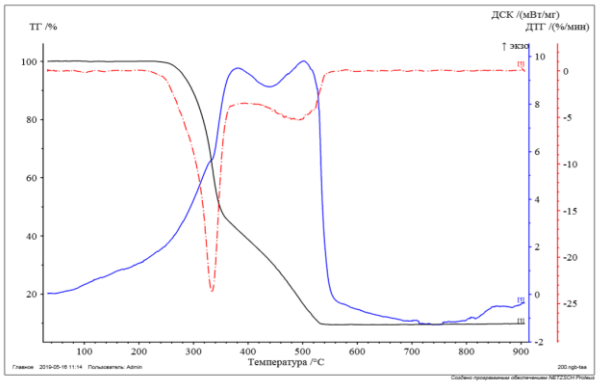
Рисунок 1. Термограмма образцов нативной древесины

Анализ термогравиметрической (ТГ) кривой свидетельствует о 3-стадийном процессе термолиза образцов древесины (с тремя ступенями на ТГ кривой) и тремя ДТГ пиками (на ДТГ кривой). Среднее значение зольного остатка анализируемых образцов древесины при температуре 700 °С составило 2,41 %. Наиболее выраженный ДТГ пик наблюдается в интервале 25÷400 °С и свидетельствует об интенсивном протекании процесса термоокислительной деструкции древесины, сопровождающейся интенсивной потерей массы. Максимум третьего ДТГ пика приходится на температуру 481,6 °С и свидетельствует о выгорании конденсированных ароматических структур древесины.

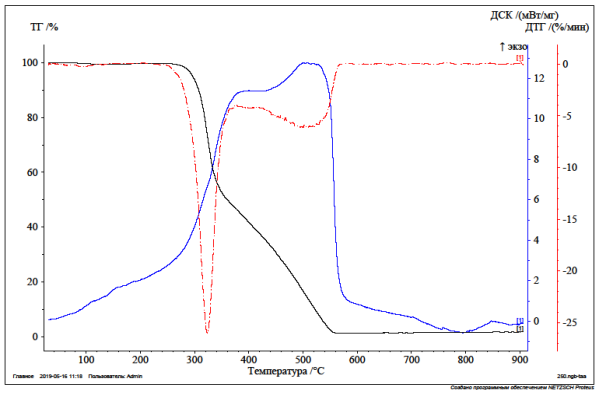
Комплексный экзотермический пик с максимумами при температурах 379,78 °С и 491,8 °С характеризуют выгорание летучих горючих газов и пенококса

(конденсированных ароматических соединений), соответственно.

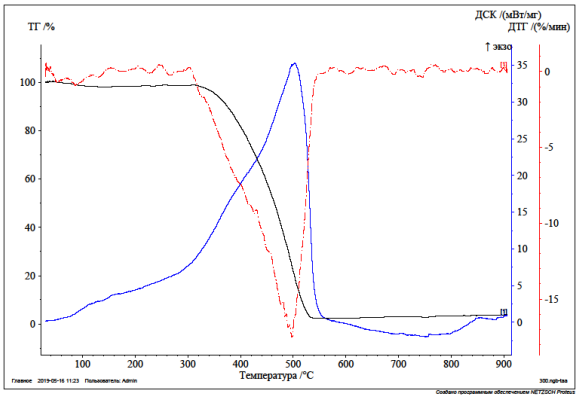
Термограммы образцов древесины сосны, предварительно подвергнутых термическому воздействию (200 °С, 250 °С, 300 °С, 350 °С, 400 °С и т.д.) в течение 30 минут, представлены на рисунке 2 (а–е).



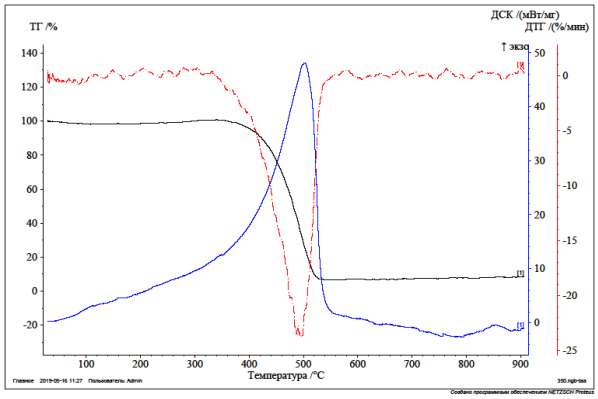
а) $t_{пв}$= 200 °С



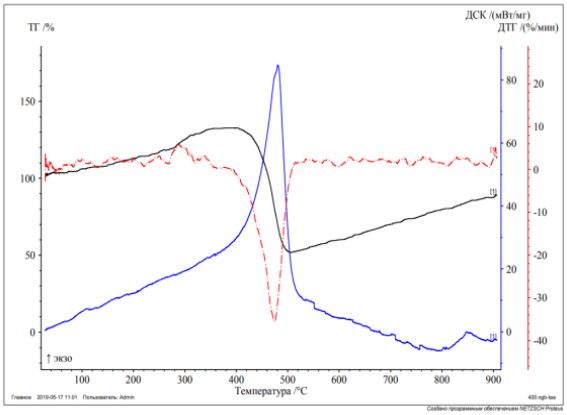
б) $t_{пв}$= 250 °С



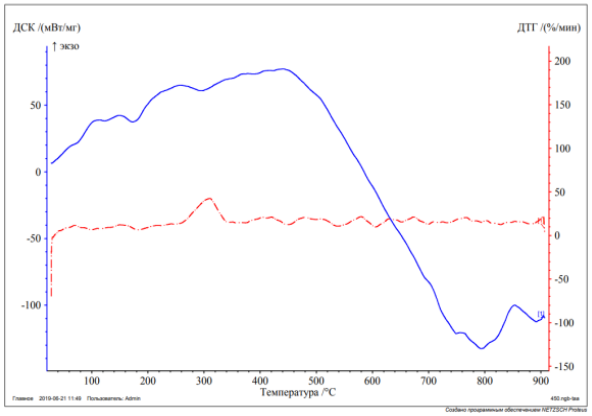
в) $t_{пв}$= 300 °С



г) $t_{пв}$= 350 °С



д) $t_{пв}$= 400 °С



е) $t_{пв}$= 450 °С

Рисунок 2. Термограммы образцов древесины (сосны), подвергнутых предварительному тепловому воздействию

Анализ результатов исследования древесины сосны после предварительного воздействия высоких температур представлен в таблице 2.

Таблица 2

Результаты анализа термограмм древесины сосны после предварительного температурного воздействия

№ п/п	Температура предварительного воздействия, t, °С	Результаты исследования
1	25	Три стадии термоокислительной деструкции, три ДТГ пика, комплексный ДСК пик
2	200	Две стадии термоокислительной деструкции, два ДТГ пика, комплексный ДСК пик
3	250	Две стадии термоокислительной деструкции, два ДТГ пика, комплексный ДСК пик
4	300	Одна стадия термоокислительной деструкции, один ДТГ пик, один ДСК пик
5	350	Одна стадия термоокислительной деструкции, один ДТГ пик, один ДСК пик
6	400	Одна стадия термоокислительной деструкции, один ДТГ пик, один ДСК пик
7	450	ДТГ пиков нет

Анализ представленных в таблице результатов свидетельствует о возможности использования в качестве одного из критериев диагностики степени температурного воздействия на древесину и последующего определения очага пожара – количество ДТГ пиков на ДТГ кривой: при температуре 200 °С и 250 °С наблюдается два ДТГ пика, при температуре воздействия 300 °С и выше наблюдается только один ярко выраженный ДТГ пик, а при температуре 450 °С и выше ДТГ пиков нет, что свидетельствует о практически полном выгорании древесины ещё до достижения температуры 450 °С.

Для анализа процесса термоокислительной деструкции древесины и дальнейшего определения температуры воздействия на неё, были выделены ТАХ, для которых получены зависимости от температуры с высоким значением коэффициента корреляции (более 0,9): потеря массы при температуре 400 °С ($\Delta m_{400,\ \%}$), зольный остаток при температуре 700 °С ($ЗО^{700\ °C}$), температура при потере массы 40 % ($T_{40\ \%}$). В таблице 3 приведены значения данных ТАХ образцов древесины сосны после предварительного воздействия высоких температур.

Таблица 3

Термоаналитические характеристики древесины сосны после предварительного воздействия высоких температур

Термоаналитические характеристики	Температура предварительного воздействия, $t_{пв}$, °С						
	25 °С	200 °С	250 °С	300 °С	350 °С	400 °С	450 °С
$\Delta m_{400,\ \%}$	68,93	61,19	58,26	18,12	4,29	-	-
$T_{40\ \%}$	355,0	393,2	408,2	478,0	491,0	599,1	
$ЗО^{700\ °C}$, %	1,41	1,62	1,98	2,94	7,19	70,06	

Анализ результатов свидетельствует о значительном снижении величины потери массы, возрастании температуры, соответствующей 40 % потери массы и

повышении зольного остатка при повышении температуры предварительного воздействия. Наличие зависимости рассматриваемых ТАХ от температуры (коэффициент корреляции более 0,9) свидетельствует о возможности их применения в качестве критериев диагностики температуры теплового воздействия на древесину.

График, демонстрирующий влияние температуры предварительного воздействия на величину потери массы, при температуре 400 °С, приведён на рисунке 3.

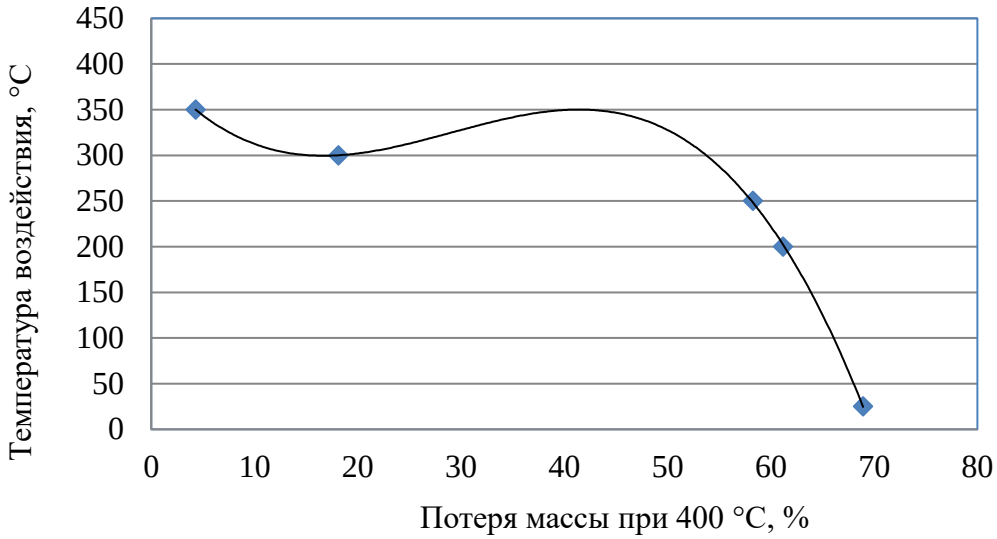


Рисунок 3. Влияние температуры предварительного воздействия на потерю массы древесины сосны

Получено уравнение полиномиальной зависимости 3 порядка (1) для определения температуры воздействия *t*, при известной потере массы древесины ($R^2 = 0,999$):

$$t = -0,0067x^3 + 0,5796x^2 - 13,77x + 398,89, \quad (1)$$

где x – потеря массы древесины при температуре 400 °С.

Полученное уравнение позволит рассчитывать температуру воздействия пожара на древесину после определения потери массы образцов древесины с места пожара.

График, демонстрирующий влияние температуры предварительного воздействия на величину 40 % потери массы, представлен на рисунке 4.

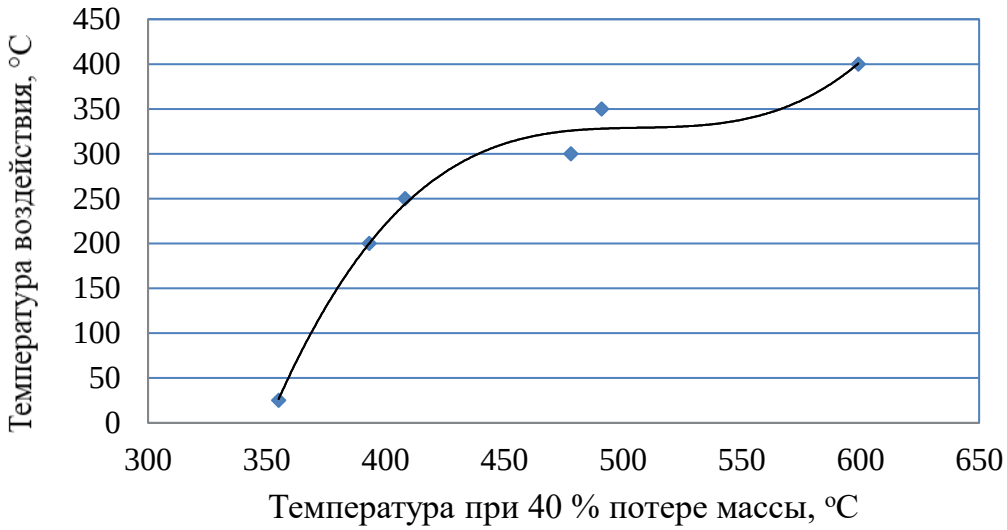


Рисунок 4. Влияние температуры предварительного воздействия на значение температуры при потере массы 40 %

Получено уравнение полиномиальной зависимости 3 порядка (2) для определения температуры воздействия *t*, при известной температуре 40 % потери массы древесины ($R^2 = 0,987$):

$$t = 8E\text{-}05x^3 - 0,1291x^2 + 65,459x - 9615 \quad (2)$$

где x – температура при 40 % потере массы.

Уравнение (2) позволит рассчитывать температуру воздействия пожара на древесину после определения температуры при 40 % потере массы образцов с места пожара методами термического анализа.

График, демонстрирующий влияние температуры на величину зольного остатка, приведён на рисунке 5.

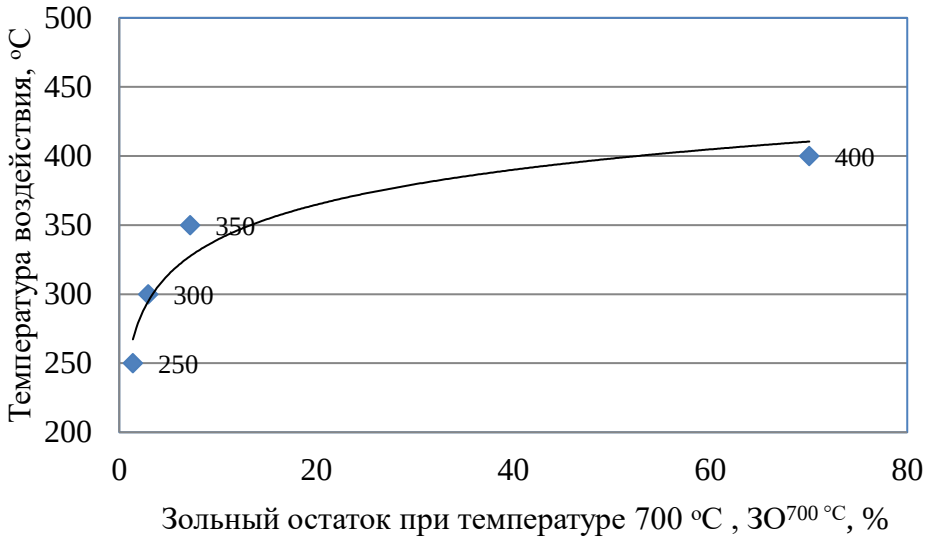


Рисунок 5. Влияние температуры предварительного воздействия на зольный остаток древесины сосны

Получено уравнение логарифмической зависимости для определения температуры воздействия *t* по величине зольного остатка древесины ($R^2 = 0,925$):

$$t = 36,47\ln(x) + 255,5, \quad (3)$$

где *x* – зольный остаток древесины сосны при температуре 700 °С, %.

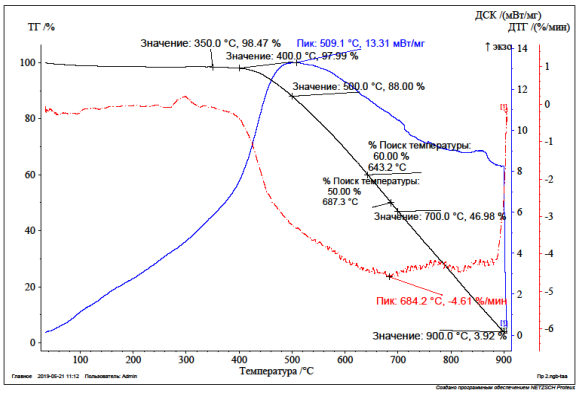
Теснота связи величины зольного остатка древесины и температуры воздействия характеризуется высоким значением коэффициента корреляции ($R^2 = 0,925$), а сама зависимость (3) описывается полиномиальной кривой 3 порядка.

После расчёта температуры воздействия пожара по трём критериям, рассчитывается среднее значение температуры воздействия на древесину.

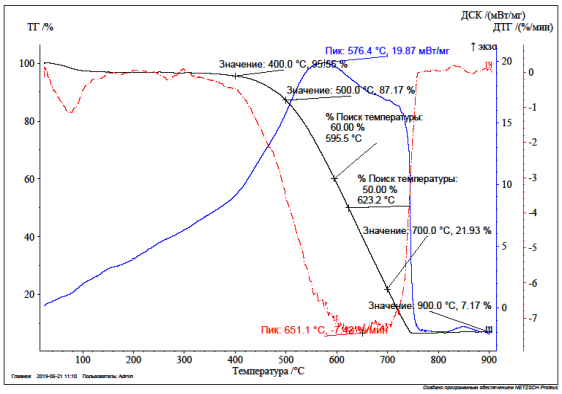
Полученные зависимости для определения температуры воздействия на древесину были проверены для диагностики термического воздействия и очага реального пожара деревянного дома в садовом товариществе. Фото помещения деревянного дома после пожара приведено на рисунке 6.

Рисунок 6. Общий вид одного из помещений деревянного дома после пожара

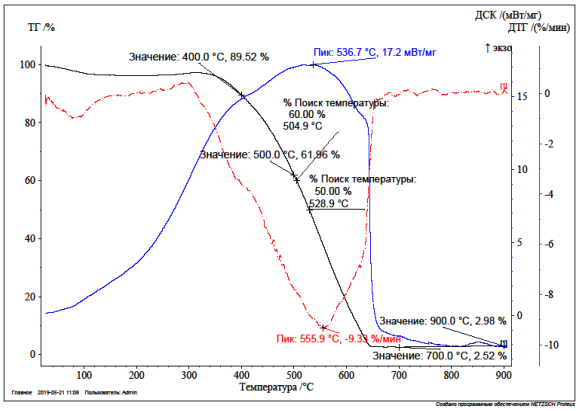
Пробы для термического анализа отобраны с обугленных участков деревянных конструкций. Пробы отбирались с участков, на которые было зонировано помещение, с шагом 1,5 м. Для анализа отбирался верхний (3–4 мм) слой угля. Термограммы образцов обугленной древесины с места пожара представлены на рисунке 7 (а–е).



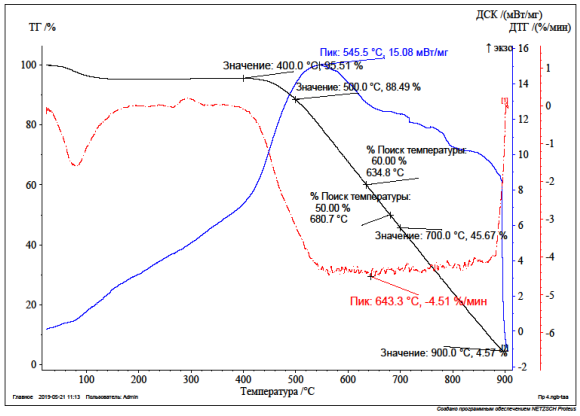
а) проба № 1



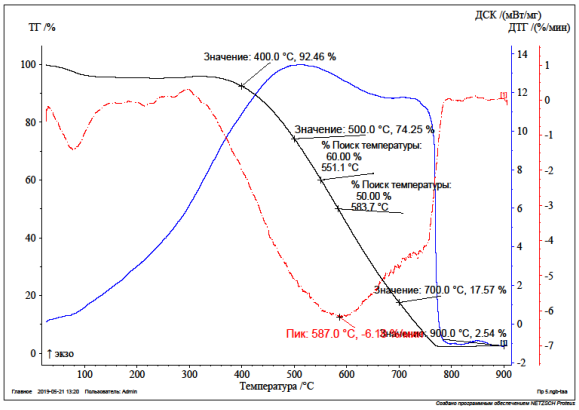
б) проба № 2



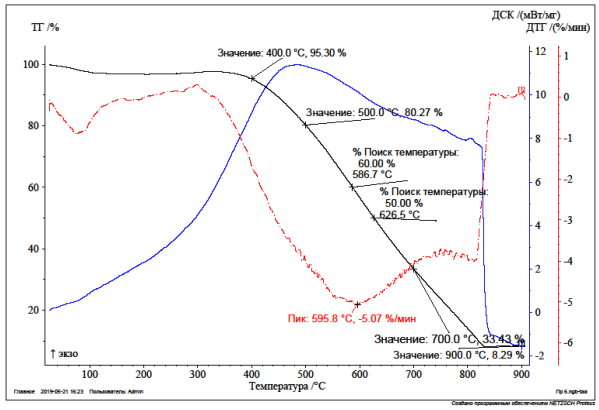
в) проба № 3



г) проба № 4



д) проба № 5



е) проба № 6

Рисунок 7. Термограммы проб обугленной древесины с места пожара

На полученных термограммах наблюдаются один или два ДТГ пика, указывающие на интервал температурного воздействия 250÷400 ºС. С помощью программного обеспечения Proteus Thermal Analysis были определены ТАХ – критерии для оценки температуры воздействия (таблица 4).

Таблица 4

Значения термоаналитических характеристик проб обугленной древесины с места пожара

№ пробы	Δm_{400} °C, %	$T_{40\%}$, °C	$ЗО^{700}$ °C, %
1	2,01	643,2	46,98
2	4,45	595,5	21,93
3	10,48	504,9	2,52
4	4,49	634,8	45,67
5	7,54	551,1	17,57
6	4,7	586,7	33,4

Анализ полученных результатов испытаний показал, что ТАХ проб обугленной древесины, отобранных с места пожара, несколько отличались от ТАХ образцов древесины, подвергнутых предварительному термическому воздействию в лабораторных условиях: более широким температурным интервалом термоокислительной деструкции древесины, меньшим значением потери массы при заданной температуре, что свидетельствует о более высокой термостойкости образцов древесины с места пожара. Объяснением этому может послужить наличие лакокрасочного или огнезащитного покрытия на деревянных конструкциях дома, что значительно затруднило процесс диагностики температуры воздействия на древесину и соответственно очага пожара.

Рассчитанные по уравнениям (1–3) значения температуры воздействия на древесину во время пожара, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Рассчитанные значения температур воздействия на древесину

№ пробы	Δm_{400}, %	$T_{40\%}$	$ЗО^{700}$ °C	Среднее значение *t*, °C
1	373,1	-	398,0	385,6
2	358,5	388,0	363,0	369,8
3	310,5	327,0	289,1	308,9
4	348,1	-	384,8	366,5
5	325,1	342,5	361,3	343,0
6	346,2	371,9	383,1	367,1

Значения температур воздействия на деревянные конструкции по результатам термического анализа находятся в интервале 309÷386 °C, что свидетельствует о достаточно невысокой температуре термолиза древесины, что, вероятно, является следствием покрытия конструкций из древесины лакокрасочными материалами с добавками негорючих компонентов из карбонатов кальция и магния (мела) или, возможно, огнезащитными составами. Самая высокая температура воздействия была определена для пробы древесного угля № 1 (около печи), что указывает на место нахождения очага пожара.

Выводы

1. В ходе исследования термоокислительной деструкции древесины методами термического анализа установлено, что в качестве критериев оценки температурного воздействия на древесину целесообразно использовать следующие термоаналитические характеристики: количество ДТГ пиков, значение температуры при 40 % потери массы, значение потери массы при

температуре 400 °С и зольный остаток при температуре 700 °С.

2. Получены эмпирические уравнения, позволяющие рассчитать температуру воздействия на деревянные конструкции после определения вышеуказанных термоаналитических характеристик проб обугленной древесины с места пожара методами термического анализа.

3. Показано применение полученных эмпирических уравнений для расчёта температурного воздействия на деревянные конструкции и определения очага пожара в деревянном доме.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 г. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.

2. Мегорский Б. В. Методика установления причин пожаров. М., 1966. 347 с.

3. Мухачев А. А. Установление причин пожара в процессе расследования дел о поджогах и нарушениях правил пожарной безопасности. М., 1998. 164 с.

4. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под науч. ред. Н. А. Андреева. 2-е изд. СПб., 1997. 562 с.

5. Головина Е. В., Беззапонная О. В., Акулов А. Ю. и др. Оценка термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазового комплекса // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16, № 6. С. 100–106.

6. Беззапонная О. В. Исследование окислительно-деструктивных процессов, протекающих в огнезащитных составах интумесцентного типа с течением времени, методом термического анализа // Техносферная безопасность. 2018. № 3 (20). С. 66–71.

7. Беззапонная О. В., Головина Е. В., Акулов А. Ю. и др. Пути совершенствования огнезащитных терморасширяющихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 12. С. 14–24.

8. Беззапонная О. В., Головина Е. В., Акулов А. Ю. Идентификационный контроль огнезащитных составов интумесцентного типа методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2019. № 1 (22). С. 52–57.

9. Беззапонная О. В., Пискашева А. С., Ефимов И. А. и др. Диагностика температуры воздействия пожара на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 73–81.

Reference

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 g. Statisticheskij sbornik. Statistika pozharov i ih posledstvij / pod obsh. red. D. M. Gordienko. M., 2019. 125 p.

2. Megorskij B. V. Metodika ustanovleniya prichin pozharov. M., 1966. 347 p.

3. Muhachev A. A. Ustanovlenie prichin pozhara v processe rassledovaniya del o podzhogah i narusheniyah pravil pozharnoj bezopasnosti. M., 1998. 164 p.

4. CHeshko I. D. Ekspertiza pozharov (ob"ekty, metody, metodiki issledovaniya) / pod nauch. red. N. A. Andreeva. 2-e izd., SPb., 1997. 562 p.

5. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. YU. et al. Ocenka termostojkosti ognezashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovogo kompleksa // Neftegazovoe delo. 2018. T. 16, No 6. P. 100–106.

6. Bezzaponnaya O. V. Issledovanie okislitel'no-destruktivnyh processov, protekayushchih v ognezashchitnyh sostavah intumescentnogo tipa s techeniem vremeni, metodom termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 3 (20). P. 66–71

7. Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Akulov A. YU. et al. Puti sovershenstvovaniya ognezashchitnyh termorasshiryayushchihsya sostavov dlya ispol'zovaniya na ob"ektah neftegazovogo kompleksa // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. No 12. P. 14–24.

8. Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Akulov A. YU. Identifikacionnyj kontrol' ognezashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 1 (22). P. 52–57.

9. Bezzaponnaya O. V., Piskasheva A. S., Efimov I. A. et al. Diagnostika temperatury vozdejstviya pozhara na ognezashchitnye pokrytiya intumescentnogo tipa metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. No 4 (25). P. 73–81.

УДК 614.844.2

georgy400@yandex.ru

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ С ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОДАЧЕЙ ЖИДКОСТИ

SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM FOR EXPERIMENTAL STUDY OF PARAMETERS OF DEVICES WITH HIGH-SPEED LIQUID SUPPLY

Пахомов Г. Б., кандидат химических наук,
Дульцев С. Н.,
Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Pakhomov G. B., Dultsev S. N., Tuzhikov E. N.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Создан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости. Проведено экспериментальное определение: расхода, тяги создаваемой потоком жидкости, скорости подачи и числа Re для коноидальных сопел. Анализ полученных данных показал, что предложенная методика и разработанное программно-аппаратное оформление обеспечивают высокую точность и воспроизводимость проведения измерений. Результаты настоящих исследований позволяют использовать созданный комплекс при разработке и испытаниях устройств распыления жидкости, предназначенных для выполнения работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, распыление жидкости, скорость подачи жидкости, реактивная тяга, сопло.

A software and hardware complex has been created for experimental research of parameters of devices with high-speed liquid supply. An experimental determination of the flow rate, thrust created by the fluid flow, feed rate and Re number for conoidal nozzles was performed. Analysis of the data obtained showed that the proposed method and the developed hardware and software design provide high accuracy and reproducibility of measurements. The results of these studies allow us to use the created complex in the development and testing of liquid spraying devices intended for performing works on prevention and elimination of the consequences of emergencies.

Keywords: software and hardware system, liquid atomization, liquid feed rate, jet thrust, nozzle.

Введение

Распыление жидкостей является одним из наиболее распространенных процессов в современной технике [1]. Процессы распыления широко применяются при выполнении работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС в целях пожаротушения, дегазации, дезинфекции, дезактивации, противоэпидемической, санитарной и другой обработки.

Повышение эффективности применения распыленной жидкости, особенно для указанных целей, требует распыления с высокой дисперсностью значительных количеств жидкости за возможно короткое

время, с образованием направленного высокоскоростного потока. Из многочисленных исследований следует, что степень дисперсности симбатно зависит от скорости подачи жидкости, это объясняется интенсификацией процессов дробления быстролетящей жидкости за счет процессов волнообразования и при ее взаимодействии с газовой средой [2]. Так, например, огнетушащая эффективность воды может быть значительно повышена за счет увеличения ее дисперсности. Однако уменьшение размера капель приводит к необходимости применения более высоких скоростей доставки тонкораспыленной воды к очагу горения, иначе капли просто не успеют достичь горящего материала из-за уноса и испарения в конвективной колонке вблизи очага пожара [3]. Таким образом, скорость подачи является одним из важнейших критериев эффективности устройств для распыления жидкости в указанных выше областях применения.

Создание и повышение эффективности устройств для распыления жидкости требует оптимизации многих параметров, зачастую имеющих обратную взаимосвязь, что еще более усложняет эту задачу. Отсюда следует актуальность разработки приборов и методик экспериментального исследования параметров устройств для высокоскоростного распыления жидкостей.

Обзор методов

К настоящему времени имеется много публикаций, посвященных математическому моделированию процессов распыления жидкостей, большинство из которых используют классические положения теории механики сплошных сред [3].

Различия в подходах к моделированию заключаются в количестве и качестве учитываемых условий и особенностей процессов распыления. Разнообразие условий и режимов распыления, вклад которых трудно учесть при математическом моделировании, не позволяет с достаточной достоверностью прогнозировать параметры создаваемых устройств без проведения физических экспериментов, особенно это касается сложных и многообразных процессов протекающих при высокоскоростном двухфазном распылении жидкостей.

В отличие от аналитических методов исследований закономерностей и описания режимов распыления жидкостей, экспериментальным исследованиям посвящено не так много работ. В первую очередь это связано с тем, что определение параметров высокоскоростных потоков в газовых средах, осложненное массообменными процессами и другими факторами, в лабораторных условиях реализовать достаточно сложно; это в полной мере относится и к экспериментальному определению такого важнейшего параметра, как скорость подачи жидкости при ее распылении. Определение скорости подачи жидкости особенно актуально для распылительных устройств с высокой интенсивностью подачи и образованием направленного высокоскоростного потока.

В ГОСТ Р 53291–2009 «Техника пожарная. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Общие технические требования. Методы испытаний» для определения скорости подачи огнетушащей жидкости «измеряемой на срезе насадка (распылителя)» предлагается использовать видеосъемку с фиксацией времени прохождения струей жидкости расстояния в 1 м [4]. Указанный метод не обладает приемлемой достоверностью. Скорость распространения начального фронта струи не соответствует скорости подачи жидкости на выходе из устройства при установившемся режиме распыления. Кроме того, с помощью обычной видеосъемки в высокоскоростном непрерывном потоке невозможно даже оценить скорость подачи.

В других публикациях для определения параметров распыления, включая скорость подачи, используются зондовые и другие методы, в которых общим является введение в поток какого-либо регистрирующего устройства [5, 6]. При реализации указанных методов вносятся значительные возмущения в исследуемый поток и зачастую измерения затрагивают только небольшую

часть потока, что не позволяет с достаточной степенью точности определить интегральные характеристики всего потока. Последнее замечание справедливо и для различных оптических методов измерения параметров потока распыленной жидкости [7].

Из многочисленных исследований реактивного движения известно, что на расчетном режиме работы реактивного двигателя, интегральная скорость реактивной струи на выходе из сопла двигателя – V (м/с) совпадает с его удельным импульсом – I, также выраженным в м/с. Удельный импульс может быть определен как отношение реактивной тяги – H (Н) к секундному массовому расходу рабочего тела – G (кг/с). Реактивную тягу можно выразить как

$$H = V \cdot G. \qquad (1)$$

Таким образом, удельный импульс, как отношение реактивной тяги к массовому расходу определяется как

$$I = \frac{H}{G} = V. \qquad (2)$$

Определение реактивной тяги и удельного импульса по измерению тяги работающего двигателя является одним из самых распространенных методов измерений в реактивной технике [8].

Соотношения (1, 2) следуют из 3-го закона Ньютона и полностью применимы к устройствам для направленного распыления жидкостей.

Экспериментальные исследования по определению скорости потока распыляемой жидкости путем измерения тяги, создаваемой этим потоком немногочисленны, нам удалось найти работу, посвященную непосредственно этому методу измерения, опубликованную в 1975 г. [9].

Экспериментальная часть

Для исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости был создан программно-аппаратный комплекс с компьютерным управлением и регистрацией результатов измерений, основой которого является тензометрический стенд (рис. 1). Работа стенда основана на измерении и передачи в компьютер в режиме реального времени данных по тяге, создаваемой потоком распыленной жидкости; изменению веса устройства (или количества распыленной жидкости) и количества газа, используемого для распыления; измерению давления перед распылительным соплом и в баке с распыляемой жидкостью.

Рисунок 1. Часть тензометрического стенда

с установленным на нем устройством для распыления

Принципиальная схема измерительного комплекса приведена на рисунке 2.

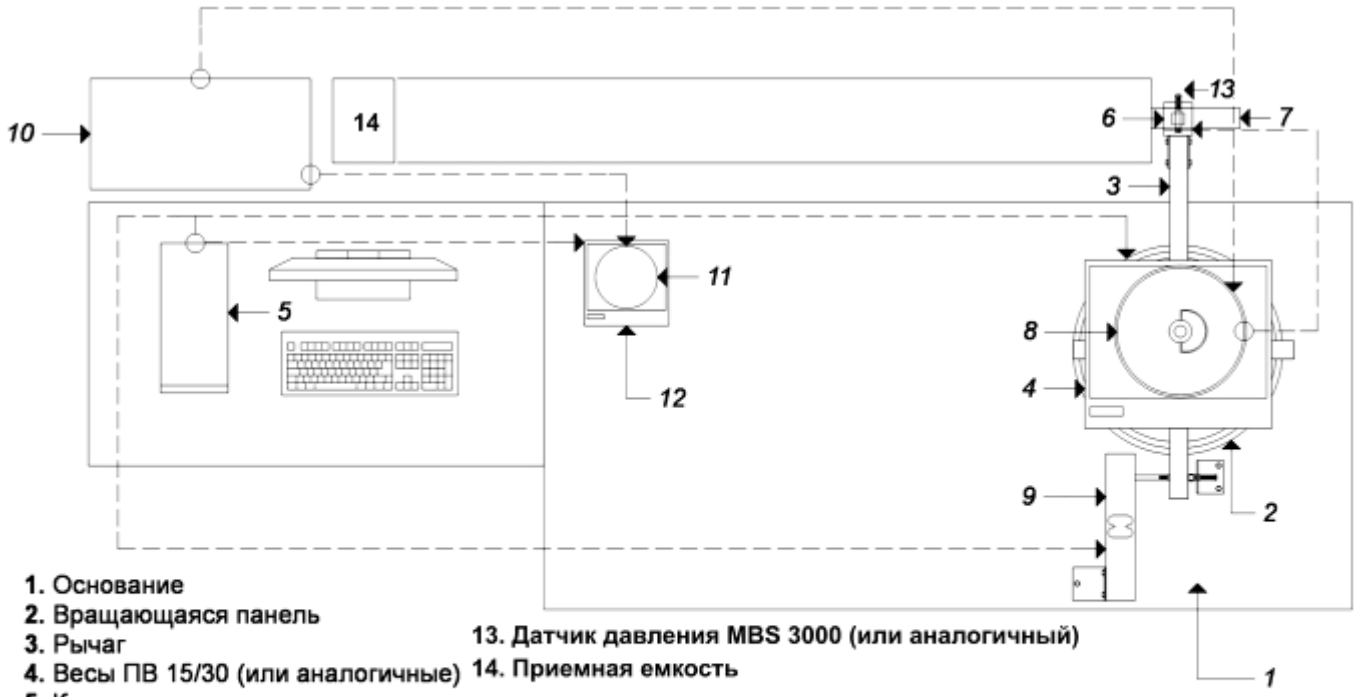


Рисунок 2. Схема программно-аппаратного комплекса

Комплекс состоит из: основания *1*, выполненного в виде стола, на поверхности которого размещена вращающаяся панель *2* с закрепленным на ней рычагом *3*. Горизонтальность поверхности устанавливается с помощью жидкостных уровней. На панель установлены весы *4*, которые соединены дата кабелем с компьютером *5*. На наружном плече рычага имеется зажим *6* для крепления ствола *7* испытываемого устройства *8*, стоящего на платформе весов. Емкость для жидкости испытываемого устройства *8* соединена рукавом/рукавами со стволом. Внутреннее плечо рычага через стальной стержень с уголковыми толкателями кинематически связано с тензодатчиком *9*, который соединен дата кабелем с компьютером. Зажим для ствола имеет возможность перемещения по длине рычага, тем самым может быть выбрано плечо рычага, при котором усилие, передаваемое на тензодатчик, будет находиться внутри оптимального диапазона измерений тензодатчика. Датчик давления *13* соединен дата кабелем с компьютером.

В режиме измерений, когда сжатый газ для работы устройства подается от ресивера компрессора (схема с данным режимом приведена на рис. 2), емкость для жидкости испытываемого устройства соединена рукавом с основным воздушным ресивером *10* компрессора, который соединен рукавом с измерительным ресивером *11*, стоящим на платформе весов *12*, которые соединены дата кабелем с компьютером. Расход газа

определяется по изменению веса измерительного ресивера, вес которого уменьшается пропорционально уменьшению давления в основном ресивере; коэффициент пропорциональности равен отношению объемов основного и измерительного ресиверов.

В режиме измерений, когда сжатый газ для работы устройства подается от баллона высокого давления (условно не показан на рис. 2), емкость для жидкости устройства соединена рукавом с газовым редуктором, установленным на баллоне высокого давления стоящем на платформе весов *12*, которые соединены дата кабелем с компьютером. Расход газа определяется по изменению веса баллона.

Во время измерений, для исключения влияния переменной жесткости гибких рукавов идущих к стволу устройства, использовано следующее решение – разместить весы и само устройство непосредственно на вращающейся панели, тем самым влияние изменения жесткости рукавов, ведущих от емкости с жидкостью к стволу устройства, никак не сказывалось на измерениях тяги.

В случае невозможности разместить и взвешивать устройство в процессе измерения, из-за его веса и/или габаритов, рукава, ведущие к стволу устройства, закреплялись в центре вращения панели; тем самым минимизировалось их влияние на измерение тяги. В последнем случае изменение количества распыленной жидкости измерялось в режиме реального времени путем взвешивания приемной емкости 14, в которую собиралась жидкость после распыления.

Для определения влияния жесткости рукавов на измеряемые величины, проводились «холостые» опыты – без подачи распыляемой жидкости через ствол, при этом статическое давление перед распылительным соплом устанавливалось равным давлению, которое регистрировалось во время работы устройства на распыление. В диапазоне применяемых избыточных давлений – от 0,13 до 1,03 МПа, влияние изменения жесткости рукавов на измеряемые величины было пренебрежимо мало.

Работа тензометрического стенда

После открытия ствола распылительного устройства, тяга работающего ствола через рычаг и стержень передается на тензодатчик, который преобразует его в электрические сигналы и передает на компьютер. В процессе измерения на компьютер также передаются сигналы с датчика давления и весов. Все сигналы регистрируются в режиме реального времени.

Благодаря минимальным деформациям тензодатчика – не более 0,5 мм, при его работе в штатном диапазоне измерений, а также настройке всей кинематической системы стенда на максимальную жесткость и отсутствие свободных ходов; механические потери при передаче усилия от работающего ствола на тензодатчик пренебрежимо малы. Для проверки справедливости последнего допущения, а также определения точного значения плеча рычага, периодически проводится калибровка тензоизмерительной системы с помощью эталонных поверенных электронных весов.

Все измерительные средства и приборы, входящие в комплекс проходят метрологическую поверку, а сам комплекс периодически проходит аттестацию в соответствии с технической документацией.

Ниже приведены основные технические характеристики измерительного оборудования:

1) датчик давления MBS 3000. Диапазон измерения от 0 до 60 МПа; погрешность измерения $\leq \pm 0{,}5$ %;

2) весы ПВ 15/30. Диапазон измерения от 0 до 32 кг; погрешность измерения ≤ 30 г;

3) весы ВК-3000. Диапазон измерения от 0 до 5 кг; погрешность измерения $\leq 0{,}1$ г;

4) тензодатчик DLC-S. Диапазон измерения от 0 до 25 кг; погрешность измерения $\leq \pm 1\%$.

Программная оболочка

Для управления, регистрации параметров распыления и математической обработки результатов была создана специальная программная оболочка. В процессе работы программа анализирует состояние входных сигналов, поступающих в компью-

тер по интерфейсам RS232. При регистрации на каком-либо из входов значимого события (номер входа и уровень значимого события программно настраиваются) начинается запись поступающих сигналов с частотой 10 Гц.

На рисунке 3 приводится вид основных окон программы после окончания регистрации параметров. Приведенное изображение соответствует режиму распыления, когда сжатый газ для работы устройства подается от ресивера компрессора. Далее опишем основные элементы интерфейса программы.

Блоки «Тензодатчик DLC-S», «Весы ПВ 15/30», «Весы ВК-3000» служат для: показа состояния измерительных устройств – зеленый цвет индикатора означает, что устройства подключены и с них штатно принимаются данные; кнопка «Калибровка» служит для калибровки и выставления «0» тензодатчика; синие окна показывают текущие значения, регистрируемые измерительными устройствами; кнопки «m…» служат для занесения в память начальных и конечных показаний весоизмерительных устройств, показания отображаются в соответствующих окнах.

Блок «Измерение» служит для переключения режимов работы – «С ресивером» или «С воздушным баллоном».

Блок «Чувствительность запуска измерения» служит для установки ползунком уровня сигнала тензодатчика, этот уровень служит для автоматической регистрации и обозначения на графиках временной метки начала процесса распыления – вертикальные желтые линии на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Поле ввода «Время измерения, сек:» служит для ввода предельной длительности измерений по достижении которой запись данных прекращается.

Кнопка «Готовность» служит для начала: отсчета времени эксперимента, записи показаний измерительных устройств, построения графиков регистрируемых величин во времени.

Кнопка «Стоп» служит для принудительной остановки: отсчета времени эксперимента, записи показаний измерительных устройств, построения графиков регистрируемых величин во времени.

Кнопка «Сохранить табл» служит для сохранения в файл всего массива данных зарегистрированных в процессе текущего эксперимента. Файл сохраняется в формате Excel.

Блок «Коэффициенты» служит для ввода и отображения различных параметров эксперимента и постоянных коэффициентов.

Поле ввода «Коэффициент плеча:» служит для ввода плеча рычага, определяемого при калибровке тензоизмерительного стенда.

Поле ввода «Постоянная ресивера:» служит для ввода коэффициента пропорциональности равному отношению объемов основного и измерительного ресиверов.

Окно «Масса воды в баке, г:» показывает общее количество жидкости, находящейся в баке распылительного устройства.

Окно «Время измерения, с:» показывает промежуток времени между началом и завершением процесса распыления, что соответствует расстоянию по оси времени между вертикальными желтой и белой линиями на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Поле ввода «Отсечка, г» служит для ввода уровня сигнала тензодатчика, ниже которого происходит автоматическая регистрация и обозначение на графиках временной метки окончания процесса распыления – вертикальные белые линии на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Окно «Pn, атм:» показывает начальное давление перед распылительным соплом или в баке устройства.

Окно «Pk, атм:» показывает конечное давление перед распылительным соплом или в баке устройства.

Окно «H, г:» показывает максимальное значение тяги, создаваемой потоком жидкости за все время эксперимента.

Кнопка «Отчет» служит для математической обработки и вывода на экран основных результатов определения параметров распыления.

Кнопки «Настроить» и «Подключить» служат для настройки и подключения измерительных устройств с выводом соответствующих окон.

Для текущего режима отображения в окнах «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30» выводятся графики зависимости тяги и веса устройства от времени. Для других режимов возможно отображение зависимостей других параметров от времени.

Блок «Время измерения в секундах (данные DLC-S)» служит для отображения и, при необходимости, установки начальной и конечной меток времени, отображаемых на графиках в виде вертикальных сплошных линий. Здесь же имеются кнопки для автомасштабирования и вывода графиков на печать.

Блок «Интервал усреднения в секундах (данные DLC-S)» служит для отображения и, при необходимости, установки начальной и конечной меток временного интервала, внутри которого после математической обработки происходит определение параметров распыления. Указанные метки отображаются на графиках в виде вертикальных пунктирных линий.

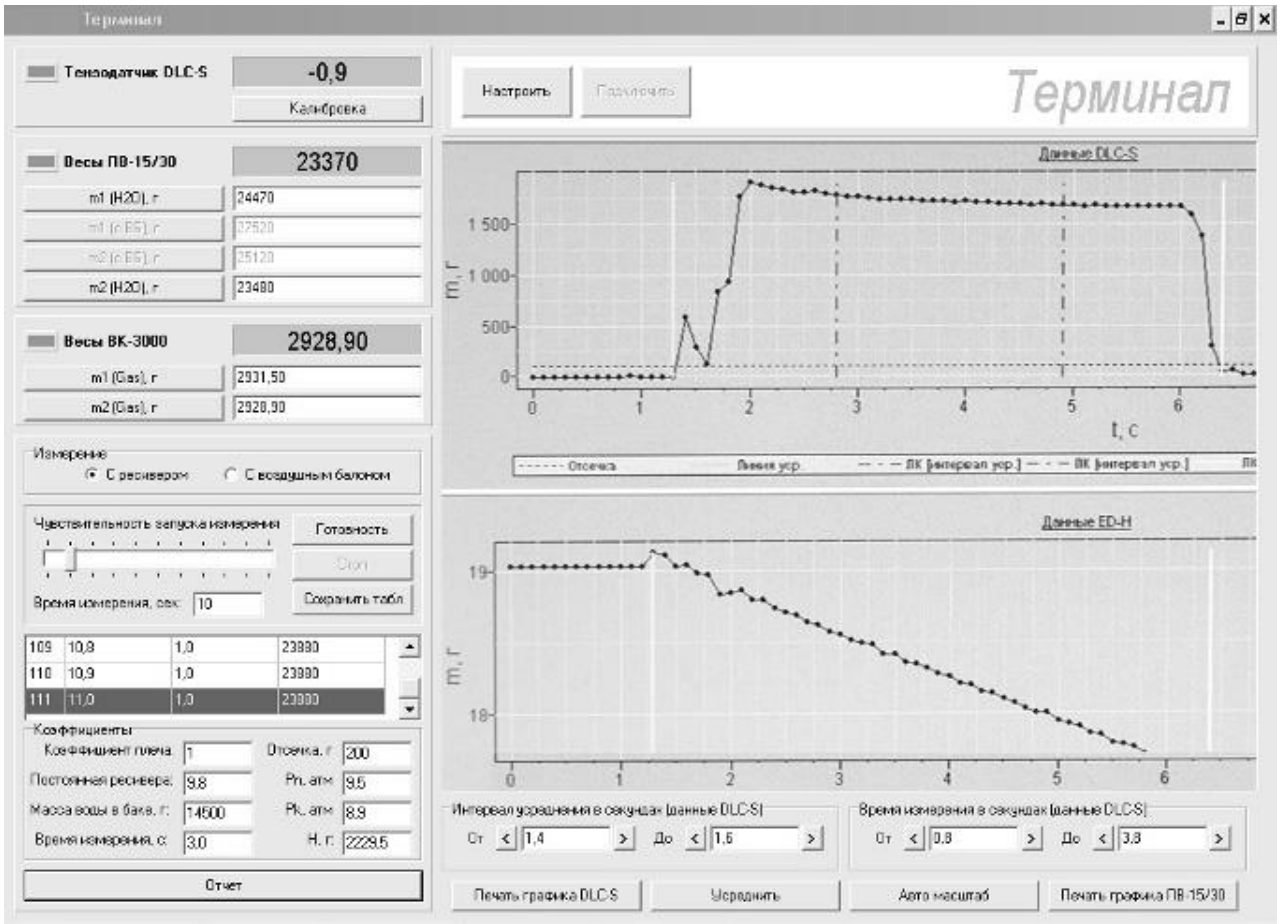


Рисунок 3. Вид основных окон программы для управления и измерения параметров

Наличие настраиваемого интервала усреднения позволяет проводить определение «мгновенных» параметров распыления в любом временном интервале эксперимента, что особо значимо для случаев исследования распылительных устройств с изменяемыми в процессе работы условиями распыления; например, для двухфазных

устройств, устройств закачного типа или устройств с газогенерирующим элементом.

Пример последовательности работы комплекса для режима измерений с воздушным ресивером

В бак для жидкости устройства заливается вода. На компьютере запускается программная оболочка управления и регистрации (рис. 3). Нажатием кнопки «m1 (H2O), г» в окне программы регистрируется вес заполненного устройства. Включается компрессор, который повышает давление в установке до необходимого значения и затем автоматически отключается. Нажатием кнопки «m1 (Gas), г» регистрируется вес заполненного измерительного ресивера *11*. Нажатием кнопки «Готовность» запускают измерение, после чего фиксируют пусковой рычаг ствола *7* в нажатом положении. По окончании требуемого времени измерения освобождают пусковой рычаг ствола. В окне программы отобразятся графики измерения тяги и веса устройства от времени – окна: «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30», при этом время начала и окончания работы устройства фиксируется автоматически и выводится на графиках в виде вертикальных сплошных линий. Нажатием кнопки «m2 (H2O), г» регистрируется вес устройства после работы. Нажатием кнопки «m2 (Gas), г» регистрируется вес измерительного ресивера *11* после работы. При необходимости устанавливаются интервалы времени измерения и усреднения в полях ввода блоков «Время измерения в секундах (данные DLC-S)» и «Интервал усреднения в секундах (данные DLC-S)». После подтверждения интервала усреднения нажатием кнопки «Усреднить» нажимается кнопка «Отчет», по которой после математической обработки выводятся на экран основные результаты определения параметров распыления: расход жидкости; расход воздуха; скорость потока на срезе сопла и т. д. Эти значения можно сохранить в таблице результатов измерений, нажав кнопку «Сохранить».

Объекты и условия исследований

С целью определения применимости созданного комплекса для исследований распылительных устройств и адекватного сопоставления полученных результатов с данными, полученными в других работах, был выбран наиболее простой и воспроизводимый объект исследования: подача воды под давлением, создаваемым сжатым газом, из бака через гибкий рукав и коноидальное сопло в атмосферу.

Выбор однофазного истечения из коноидального сопла в атмосферу был выбран из-за того, что коноидальные сопла обладают наименьшими гидравлическими потерями и у них практически отсутствует эффект сжатия струи, следовательно, их параметры истечения наиболее легко определяются расчетным путем [6; 10].

Сопла, для снижения сопротивления потоку, изготавливались методом 3D-принтинга из полимера с тщательной полировкой внутренней поверхности. Сопла выполнены геометрически подобными. Было изготовлено два сопла с выходными диаметрами – 4 и 6 мм.

Профиль сопла в соответствии с [11] выполнен в виде двух сопряженных дуг окружностей, одна из которых – на входе в сопло имеет радиус, равный радиусу выходного отверстия сопла, другая – при переходе к выходному участку сопла имеет радиус, равный диаметру выходного отверстия сопла (рис. 4).

Использованный профиль получен при отношении диаметра выходного отверстия к длине сопла – меньше 0,7, что соответствует предположению об одномерности течения в соплах рассматриваемой формы [12].

На рисунке 4 приведен разрез изготовленного сопла с выходным диаметром – d.

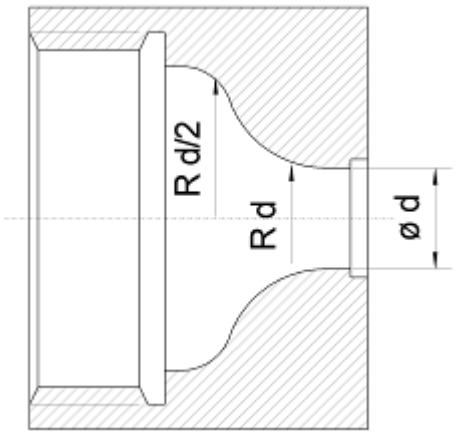


Рисунок 4. Геометрические характеристики исследованных сопел, где d – выходной диаметр

Устройство для подачи воды (рис. 1) представляет собой бак из нержавеющей стали вместимостью 14 л, который соединен с перекрываемым стволом гибким рукавом с внутренним диаметром 18 мм и длиной 1 м. Внутри гибкий рукав имеет гладкую поверхность и, при скоростях водяного потока, применяемых в измерениях, может характеризоваться как гидравлически гладкая труба, т. е. толщина ламинарного приповерхностного слоя воды больше высоты выступов шероховатости. В этом случае шероховатость стенок не влияет на характер движения воды и, соответственно, потери напора не зависят от шероховатости [13].

Сжатый воздух с регулируемым давлением поступает в бак от газового редуктора через гибкий рукав длиной 1,5 м с внутренним диаметром 10 мм. Коноидальное сопло установлено на выходе из ствола, а сам ствол закреплен на внешнем плече рычага тензометрического стенда. Измерение давления проводится непосредственно перед входом в коноидальное сопло.

Была проведена серия из 60 экспериментов, в которых варьировались давление перед соплом и выходной диаметр сопла. Для каждого давления и диаметра сопла проводилось по 5 измерений. Отклонение результатов определения скорости подачи от средних значений в параллели не превышало ±2 %.

Все измерения проводились на воде при температуре от 22 до 25 ºС и атмосферном давлении от 97,7 до 99,3 кПа. Избыточное давление на входе в сопло изменяли от 0,13 до 1,03 МПа. Диаметры сопел были 4 и 6 мм.

Результаты и обсуждение

Обозначения и исходные данные:

ΔP – избыточное давление на входе в сопло, Па.

G – расход воды, кг/с.

H – тяга, создаваемая потоком воды при выходе из сопла, Н.

d – диаметр сопла, м.

S – площадь сопла, м^2.

V – скорость струи воды на срезе сопла, м/с.

ρ – плотность воды (ρ =1000 кг/м^3).

ν – кинематическая вязкость воды (ν=1 м/с^2).

Re – число Рейнольдса. При определении Re применялась общеизвестная формула:

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}. \qquad (3)$$

В данном случае область чисел Re>5,9·10^4 (числа Re для исследуемых сопел приведены в таблицах 1, 2).

φ – коэффициент скорости истечения (φ = 0,98; значение определяется из рис. 5, что соответствует значениям φ для коноидальных сопел приведенным в других источниках).

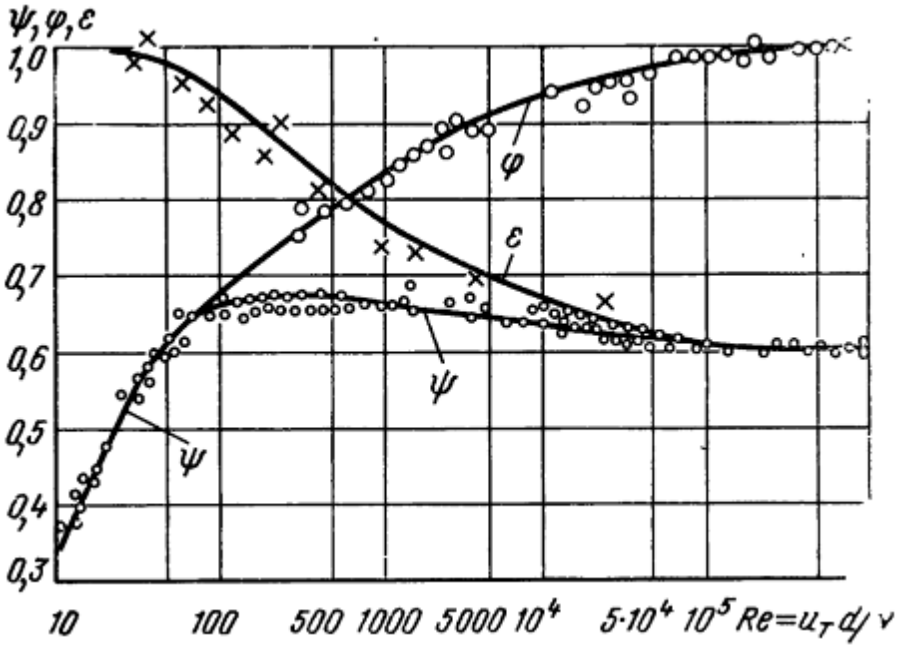


Рисунок 5. Зависимость коэффициентов истечения воды от числа Re [13]

Аналитическая зависимость скорости струи V от избыточного давления на входе в сопло ΔP может быть получена из уравнения Бернулли в одномерном представлении и является выражением закона Торричелли с учетом коэффициента скорости истечения φ для применяемых сопел.

$$V = \varphi \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}. \qquad (4)$$

Другая зависимость скорости струи от избыточного давления на входе в сопло может быть получена из измеренного расхода – G и диаметра сопла – d (таблицы 1, 2) при условиях: несжимаемости жидкости; отсутствия сжатия струи; неразрывности и непрерывности течения. Отсутствие сжатия струи является одной из характеристик коноидальных сопел.

$$V = \frac{4G}{\rho \cdot \pi \cdot d^2}. \qquad (5)$$

В таблицах 1 и 2 приведены результаты экспериментального определения: расхода – G, тяги, создаваемой потоком жидкости – H, скорости истечения – V и числа Re для коноидальных сопел различного диаметра – d в зависимости от давления перед соплом – ΔP.

Таблица 1

Результаты определения параметров для сопла с d=4 мм

ΔP, Па	d, м	S, м^2	G, кг/с	H, Н	V, м/с по тяге по формуле (2)	V, м/с по формуле (5)	Re по формуле (3)
131600	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,190	2,95	14,8	15,1	59144
329300	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,326	8,11	25,7	25,9	102612
458300	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,350	10,73	28,8	27,9	115119
681600	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,450	16,95	37,3	35,8	149074
817100	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,523	19,13	38,4	41,6	153713
1011100	$4\cdot10^{-3}$	$1{,}26\cdot10^{-5}$	0,548	26,11	47,2	43,6	188617

Таблица 2

Результаты определения параметров для сопла с d=6 мм

ΔP, Па	d, м	S, м^2	G, кг/с	H, Н	V, м/с по тяге (ф. 2)	V, м/с по формуле (5)	Re по формуле (3)
146500	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	0,460	8,10	17,6	16,3	105682
291800	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	0,676	16,64	24,9	23,9	149150
491700	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	0,799	26,97	31,0	28,3	186236
639600	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	0,991	35,08	35,4	35,1	212407
832400	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	1,164	47,92	42,4	41,2	254310
1025700	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}83\cdot10^{-5}$	1,268	53,48	42,6	44,8	255666

На рисунке 6 для исследуемых сопел диаметром d приведены экспериментальные зависимости расхода G от давления перед соплом ΔP.

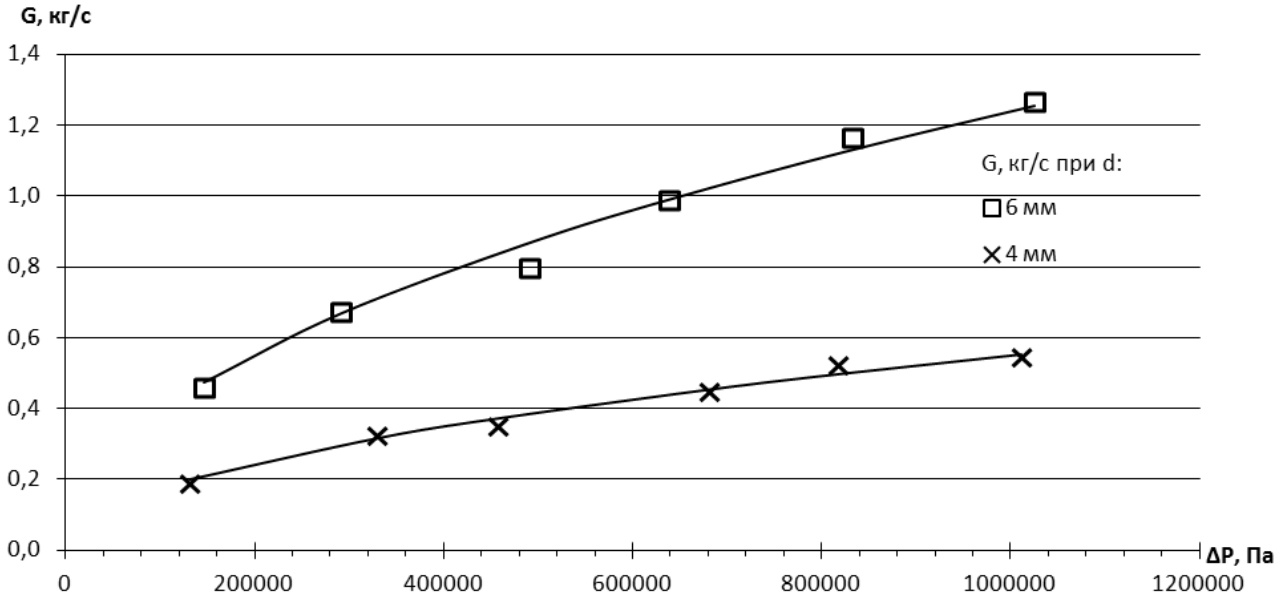


Рисунок 6. Экспериментальные зависимости расходов воды от давления перед соплами

На рисунке 7 для исследуемых сопел диаметром d приведены расчетные и экспериментальные зависимости скорости струи воды V от давления перед соплом ΔP.

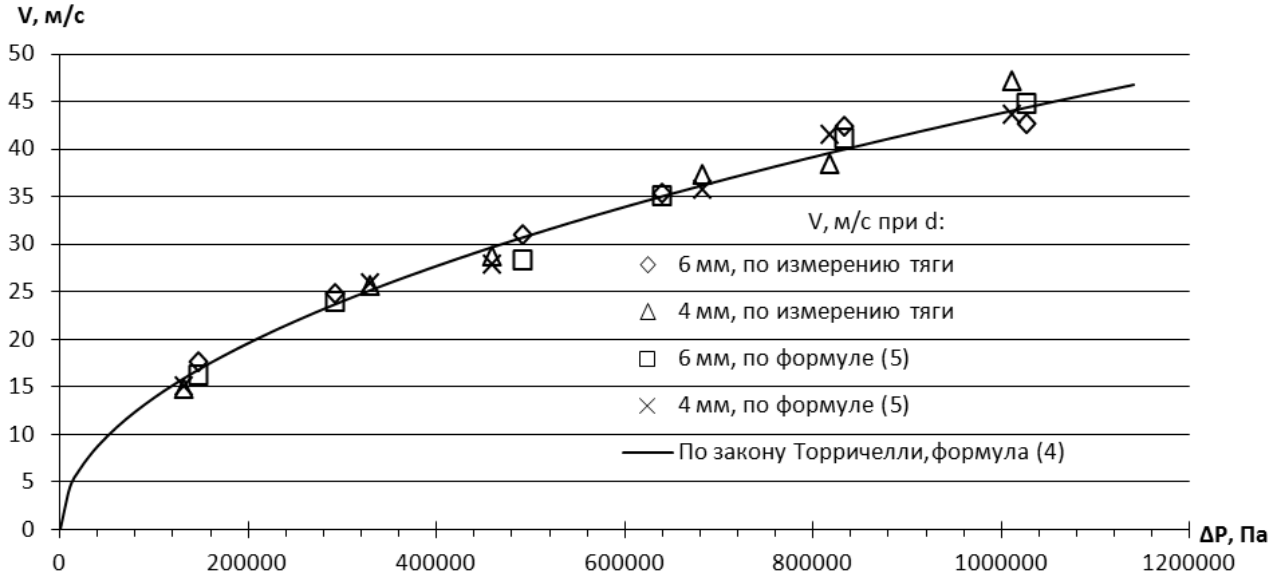


Рисунок 7. Расчетные и экспериментальные зависимости скорости струи воды от давления перед соплом

Сопоставление скоростей струй, определенных различными методами, показало хорошую сходимость между экспериментальными и расчетными данными. Отличие экспериментальных значений скорости струи от расчетных незначительно и находится в диапазоне погрешности измерений.

Из сравнения зависимостей скорости струи и тяги от давления, полученных в настоящем исследовании (табл. 1 и 2, рис. 7) с данными приведенными в других работах: кривые *3* и *4* из рисунка 8 [6], данные по силе реакции струи воды для круглых сопел [14], можно заключить, что экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, хорошо согласуются с общеизвестными исследованиями и теоретическими зависимостями.

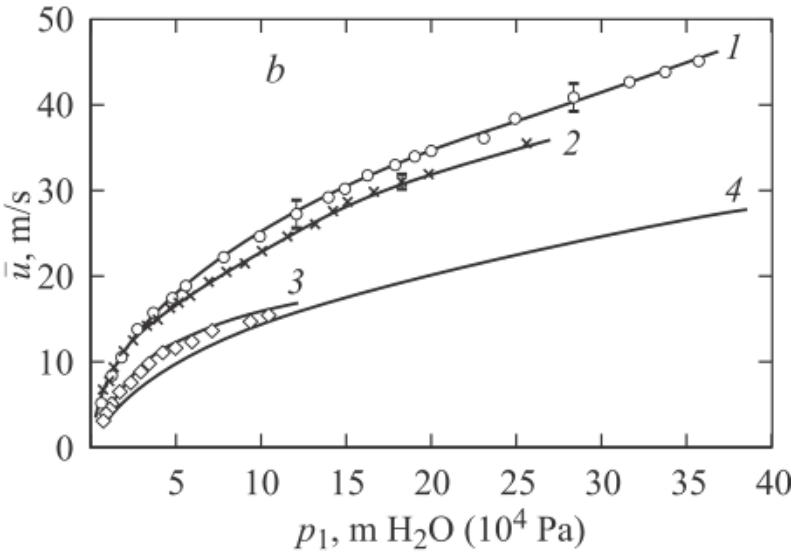


Рисунок 8. Расчетные и экспериментальные зависимости скорости струи воды от давления для коноидальных сопел: кривая 3 – по формуле (5); кривая 4 – по закону Торричелли (формула 4) без учета коэффициента скорости истечения φ

Выводы

1. Создан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости.

2. Проведено экспериментальное определение: расхода, тяги, создаваемой потоком жидкости, скорости подачи и числа Re для коноидальных сопел различного диаметра в зависимости от давления перед соплом. Анализ полученных данных показал, что предложенная методика и разработанное программно-аппаратное оформление обеспечивают высокую точность и воспроизводимость проведения измерений.

3. Результаты настоящих исследований позволяют использовать созданный комплекс при разработке и испытаниях устройств распыления жидкости, предназначенных для выполнения работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС.

Литература

1. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М., 1984. 256 с.
2. Душкин А. Л., Карпышев А. В., Сегель М. Д. Оптимизация параметров потоков тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 1. С. 39–44.
3. Ципенко А. В. Теория и методы повышения эффективности противопожарных систем на воздушном транспорте: дис. докт. тех. наук: 05.26.02. М., 2006. 354 с.
4. ГОСТ Р 53291–2009 Техника пожарная. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009. 26 с.
5. Воронецкий А. В. Методология проведения зондовых измерений в высококонцентрированных газодисперсных потоках и обработка их результатов // Компрессорная техника и пневматика. 2003. № 1. С. 33−36.
6. Котоусов Л. С. Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией // Журнал технической физики. 2005. Т. 75, № 9. С. 8−14.
7. Баталов В. Г., Степанов Р. А., Сухановский А. Н. Оптические измерения размеров капель в факеле распыла топливной форсунки // Вестник Пермского университета. Физика. 2017. № 3 (37). С. 40–47.
8. Попов В. Г., Ярославцев Н. Л. Жидкостные ракетные двигатели. М., 2001. 171 с.
9. Zable J. L. A sensitive thrust-measuring device // Experimental Mechanics. 1975. No 15. P. 365–368.
10. Иванов Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М., 1990. 384 с.
11. Лаврухин Г. Н. Аэрогазодинамика реактивных сопел. Т. 1. Внутренние характеристики сопел. М., 2003. 376 с.
12. Виноградов Л. В., Лотфулин Ш. Р. Исследование геометрических параметров сопла с контуром Витошинского // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. 2004. № 2 (9). С. 44–49.
13. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика. М., 1981. 374 с.
14. Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. М., 2013. 352 с.

References

1. Pazhi D. G., Galustov V. S. Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostej. M., 1984. 256 s.
2. Dushkin A. L., Karpyshev A. V., Segel' M. D. Optimizaciya parametrov potokov tonko-raspylennyh ognetushashchih veshchestv // Pozharovzryvobezopasnost'. 2010. T. 19, № 1. S. 39–44.
3. Cipenko A. V. Teoriya i metody povysheniya effektivnosti protivopozharnyh sistem na vozdushnom transporte: dis. dokt. tekh. nauk: 05.26.02. M., 2006. 354 s.
4. GOST R 53291–2009 Tekhnika pozharnaya. Perenosnye i peredvizhnye ustrojstva pozha-rotusheniya s vysokoskorostnoj podachej ognetushashchego veshchestva. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytanij. M., 2009. 26 s.
5. Voroneckij A. V. Metodologiya provedeniya zondovyh izmerenij v vysokokoncentrirovannyh gazodispersnyh potokah i obrabotka ih rezul'tatov // Kompressornaya tekhnika i pnevmatika. 2003. № 1. S. 33−36.
6. Kotousov L. S. Issledovanie skorosti vodyanyh struj na vyhode sopel s razlichnoj geometriej // ZHurnal tekhnicheskoj fiziki. 2005. T. 75, № 9. S. 8−14.
7. Batalov V. G., Stepanov R. A., Suhanovskij A. N. Opticheskie izmereniya razmerov ka-pel' v fakele raspyla toplivnoj forsunki // Vestnik Permskogo universiteta. Fizika. 2017. № 3 (37). S. 40–47.
8. Popov V. G., YAroslavcev N. L. ZHidkostnye raketnye dvigateli. M., 2001. 171 s.
9. Zable J. L. A sensitive thrust-measuring device // Experimental Mechanics. 1975. No 15. P. 365–368.
10. Ivanov E. N. Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoj zashchity. M., 1990. 384 s.
11. Lavruhin G.N. Aerogazodinamika reaktivnyh sopel. T. 1. Vnutrennie harakteristiki sopel. M., 2003. 376 s.

12. Vinogradov L. V., Lotfulin SH. R. Issledovanie geometricheskih parametrov sopla s konturom Vitoshinskogo // Vestnik RUDN, ser. Inzhenernye issledovaniya. 2004. № 2 (9). S. 44–49.
13. Sergel' O. S. Prikladnaya gidrogazodinamika. M., 1981. 374 s.
14. Gorban' YU. I. Pozharnye roboty i stvol'naya tekhnika v pozharnoj avtomatike i pozharnoj ohrane. M., 2013. 352 s.

УДК 504.05; 662.2 *liza960210@yandex.ru*

АНАЛИЗ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»[1]

ANALYSIS OF EXPLOSIVES USED WHILE DRILLING AND EXPLOSION WORKS IN THE CAREER OF JSC «LEBEDINSKIY GOK»

Ястребинская А. В., кандидат технических наук,
Атанова Е. Н., Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород

Yastrebinskaya A. V., Atanova E. N.,
Belgorod State University of Technology V. G. Shukhov, Belgorod

Проведены расчеты максимально разовых и валовых выбросов вредных газов и пыли при использовании разных по составу взрывчатых веществ. Анализ полученных результатов показал, что использование эмульсионных взрывчатых веществ позволяет в несколько раз снизить максимально разовые и валовые выбросы. Использование дополнительного орошения поверхности взрыва растворами поверхностно-активных веществ, приведет к образованию «корки», что будет способствовать уменьшению высоты подъема пылегазового облака, а использование гидрозабойки позволит уменьшить температуру термика, тем самым дополнительно будет снижен максимально разовый и валовый выбросы вредных веществ, образующихся в результате проведения массовых взрывов в карьере АО «Лебединский ГОК».

Ключевые слова: АО «Лебединский ГОК», буровзрывные работы, взрывчатые вещества, горные работы, крепость пород.

The calculations of the maximum one-time and gross emissions of harmful gases and dust using explosives with different compositions. An analysis of the results showed that the use of emulsion explosives allows several times to reduce the maximum one-time and gross emissions. The use of additional irrigation of the explosion surface with solutions of surfactants will lead to the formation of a “crust”, which will help to reduce the height of the dust and gas cloud, and the use of hydraulic shutter will reduce the thermal temperature, thereby additionally reducing the maximum one-time and total emissions of harmful substances generated as a result of mass explosions in the quarry of Lebedinsky GOK JSC.

Keywords: JSC Lebedinsky GOK, blasting, explosives, mining, rock fortress.

Анализ взрывчатых веществ при проведении буровзрывных работ остается всегда актуальной темой. Одной из главных проблем горнодобывающей промышленности является образование пылегазового облака во время проведения массовых взрывов. От правильно выбранного взрывчатого вещества, способа его закладки, времени проведения взрывов, метеорологических условий зависит не только масштаб негативного влияния на окружающую среду, но и здоровье работников горнодобывающей промышленности и населения, проживающего в районах промышленной агломерации.

[1] *Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.*

Цель данной работы – анализ образования пылегазового облака в карьере АО «Лебединский ГОК», в зависимости от состава взрывчатого вещества и разработка мероприятий по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) дана характеристика буровзрывным работам в карьере АО «Лебединский ГОК»;
2) проведено сравнение разных по составу взрывчатых веществ;
3) произведен расчет максимально разовых и валовых выбросов вредных газов и пыли;
4) разработаны мероприятия по охране окружающей среды.

Для сравнения выброса концентрации при массовых взрывах различных взрывчатых веществ использовалось определение максимально-разового и валового выброса вредных газов и пыли.

Расчеты произведены на основании методической документации:

1) методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей);

2) методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Загрязнение атмосферного воздуха всегда остается актуальной проблемой глобального мира. Опасность заключается в том, что в чистый воздух попадают вредные вещества и в результате круговорота веществ в природе оказывают негативное влияние на флору и фауну, но также способствуют изменению климата Земли.

Основными источниками загрязнения воздуха в современном мире являются [7]:

1) антропогенные:
- промышленные предприятия;
- транспорт;
- теплоэнергетика;
- отопление жилищ;
- сельское хозяйство.

2) естественные:
- пыльные бури;
- вулканизм;
- лесные пожары;
- выветривание;
- разложение живых организмов.

Среди центров горнодобывающей промышленности Российской Федерации основным и самым крупнымявляется Курская магнитная аномалия.

Белгородская область занимает лидирующие позиции по производству и добыче металлургического сырья: железорудного концентрата, нефлюсованных окатышей и металлизированных брикетов для бездоменной металлургии. Производство территориально сосредоточенно в городах Губкин и Старый Оскол, входящих в состав крупнейшего металлургического холдинга страны «МЕТАЛЛОИНВЕСТ».

В состав Металлоинвеста входят:

1) горно-обогатительные комбинаты: Лебединский и Михайловский;

2) металлургические предприятия: Оскольский электрометаллургический комбинат и Уральская Сталь;

3) компания по вторичной переработке металла «УралМетКом».

Объектом исследования является Лебединский ГОК — единственный в России и СНГ производитель горячебрикетированного железа (ГБЖ). На месторождении выделяют три промышленных участка: Центральный, Южный и Стойло-Лебединский.

Разработка месторождения железных руд Лебединского ГОКа состоит из нескольких сложных технологических этапов [4]:

1) снятие плодородного слоя почвы;
2) производство вскрышных работ;
3) буровзрывные работы;
4) добыча руды;
5) транспортировка;
6) первичное дробление;
7) складирование отвальных пород.

Извлечение полезных ископаемых из недр в карьере Лебединского ГОКа происходит после проведения буровзрывных работ открытого типа. При проведении работ образуется пылегазовое облако, которое оказывает негативное влияние на окружающую среду и является одной из главных экологических проблем региона. Поэтому основными целями экологического менеджмента АО «Лебединский ГОК» на этапе проведения буровзрывных работ являются:

1) пылеподавление обуреваемых блоков с применением воды и вяжущих растворов;

2) использование естественной обводненности горных пород и взрываемых скважин;

3) использование взрывчатого вещества с кислородным балансом, близким к нулю;

4) эксплуатация передвижного поста ПЭП-1-1 и передвижной экологической лаборатории СКАТ для получения достоверной информации о качестве атмосферного воздуха [1].

Указанные мероприятия не только позволяют минимизировать негативное влияние на окружающую среду, но и дают возможность для дальнейшего углубленного изучения.

Образование пылегазового облака зависит от метеорологической обстановки, используемых взрывчатых веществ, крепости пород. Само облако состоит из взвешенных частиц, оксида углерода, диоксида серы, оксидов азота и т. п.

Каждое взрывчатое вещество подбирается в соответствии с коэффициентом крепости горных пород (шкала профессора М. М. Протодьяконова [2]), оценки трещиноватости скальных массивов.

Покрывающая порода состоит из отложений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Покрывающие породы карьера АО «Лебединский ГОК» (сверху вниз)

№ п/п	Покрывающая порода	Протяженность, м	Коэффициент крепости
1	Глина и суглинок	от 1 до 20	0,6–1
2	Мергельно-меловая толща	от 0 до 60	3–4
3	Сеноман-альбская толща песков	от 25 до 30	5–6
4	Юрские песчано-глинистые	от 2,5 до 27	8–10
5	Кровли докембрия – девонские отложения, представляющие глину и рудные брекчия	от 27 и ниже	10–15

При проведении взрывных работ в карьере АО «Лебединский ГОК» для зарядки скважин используются штатные взрывчатые вещества, такие как Гранулотол, Граммонит 79/21, а также эмульсионные взрывчатые вещества собственного производства (далее ЭВВ): Тован и Товаг. Используется при этом метод скважинных зарядов.

Суть этого метода состоит в том, что взрывчатое вещество размещают в вертикальных или наклонных скважинах с забойкой верхней части инертными материалами из песка, буровой мелочи или забоечного материала специального состава. Скважины располагаются в один или несколько рядов параллельно верхней бровке уступа и размещаются друг от друга на расчетном расстоянии по прямоугольной сетке или в шахматном порядке. Расстояние от первого ряда скважин до верхней бровки уступа должно обеспечивать безопасность размещения бурового станка на уступе и рабочих по заряжанию скважин [4].

Характеристика взрывчатых веществ на основании ГОСТ 25857–83 [3], ТУ 84–08628424-814-2005 [8] представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика взрывчатых веществ, используемых при буровзрывных работах в карьере АО «Лебединский ГОК»

	Гранулотол	Граммонит 79/21	ЭВВ
Кислородный баланс, %	-74	+0,02	-1,0
Теплота взрыва, ккал/кг	870	1025	696
Объем газов, л/кг	750	895	932
Тротиловый эквивалент	1	1,02	0,73

Для того чтобы оценить негативное воздействие на окружающую среду, а именно атмосферный воздух, во время проведения массовых взрывов, для каждого взрывчатого вещества были выбраны одинаковые условия и параметры:

1) крепость пород:6–8;

2) количество взрываемого взрывчатого вещества: 3 тонны;

3) количество взрывов в год: 45.

Расчеты произведены на основании методической документации:

1) Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей) [5];

2) Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [6].

Валовый выброс вредных газов:

$$M = K \cdot A \cdot (\mathrm{Q_{пго}} + \mathrm{Q_{гм}}) \cdot \mathrm{N} \cdot 10^{-6}, \text{ т/год},$$

где K – коэффициент трансформации оксидов азота;

A – количество взрываемого ВВ, кг;

$Q_{пго}$ – удельное содержание вредных газов в пылегазовом облаке при взрыве 1 кг ВВ;

$Q_{гм}$ – удельное содержание вредных газов в отбитой горной масс;

N – количество взрывов в год.

Максимально разовый выброс вредных газов:

$$G = K \cdot A \cdot \frac{Q_{ПГО}}{T_{оср}}, \text{ г/с},$$

где $T_{оср}$ – 1200 с 20-минутное осреднение.

Валовый выброс пыли:

$$M = Q_{П} \cdot K_2 \cdot Q_{об} \cdot N \cdot 10^{-3}, \text{ т/год},$$

где $Q_{об}$ – объем взорванной горной массы, м^3;

$Q_{п}$ – удельное пылеподавление из 1 м^3;

K_2 – коэффициент, учитывающий влажность материала.

Максимально-разовый выброс пыли:

$$G = Q_{П} \cdot K_2 \cdot Q_{об} \cdot \frac{10^3}{T_{оср}}, \text{ г/с}.$$

В результате расчетов были получены максимально разовые и валовые выбросы газов и вредных веществ, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета максимально разовых и валовых выбросов

Взрывчатые вещества ⬇	Выделяемые вещества ➡	Азота диоксид	Азот (II) оксид	Углерод оксид	Взвешенные вещества

Гранулотол	Максимально-разовый (г/с)	6160,00	1001,00	112500,00	0,25
	Валовый выброс (т/год)	482,33	78,38	8808,75	0,01
Граммонит 79/21	Максимально-разовый (г/с)	15960,00	2593,50	18125,00	0,11
	Валовый выброс (т/год)	1239,84	201,47	1400,63	0,006
ЭВВ	Максимально-разовый (г/с)	2240,00	364,00	10312,50	0,06
	Валовый выброс (т/год)	181,44	29,48	793,13	0,003

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что использование эмульсионных взрывчатых веществ приводит к существенному снижению максимально разовых и валовых выбросов вредных веществ, образующихся в результате проведения массовых взрывов в карьерах открытого типа. Так, максимально разовый и валовый выброс диоксида и оксида азота снизился в 2,75 раза относительно применения Гранулотола и в 7 раз относительно Граммонита. Выброс оксида углерода снизился в 11 раз относительно применения Гранулотола и в 1,8 раз относительно Граммонита. По взвешенным веществам наблюдается снижение в 4 раза относительно применения Гранулотола и в 1,8 раз относительно Граммонита.

Использование дополнительного орошения поверхности взрыва растворами поверхностно-активных веществ приведет к образованию «корки», что будет способствовать уменьшению высоты подъема пылегазового облака, а использование гидрозабойки позволит уменьшить температуру термика, тем самым дополнительно будет снижен максимально разовый и валовый выбросы вредных веществ, образующихся в результате проведения массовых взрывов в карьере АО «Лебединский ГОК».

Литература

1. Атанова Е. Н., Ястребинская А. В. Технологии буровзрывных работ в карьере АО «Лебединский ГОК» // XIII Международная научно–практическая конференция «Молодежь и научно–технический прогресс»: сб. докл.: в 2 т. Т. 1. Губкин, 2020. С. 346–348.
2. ГОСТ 21153.1–75. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодьяконову. Введ. 1975–09–25. М., 1975. 3 с.
3. ГОСТ 25857–83 Гранулотол. Технические условия. Введ. 1983–07–11. М., 1994. 30 с.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение железных руд / сост. А. В. Сентюрин и др. М., 2017. 224 с.
5. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей). Люберцы, 1999. 17 с.
6. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. С–Пб, 2012. 172 с.
7. Михайлов Ю. В. Горнопромышленная экология. М., 2011. 336 с.
8. ТУ 84–08628424–814–2005 Вещества взрывчатые промышленные. Граммониты 79/21 и 30/70. М., 2005. 5 с.

References

1. Atanova E. N., Yastrebinskaya A. V. Drilling and blasting technologies in the quarry of Lebedinsky GOK JSC // XIII International Scientific and Practical Conference "Youth and Scientific and Technical Progress": Sat. dokl.: in 2 t. T. 1. Gubkin, 2020. Pp. 346–348.
2. GOST 21153.1–75. The rocks are mountain. Method for determining the coefficient of strength according to Protodyakonov. Enter 1975–09–25. M., 1975. Pp. 3.
3. GOST 25857–83 Granulotol. Technical conditions Enter 1983–07–11. M., 1994. Pp. 30.
4. Information and technical reference on the best available technologies. Extraction and concentration of iron ores / compilers A. V. Sentyurin and etc. M., 2017. Pp. 224.

5. Methodology for calculating harmful emissions (discharges) for a complex of equipment for open cast mining (based on specific indicators). Lyubertsy, 1999. Pp.17.
6. The methodological manual for the calculation, regulation and control of emissions of pollutants into the air. St. Petersburg, 2012. Pp. 172.
7. Mikhailov U. V. Mining ecology: a training manual. M., 2011. Pp. 336.
8. TU 84-08628424-814–2005 Explosive industrial substances. Grammonites 79/21 and 30/70. M., 2005. Pp. 5.

УДК 614.844.5

georgy400@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЗАМЕРЗАЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

RESEARCH OF LOW-FREEZING SOLUTIONS FOR FOAM FIRE FIGHTING

Пахомов Г. Б., кандидат химических наук,
Дульцев С. Н., Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Pakhomov G. B., Dultsev S. N., Tuzhikov E. N.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Приготовлены пенообразующие растворы на основе солевых антифризов и исследованы их свойства в условиях ускоренного старения. Результаты настоящих исследований могут быть использованы для приготовления и совершенствования рецептур низкозамерзающих растворов для пенного пожаротушения.

Ключевые слова: антифриз, пенообразование, этиленгликоль, хлорид кальция, хлорид магния, ацетат калия.

Foaming solutions based on salt antifreezes were prepared and their properties were studied in conditions of accelerated aging. The results of these studies can be used for the preparation and improvement of recipes for low-freezing solutions for foam firefighting.

Keywords: antifreeze, foaming, ethylene glycol, calcium chloride, magnesium chloride, potassium acetate.

Введение

Актуальность работы определяется необходимостью создания высокоэффективных низкозамерзающих жидкостей для пенного пожаротушения на основе водных растворов. Анализ информационных источников показал, что систематических исследований по влиянию различных антифризов в условиях длительной выдержки на пенообразующие свойства рабочих растворов пожарных пенообразователей не проводилось.

Наиболее широко применяемые низкозамерзающие растворы на водной основе можно отнести к одной из трех групп: растворы спиртов; растворы неорганических солей; растворы органических солей.

Первая группа включает водные растворы двухатомных спиртов – гликолей (этиленгликоля и пропиленгликоля).

Этиленгликоль — стандартный антифриз, массово применяемый в том числе в двигателях внутреннего сгорания. В промышленности активно используются растворы пропиленгликоля, обладающего высокой температурой кипения (187 ºС) и, соответственно, низкой горючестью.

Растворы гликолей по своим теплофизическим характеристикам близки к воде лишь при концентрациях менее 20 %. При более высоких концентрациях и низких рабочих температурах эти растворы имеют неудовлетворительные эксплуатационные свойства, обусловленные, в первую очередь, их высокой вязкостью и способностью гореть при температурах пожара.

Указанные спирты эффективно снижают температуру замерзания и имеют низкую коррозионную активность. Однако их

горючесть исключает возможность использования растворов с высоким содержанием указанных спиртов для целей пожаротушения.

Из растворов неорганических солей, прежде всего, необходимо отметить растворы хлоридов кальция и магния, которые обладают хорошими антифризными свойствами, нетоксичны, недороги, обеспечивают снижение температуры замерзания до -50 ºС для хлорида кальция и -34 ºС для хлорида магния. Кроме того, хлорид магния является активным антипиреном, а его растворы обладают хорошим огнезащитным и огнетушащим действием, что позволяет использовать его как основу для промышленного производства огнетушащего состава ОСБ-1 [1].

Несомненные достоинства этих хлоридов не компенсируют их недостатки, особенно проявляющиеся в высококонцентрированных растворах: высокая вязкость; активная коррозия металлов, особенно при повышенных температурах и в присутствии кислорода воздуха; а также угнетающее воздействие на пенообразующие свойства растворов пенообразователей, что особенно актуально в рамках данной работы.

Проводимые с начала 90-х годов исследования по изучению химических и теплофизических свойств растворов ацетатов и формиатов щелочных металлов стали основой для создания нового класса низкозамерзающих растворов на основе солей органических кислот. Можно привести в качестве примеров: хладоносители Tyfoxit, Antifrogen, Freezium; антигололедные агенты Нордикс, Nordway, Clearway®; пожаротушащий состав Ansulex. Кроме ацетатов используются формиаты и другие органические соли. Однако именно ацетат калия является наиболее применимыми из органических солей, в том числе из-за его сравнительной дешевизны, низкой коррозионной активности и экстремально низкой температуры замерзания раствора – до -60 ºС. Однако стоимость ацетата калия значительно выше спиртовых и хлоридных антифризов, а при высоких концентрациях он угнетающе воздействуют на пенообразующие свойства рабочих растворов пенообразователей, что также актуально в рамках проводимой работы. Кроме того, ацетат калия и его концентрированные растворы обладают сильным запахом уксусной кислоты, что может также ограничивать сферу его применения.

В многокомпонентной системе – вода / несколько растворенных веществ жидкая фаза сохраняется до более низких температур, чем в двухкомпонентной системе – вода / одно растворенное вещество при одинаковых суммарных концентрациях растворенных веществ. Эвтектические точки сдвигаются в сторону более низких температур из-за присутствия в растворе одновременно многих различных по природе молекул и ионов. Так, температуры замерзания водных растворов солевых антифризов могут быть значительно понижены (на 10–20 °С) добавлением одно или двухатомных спиртов в количестве 5÷20 вес. % [2].

Этиленгликоль являются одним из стандартных компонентов концентратов пожарных пенообразователей, он, в том числе, улучшает устойчивость пены, получаемой из рабочих растворов пенообразователей.

Роль этиленгликоля как дополнительно вводимого компонента также заключается в уменьшении коррозионной активности солевого раствора за счет снижения степени ионизации электролита в смешанном водно-органическом растворителе, а в случае с ацетатом калия дополнительно уменьшает запах уксусной кислоты.

В многокомпонентной системе этиленгликоль позволяет уменьшить суммарное содержание растворенных электролитов, что может привести, при сохранении низкой температуры замерзания, к следующим положительным изменениям в свойствах пенообразующих растворов: снижению вязкости, коррозионной активности, угнетающего воздействия на пенообразование.

Для преодоления указанных недостатков известных антифризов на водной основе предлагаются следующее – варьируя качественный и количественный состав

многокомпонентных растворов, получить низкозамерзающие пенообразующие растворы с требуемыми эксплуатационными свойствами.

Экспериментальная часть

Выбор компонентов растворов определялся следующими параметрами: стоимость, устойчивость при хранении, температура замерзания эвтектического раствора, концентрация эвтектического раствора, токсичность. В результате предварительного анализа были выбраны следующие компоненты для дальнейших исследований: этиленгликоль, хлорид кальция, хлорид магния, ацетат калия. Свойства эвтектических водных растворов компонентов приведены в таблицах 1 и 2 [3].

Таблица 1

Температуры замерзания эвтектических водных растворов компонентов

Конц., % (вес)	температура замерзания, °С			
	этиленгликоль $C_2H_4(OH)_2$	хлорид кальция $CaCl_2$	хлорид магния $MgCl_2$	ацетат калия CH_3COOK
21			-34	
30		-51		
50				-60
66	-67			

Таблица 2

Плотность эвтектических водных растворов компонентов

Конц., % (вес)	плотность, г/см^3			
	этиленгликоль $C_2H_4(OH)_2$	хлорид кальция $CaCl_2$	хлорид магния $MgCl_2$	ацетат калия CH_3COOK
21			1,19	
30		1,28		
50				1,25
66	1,09			

В качестве пенообразующего компонента был выбран концентрат фторсинтетического плёнкообразующего пенообразователя ПО 3ТФ (1 %).

Концентрация пенообразователя в исследуемых растворах была выбрана на основании данных, приведенных в работе [4]. В указанной работе, в частности, сделан вывод, что коэффициент растекания водно-солевого раствора фторсинтетического плёнкообразующего пенообразователя по поверхности гептана приобретает положительные значения для растворов с концентрацией 1 вес. % пенообразователя и выше. При таком коэффициенте растекания происходит самопроизвольное растекание водного раствора по поверхности гептана, что является обязательным условием эффективного тушения горючих органических жидкостей.

Для дальнейших исследований применялся раствор пенообразователя – 3 вес. % с добавками антифризов.

С целью получения максимально морозостойких растворов, концентрации солей выбирались вблизи их эвтектик в водных растворах.

Для сравнения был использован рабочий раствор пенообразователя ПО 3ТФ (1 %) в воде.

В таблице 3 приведены концентрации и плотности приготовленных растворов.

Таблица 3

Концентрации и плотности приготовленных растворов

Конц., % (вес)	$C_2H_4(OH)_2$	$CaCl_2$	CH_3COOK	$MgCl_2$	ПО 3ТФ (1 %)	плотность, г/ см3
р-р. 0	–	–	–	–	1	0,99
р-р. 1	–	30	–	–	3	1,26
р-р. 2	12	30	–	–	3	1,23
р-р. 3	–	–	50	–	3	1,24
р-р. 4	12	–	50	–	3	1,22
р-р. 5	–	–	–	21	3	1,16
р-р. 6	12	–	–	21	3	1,15

Сущность исследований заключается в приготовлении многокомпонентных растворов различных составов и их испытаниях на кратность и устойчивость получаемой пены в процессе ускоренного старения растворов. Также проводились испытания по коррозионной активности полученных растворов.

Процесс ускоренного старения растворов проводился при одновременном воздействии на них следующих факторов: повышенная температура, соответствующая предельной температуре эксплуатации – +50 ºС; насыщение растворов кислородом воздуха при их интенсивном перемешивании.

Определение кратности и устойчивости получаемой из растворов пены методом интенсивного перемешивания проводилось в соответствии с методикой, приведенной в нормативном документе РД 34.49.502–96 [5].

Определение плотности проводилось пикнометрическим методом. Результаты по определению плотности, кратности и устойчивости усреднялись, по крайней мере, из трех измерений.

Все испытания, кроме отдельно указанных, проводились при температуре 20 +/-2 ºС. Отдельные испытания проводились в условиях отрицательных температур.

Испытания на коррозионную активность растворов проводились в процессе длительной выдержки в исследуемых растворах пластин нержавеющей стали – 12Х18Н10Т при повышенной температуре – +50 ºС и интенсивной аэрации растворов атмосферным воздухом. Испытания проводились в соответствии с методикой определения коррозионной активности, приведенной в ГОСТ 28084–89 [6]. Продолжительность испытаний – 90 суток.

Ниже приведены основные характеристики измерительного оборудования:

1) мерный цилиндр. Диапазон измерения от 0 до 10 мл. Погрешность измерения ≤ 0,1 мл;

2) мерный цилиндр. Диапазон измерения от 0 до 500 мл. Погрешность измерения ≤ 2,5 мл;

3) мерная емкость электрического миксера для получения пены. Диапазон измерения от 50 до 1500 мл. Погрешность измерения ≤ ±5 мл;

4) весы ВК-3000. Диапазон измерения от 0 до 5 кг. Погрешность измерения ≤ 0,1 г;

5) секундомер электронный. Диапазон измерения от 0 до 24 ч. Погрешность измерения ≤ 0,1 с;

6) термометр электронный. Диапазон измерения от -50 до +50 ºС. Погрешность измерения ≤ 1 ºС.

Результаты

На рисунке 1 для исследуемых растворов приведены зависимости кратности пены от времени выдержки.

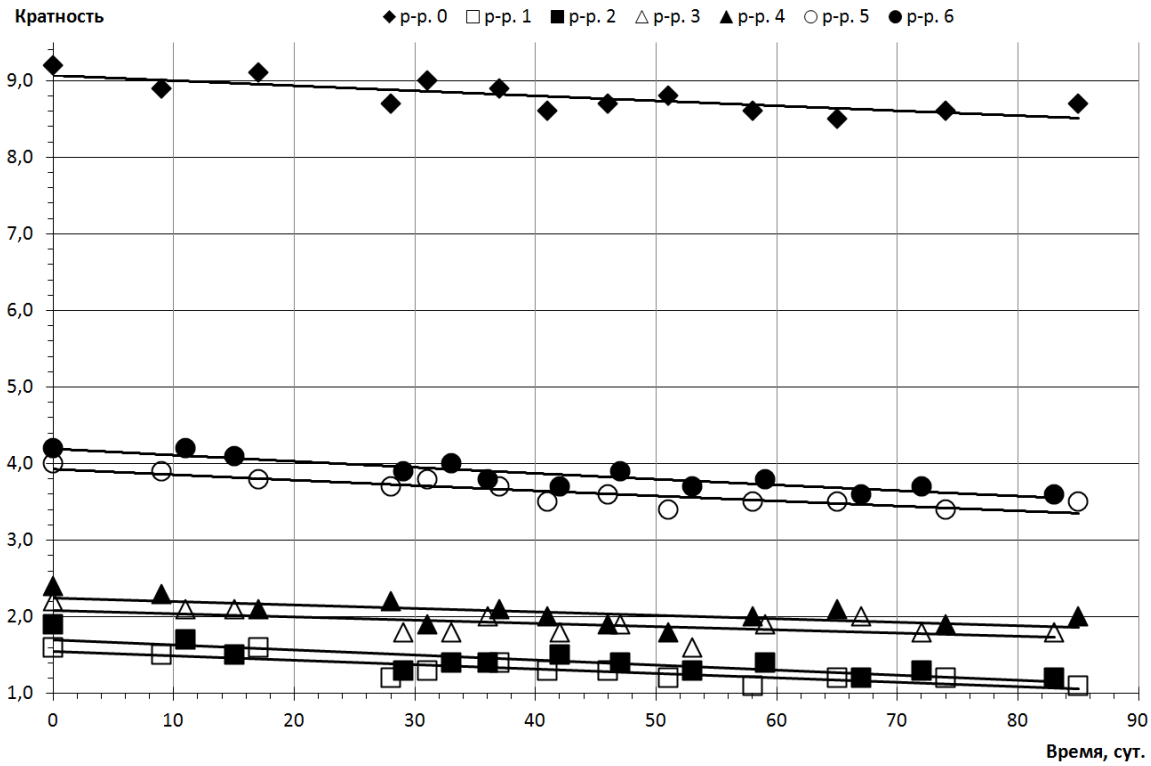


Рисунок 1. Зависимости кратности пены от времени выдержки ля исследуемых растворов

На рисунке 2 для исследуемых растворов приведены зависимости устойчивости пены от времени выдержки.

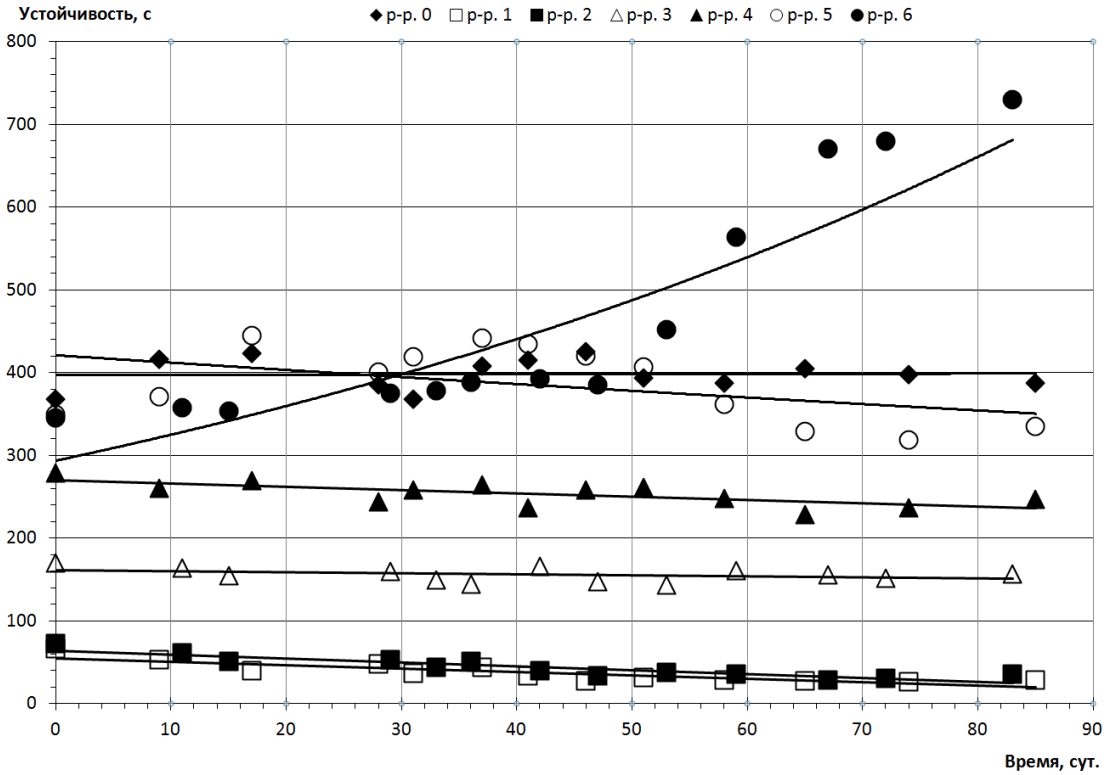


Рисунок 2. Зависимости устойчивости пены от времени выдержки для исследуемых растворов

В таблице 4 приведена коррозионная активность исследуемых растворов.

Таблица 4
Коррозионная активность растворов

	р-р. 0	р-р. 1	р-р. 2	р-р. 3	р-р. 4	р-р. 5	р-р. 6
корр. активн. г/м^2·сут.	0	0,536	0,418	0	0	0,228	0,080

В таблице 5 приведены результаты измерения кратности и устойчивости растворов при температуре -39 ºС.

Таблица 5
Кратность и устойчивость растворов при температуре -39 ºС

	р-р. 3	р-р. 4	р-р. 5	р-р. 6
кратность	1,4	1,5	1,7	1,9
устойчивость, с	553	675	722	898

Выводы

Из полученных данных можно сделать следующие выводы.

Солевые растворы пенообразователя обладают значительно меньшими показателями кратности и устойчивости пены, чем чистый раствор пенообразователя. Для компенсации этого эффекта требуется вводить большее количество пенообразователя в солевые растворы.

Растворы на основе хлорида кальция не могут быть использованы для приготовления низкозамерзающих рабочих растворов пенообразователей, т. к. кратность и устойчивость получаемой пены крайне низки, при этом коррозионная активность самая высокая из исследованных растворов. Добавка этиленгликоля лишь незначительно улучшает измеряемые показатели. Сделанные выводы согласуются со сведениями, приведенными в NFPA 10 – «Растворы хлорида кальция не должны использоваться в огнетушителях из нержавеющей стали», «Огнетушители с зарядом пленкообразующего пенообразователя не должны использоваться с антифризом (раствором хлорида кальция) из за разрушающего воздействия на пенообразователи» [7].

Растворы на основе ацетата калия могут быть использованы для приготовления низкозамерзающих рабочих растворов пенообразователей. Добавка этиленгликоля значительно уменьшает запах уксусной кислоты раствора и повышает кратность и устойчивость получаемой пены. Кратность и устойчивость пены в процессе ускоренного старения раствора с добавкой этиленгликоля стабилизировались на пригодных для пенного тушения значениях. Коррозионная активность растворов по отношению к стали 12Х18Н10Т не обнаружена.

Растворы на основе хлорида магния могут быть использованы для приготовления низкозамерзающих рабочих растворов пенообразователей. Добавка этиленгликоля значительно повышает кратность и устойчивость получаемой пены и понижает коррозионную активность. Кратность и устойчивость пены в процессе ускоренного старения раствора с добавкой этиленгликоля стабилизировались на пригодных для пенного тушения значениях, при этом устойчивость в процессе старения экстремально увеличилась (рис. 2, р-р. 6); указанное явление требует дополнительных исследований. Коррозионная активность растворов значительно ниже, чем у растворов на основе хлорида кальция, добавка этиленгликоля понижает ее еще в ~3 раза.

Испытания, проведенные при температуре -39 ºС, показали, что исследуемые растворы на основе ацетата калия и хлорида магния сохранили жидкое состояние и пенообразующие свойства.

Литература

1. Лорбербаум В. Г., Седина И. Н. Огнезащитный состав ОСБ-1 для борьбы с лесными пожарами // Лесные пожары и борьба с ними: сб. статей. – Л.: ЛенНИИЛХ. – 1986. – С. 95–102.
2. Кириллов В. В., Баранов И. В., Самолетова Е. В. Физико-химические свойства хладоносителей на основе водных растворов этиленгликоля в присутствии электролита // Холодильная техника. 2004. № 3. С. 19–27.
3. Волков А. И., Жарский И. М. Большой химический справочник. Мн., 2005. 608 с.
4. Власов Н. А., Еремина Т. Ю. Огнетушащая эффективность пены, полученной из концентрированных солевых растворов // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 12. С. 52–58.
5. РД 34.49.502–96 Инструкция по эксплуатации установок пожаротушения с применением воздушно-механической пены. М., 1996. 18 с.
6. ГОСТ 28084–89 Жидкости охлаждающие низкозамерзающие. Общие технические условия. М., 1989. 16 с.
7. NFPA 10, Standard for Portable Fire Extinguishers, 2002 edition. 116 p.

References

1. Lorberbaum V. G., Sedina I. N. Ognezashchitnyj sostav OSB-1 dlya bor'by s lesnymi pozharami // Lesnye pozhary i bor'ba s nimi: sb. statej. L.,1986. S. 95–102.
2. Kirillov V. V., Baranov I. V., Samoletova E. V. Fiziko-himicheskie svojstva hladonositelej na osnove vodnyh rastvorov etilenglikolya v prisutstvii elektrolita // Holodil'naya tekhnika. 2004. № 3. S. 19–27.
3. Volkov A. I., ZHarskij I. M. Bol'shoj himicheskij spravochnik. Mn., 2005. 608 s.
4. Vlasov N. A., Eremina T. YU. Ognetushashchaya effektivnost' peny, poluchennoj iz koncentrirovan-nyh solevyh rastvorov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26, № 12. S. 52–58.
5. RD 34.49.502–96 Instrukciya po ekspluatacii ustanovok pozharotusheniya s primeneniem vozdush-no-mekhanicheskoj peny. M., 1996. 18 s.
6. GOST 28084–89 ZHidkosti ohlazhdayushchie nizkozamerzayushchie. Obshchie tekhnicheskie usloviya. M., 1989. 16 s.
7. NFPA 10, Standard for Portable Fire Extinguishers, 2002 edition. 116 p.

УДК 614.84

mansurovtx@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ С ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМЕ СТАНДАРТНОГО ПОЖАРА

STUDY OF CABLE PRODUCTS WITH FIRE-PROTECTIVE COATINGS OF DIFFERENT CHEMICAL NATURE UNDER STANDARD FIRE TEMPERATURE

Мансуров Т. Х.,
Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Головина Е. В., кандидат технических наук,
Сафронова И. Г., кандидат педагогических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург

Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Safronova I. G.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В работе представлены результаты исследования фрагментов кабельного изделия марки АВВГнг (мс) 4х95 в вертикальном и горизонтальном положениях с нанесенными огнезащитными покрытиями различной химической природы при температурном режиме стандартного пожара.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что применение огнезащитных кабельных покрытий различной химической природы позволяет увеличить до двух раз время достижения критических температур кабеля при температурном режиме стандартного пожара вне зависимости от расположения образцов кабеля, а также добиться снижения тепловых эффектов на начальной стадии испытаний, обусловленных горением ПВХ-пластикатов. Выявленные в ходе экспериментов эффекты повышенного дымообразования и снижения температуры испытательной установки вследствие начала термодеструкции ПВХ-пластиката, разбавления и флегматизации горючей смеси пропан-бутана с воздухом галогенсодержащими соединениями наблюдались и при нанесении огнезащитного состава на кабель, но при более высоких температурах в испытательной установке. Определены задачи дальнейших исследований огнезащитных кабельных покрытий различной химической природы.

Ключевые слова: огнезащитные кабельные покрытия, кабельные изделия, ПВХ-пластикаты, пенококс, огнезащитная эффективность, натурные огневые испытания, испытательная установка, температурный режим стандартного пожара.

The paper presents the results of a study of fragments of a cable product of the AVVGng (ms) 4x95 brand in vertical and horizontal positions with applied flame retardant coatings of various chemical nature at the temperature regime of a standard fire.

According to the results of experimental studies, it was found that the use of fire-retardant cable coatings of various chemical natures makes it possible to increase the time to reach the critical temperatures of the cable at the temperature regime of a standard fire by up to two times, regardless of the location of the cable samples, and also to reduce the thermal effects at the initial stage of testing due to PVC combustion. The effects of increased smoke generation and a decrease in the temperature of the test setup revealed in the course of the experiments due to the onset of thermal degradation of PVC-compound, dilution and phlegmati-

zation of a combustible mixture of propane-butane with air with halogen-containing compounds were also observed when a fire retardant was applied to the cable, but at higher temperatures in the test setup. The tasks of further research of fire retardant cable coatings of various chemical nature are determined.

Keywords: fire retardant cable coatings, cable products, PVC compounds, foam, fire retardant efficiency, full-scale fire tests, test setup, standard fire temperature.

Введение

Применение огнезащитных покрытий в качестве средства повышения пожарной безопасности кабельных изделий позволяет снижать распространение пламени и уменьшать термическое воздействие на кабельные линии с увеличением времени работоспособности электрических цепей кабельного изделия в случае пожара.

Огнезащитный интумесцентный состав, нанесенный на поверхность кабельного изделия (КИ) и полимеризованный в соответствии с техническими условиями производителя, образует огнезащитное кабельное покрытие (ОКП), предохраняющее КИ от термического воздействия. Разнообразие представленных на рынке ОКП, в зависимости от решаемых задач по огнезащите, позволяет применять составы на водной основе, на основе низкомолекулярного каучука или органического растворителя. Применение ОКП на различных связующих расширяет возможности для их использования, но вместе с этим оставляет открытым вопрос огнезащитной эффективности данных покрытий при возникновении реального пожара. Определение огнезащитной эффективности ОКП в Российской Федерации осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 53311 [1], однако ряд вопросов, затронутых в работах [2, 3], актуализирует проведение исследований ОКП методом натурных огневых испытаний при температурном режиме стандартного пожара в соответствии с ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75) [4].

Результаты исследований и их обсуждение

Для этих целей была разработана и изготовлена испытательная установка проведения натурных огневых испытаний фрагментов кабельных изделий с ОКП [3]. Установка представляет собой металлический каркас, в котором размещена кладка из шамотного кирпича марки ШБ-5, скрепленная мастикой марки МТ-Р. Внутренние размеры установки 400х400х1050 мм. С целью расширения спектра экспериментов реализована возможность изменения положения испытательной установки в пространстве на угол от 0° до 90°. Создание температурного режима стандартного пожара осуществляется сжиганием топливных сжиженных углеводородных газов марки пропан-бутан автомобильный (ПБА) по ГОСТ Р 52087–2018 [5], подача которых реализуется через инжекционные газовые горелки в количестве двух штук (диаметр смесителя 40 мм, подающее газовое сопло диаметром 1,8 мм) [6]. Для измерения и регулирования температуры в соответствии с температурно-временной кривой стандартного пожара в объеме испытательной установки размещены термопары платинородий-платина (ТПП) S-типа (длина L=225 мм, корпус – корундовая трубка диаметром 8 мм) в количестве двух штук. Измерение температуры в объеме кабеля и на его поверхности производится термопарами хромель-алюмель (ТХА) типа К (длина L=500 мм, корпус из нержавеющей стали диаметром 3 мм) в количестве четырех штук. Все термопары подключены к восьмиканальному измерителю-регулятору ТРМ138 марки ОВЕН, который передает полученные данные на персональный компьютер в SCADA-систему SimpLight FREE 32 при помощи последовательной линии связи RS-485 (протокол Modbus-RTU). Передача данных в SCADA-систему необходима для их выведения на экране компьютера в режиме реального времени и последующей обработки. Экспериментальная установка для проведения натурных огневых испытаний кабельных изделий с нанесенным ОКП при

температурном режиме стандартного пожара, представлено на фото (рис. 1).

Рисунок 1. Испытательная установка для проведения натурных огневых испытаний кабельных изделий с нанесенным ОКП при температурном режиме стандартного пожара

Температурно-временная кривая стандартного режима пожара по [4], а также результаты серии испытаний с объемом выборки n=4 по выведению испытательной установки на режим стандартного пожара приведены в таблице 1.

Таблица 1
Температурные режимы стандартного пожара по [4] и испытательной установки по результатам серии испытаний

Температурный режим	Значение температуры на момент времени, °С									
	0 мин	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	30 мин
ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75)	20,0	349,2	444,5	502,3	543,9	576,4	678,4	738,6	781,4	841,8
Испытательная установка	20,5	304,7	485,5	533,8	556,4	564,2	676,8	742,3	788,8	843,0

Проведение статистической обработки экспериментальных данных позволило установить, что логарифмическая функция $y = 145{,}71\ln(x) + 347{,}06$ удовлетворительно описывает кривую температур-

ного режима внутри испытательной установки с коэффициентом достоверности аппроксимации R^2=0,994 (рисунок 2). Температурный режим пожара в испытательной установке не превышал допустимых отклонений от значений, указанных в [4].

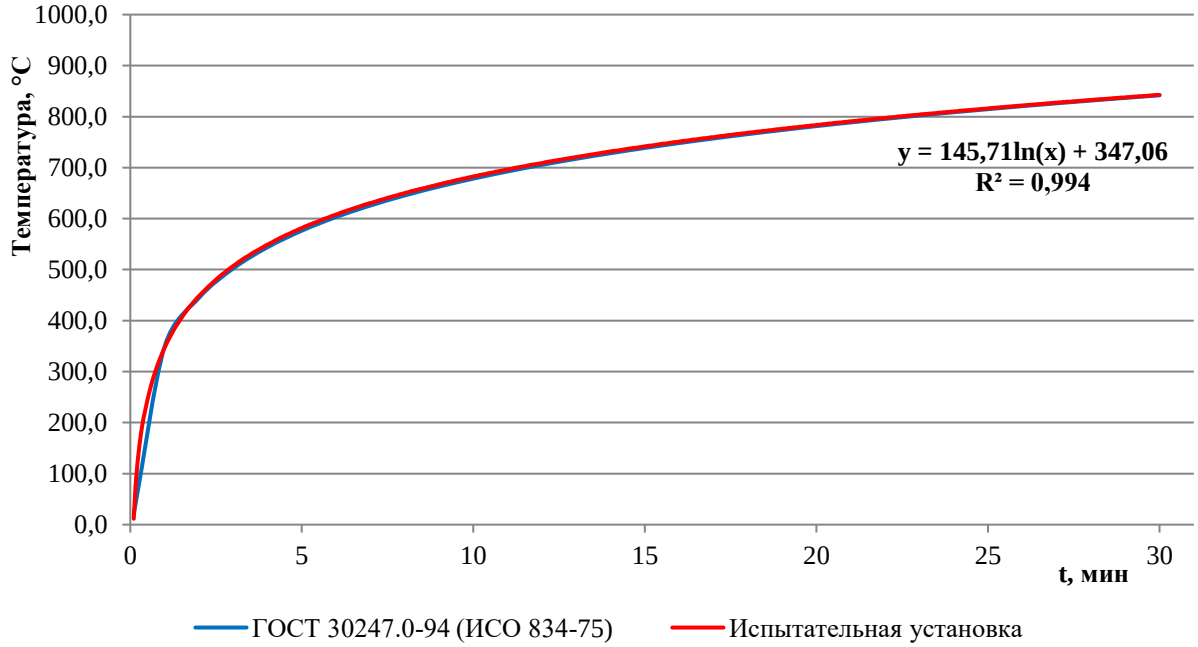


Рисунок 2. Температурно-временные кривые стандартного режима пожара по [4] и режима пожара, полученного в испытательной установке

В качестве кабельного изделия для нанесения ОКП был использован четырехжильный кабель марки АВВГнг(мс) 4х95 с алюминиевыми секторными многопроволочными жилами, с изоляцией и оболочкой из ПВХ-пластиката, не распространяющего горение, без брони и наружного покрова с сечением каждой жилы 95 кв. мм. Этот вид кабеля был выбран ввиду конструктивных особенностей, позволяющих размещать термопары без нарушения целостности элементов кабельного изделия.

Подготовка к нанесению ОКП на кабель, нанесение и достижение полной полимеризации состава осуществлялись в соответствии с техническими условиями завода-изготовителя. В качестве огнезащитных кабельных покрытий использовался один состав на водной основе и один состав на основе органического растворителя.

Для получения контрольных (отсчетных) значений температуры прогрева кабеля были проведены огневые испытания КИ без ОКП в различных пространственных положениях (вертикальное, горизонтальное), которые, в последующем, будут использоваться для оценки эффективности работы каждого огнезащитного кабельного покрытия. Под прогревом кабельного изделия понимается рост температуры в объеме КИ до значений близких к критическим, полученным исходя из анализа работы [7] и нормативных документов [8, 9]. Принято допущение, что термопара, размещенная в центре кабельного изделия, измеряет температуру всей площади сечения кабеля в месте размещения.

Авторами работы [7] эмпирическим путем было определено значение температуры разрушения ПВХ изоляции кабеля, равное 139 °С. В соответствии с п.1.4.16 действующей редакции Правил устройства электроустановок [8] температура нагрева жил кабеля с ПВХ изоляцией при коротком замыкании должна быть не выше 150 °С, что при срабатывании аппаратов защиты гарантирует сохранность электроизоляционных

свойств ПВХ-пластиката. В таблице 18 [9] указаны допустимые температуры нагрева токопроводящих жил кабеля. Так, в частности, предельная температура при коротком замыкании с сохранением электроизоляционных свойств ПВХ-пластиката составляет 160 °С [9]. По условию невозгорания при коротком замыкании, нагрев жилы до температуры 350 °С гарантированно не вызывает воспламенения ПВХ-пластиката, при этом кабель выходит из строя. В связи с этим в качестве критических значений температуры будут использоваться значения 150 °С [8] и 350 °С [9], наступление которых характеризует переход КИ в аварийный режим и выход из строя.

Размещение термопар на КИ представлено на рисунке 3. Размещение кабеля в испытательной установке представлено на рисунке 4.

Рисунок 3. Размещение термопар на кабельном изделии

Рисунок 4. Размещение кабельного изделия с термопарами в испытательной установке

Значения температур прогрева кабеля без ОКП по результатам испытаний в различных пространственных положениях представлены в таблице 2.

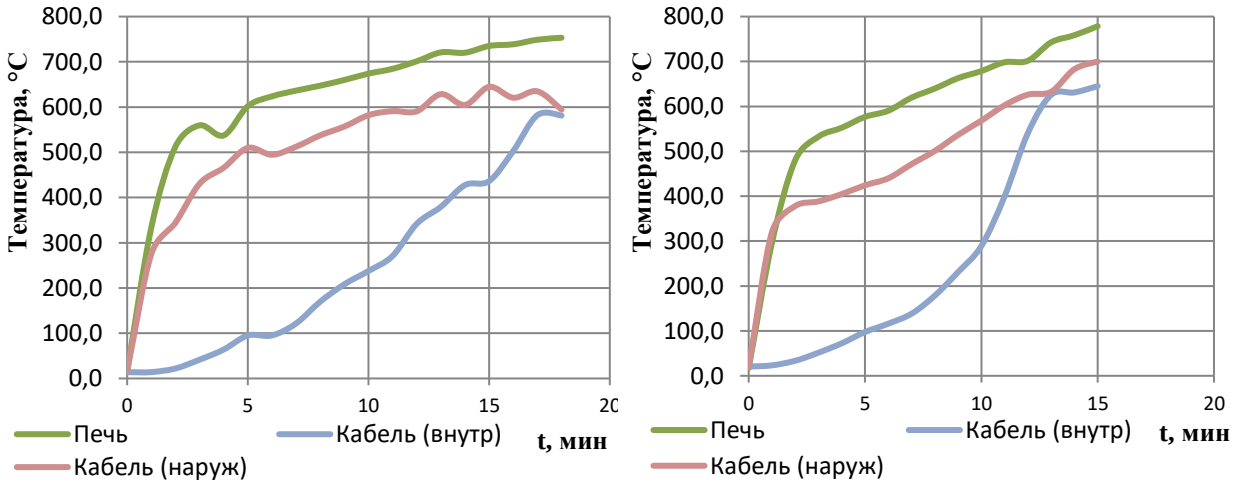
Таблица 2

Температуры прогрева кабеля без ОКП в различных пространственных положениях

Положение в пространстве	Место измерения	Значение температуры на момент времени, °С									
		0 мин	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин
Вертикальное	Печь	15,9	333,5	512,4	559,6	537,3	601,8	673,9	735,1	-	-
	Кабель (внутр.)	13,9	14,1	22,1	41,5	63,9	95,0	237,6	436,3	-	-
	Кабель (наруж.)	17,2	275,1	344,2	430,5	465,8	509,8	582,0	644,6	-	-
Горизонтальное	Печь	17,3	296,5	480,2	532,6	552,5	576,7	678,7	778,5	-	-
	Кабель (внутр.)	20,5	23,3	33,5	51,5	72,4	97,5	289,0	645,0	-	-
	Кабель (наруж.)	19,8	320,0	378,1	388,4	404,7	424,3	568,3	699,9	-	-

Примечание: печь – среднее значение показаний двух термопар, расположенных внутри испытательной установки; кабель (внутр.) – среднее значение показаний двух термопар, расположенных внутри кабельного изделия в центре между жилами на одинаковом расстоянии от каждого из концов фрагмента; кабель (наруж.) – среднее значение показаний двух термопар, расположенных снаружи кабельного изделия на одинаковом расстоянии от каждого из концов фрагмента.

Температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия без ОКП в различных пространственных положениях представлены на рисунке 4.



а *б*

Рисунок 4. Температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия без ОКП при проведении огневых испытаний в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положении

По результатам огневых испытаний кабеля без ОКП и изучении температурно-временных кривых было установлено, что прогрев КИ до значений близких к 100 °С происходит на пятой минуте испытаний, 150 °С – восьмая минута, 200 °С на 9 минуте испытаний, 350 °С – 11–13 минута, а дальнейшее увеличение температуры внутри кабеля носит нарастающий волнообразный характер, более выраженный при горизонтальном

расположении КИ в пространстве. Увеличение скорости прогрева КИ при горизонтальном расположении вызвано провисанием кабеля и появлением разрывов оболочки из ПВХ-пластиката.

Также отмечалось дополнительное повышение температуры в испытательной установке в течение первых трех минут испытаний за счет выделения тепла при горении ПВХ оболочки, отсутствующее при испытаниях кабельных изделий с нанесенными ОКП. При проведении экспериментов было отмечено различие температур в испытательной установке и на поверхности КИ в 100–150 °С, что можно объяснить образованием на поверхности оболочки КИ пенококса ПВХ-пластиката, который частично или полностью покрывает термопары, снижая термическое воздействие на них.

Установлено, что при достижении значений температуры на поверхности КИ 500-550 °С появляется повышенное дымообразование, которое при неизменных параметрах работы установки приводит к снижению температуры в печи, предположительно из-за образования большого количества негорючих газов, снижающих концентрацию кислорода за счёт эффекта разбавления и флегматизирующих горение. При испытаниях кабеля с нанесённым ОКП, эффект повышенного дымообразования и «остывания» смещался в область более высоких температур в испытательной установке, что можно интерпретировать огнезащитным действием покрытия до момента начала выгорания пенококсового слоя.

На рисунке 5 представлены фрагменты кабельного изделия без ОКП после проведения огневых испытаний в вертикальном (рисунок 5а) и горизонтальном (рисунок 5б) положениях.

а *б*

Рисунок 5. Фрагменты кабельного изделия без ОКП после проведения огневых испытаний в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положении

На фото отчетливо видно, что горение кабеля в вертикальном положении происходит значительно интенсивнее, чем в горизонтальном, по количеству образовавшейся сажи на стенках и обуглившемуся веществу, оставшемуся от оболочки и изоляции из ПВХ-пластиката.

В качестве ОКП № 1 применялся состав на основе интеркалированного графита [3]. Внешний вид ОКП № 1, размещение термопар и кабельного изделия с нанесенным ОКП № 1 в испытательной установке представлены на рисунке 6.

Рисунок 6. Фрагмент кабельного изделия с нанесенным ОКП № 1 и его размещение в испытательной установке

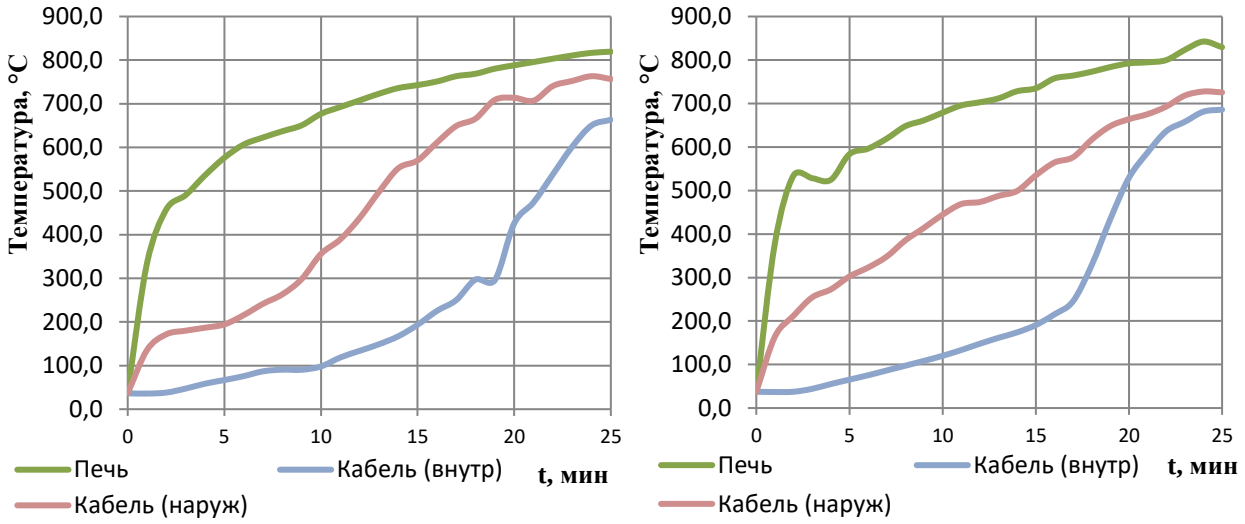
Значения температур прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 1 по результатам испытаний в различных пространственных положениях представлены в таблице 3.

Таблица 3
Температуры прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 1 в различных пространственных положениях

Положение в пространстве	Место измерения	Значение температуры на момент времени, °С									
		0 мин	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин
Вертикальное	Печь	40,0	334,7	458,1	490,8	536,1	576,3	676,9	742,9	788,1	819,4
	Кабель (внутр.)	35,3	34,9	38,4	49,4	62,4	72	100,5	189,9	309,5	618,1
	Кабель (наруж.)	35,7	112	165,4	183,2	188,4	201,2	441,7	608	693	722,7
Горизонтальное	Печь	36,8	379,3	534,8	528,3	524,6	583,5	679,1	735,0	792,4	829,5
	Кабель (внутр.)	37,5	36,9	37,5	44,2	55,2	65,4	120,2	190,8	529,3	686,0

	Кабель (наруж.)	37,6	164,3	212,3	254,5	272,8	302,5	444,6	534,7	664,0	725,6

Температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия с нанесенным ОКП № 1 в различных пространственных положениях представлены на рисунке 7.



а *б*

Рисунок 7. Температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия с нанесенным ОКП № 1 при проведении огневых испытаний в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положениях

Огневые испытания КИ с нанесенным ОКП № 1 и полученные температурно-временные кривые позволили определить, что прогрев КИ до значений около 100 °С происходит на одиннадцатой минуте испытаний, 150 °С – 13–14 минута, 200 °С – на шестнадцатой минуте испытаний, 350 °С – 19–20 минута, дальнейшее увеличение температуры внутри кабеля носит аналогичный характер роста температуры прогрева как и у КИ без ОКП, но смещенный в область более высоких температур в испытательной установке. При достижении значений температуры в испытательной установке 680-700 °С появляется повышенное дымообразование с аналогичными проявлениями, как и у КИ без ОКП. Эффект повышенного дымообразования ОКП № 1 примерно совпадает с температурой начала выгорания связующего, что можно считать температурой начала деградационных процессов в пенококсовом слое и прогревом КИ до значений температур, способствующих повышенному дымогазовыделению из ПВХ-пластиката с потерей его изоляционных свойств.

Интересным является тот факт, что температура на границе ОКП № 1 – оболочка КИ в первые 5 минут эксперимента составляет 200–300 °С по сравнению с температурой оболочки КИ без ОКП – 420–500 °С за это же время, т.е. ОКП № 1 обеспечивает снижение термического воздействия до 2,5 раз за счёт эффективной «работы» огнезащитного покрытия. Пенококс, образовавшийся на поверхности КИ в результате фазовых превращений, происходящих в огнезащитном покрытии под воздействием высоких температур, создает физический барьер между защищаемым КИ и средой печи.

Кривая температуры прогрева кабеля с ОКП № 1 вне зависимости от пространственного положения имеет более пологий вид в сравнении с КИ без ОКП и наглядно демонстрирует увеличение времени прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 1 в два раза по сравнению с КИ без

ОКП, что свидетельствует об эффективности применяемого ОКП № 1.

На рисунке 8 представлены фрагменты КИ с ОКП № 1 после проведения огневых испытаний.

а *б*

Рисунок 8. Фрагменты кабельного изделия с нанесенным ОКП № 1 после проведения огневых испытаний в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положениях

В качестве ОКП № 2 применялась огнезащитная композиция на водной основе [3]. Внешний вид ОКП № 2, размещение термопар и кабельного изделия с нанесенным ОКП № 2 в испытательной установке представлены на рисунке 9.

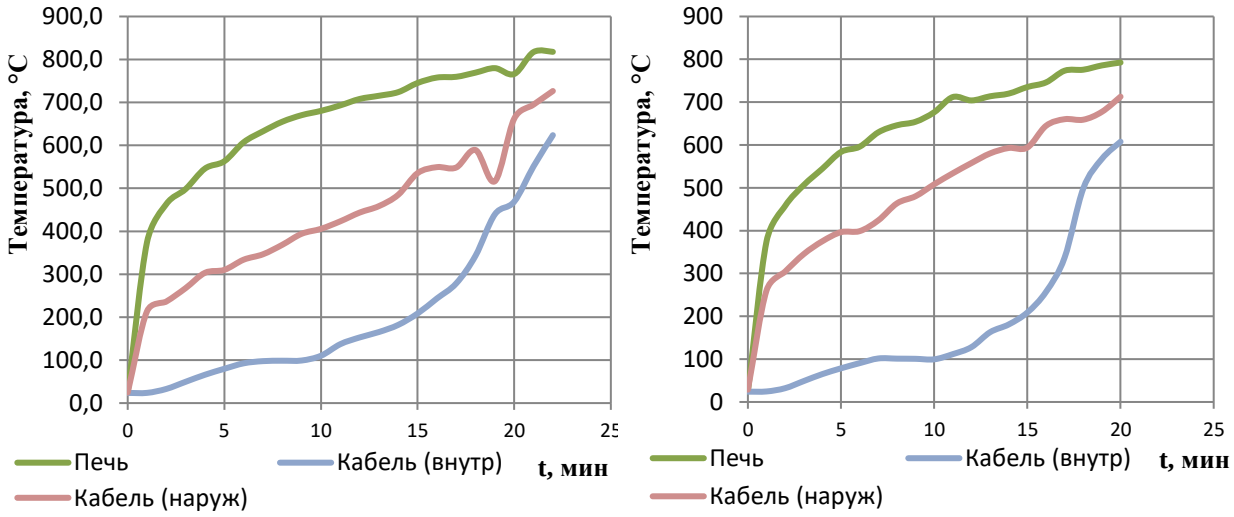
Рисунок 9. Фрагмент кабельного изделия с нанесенным ОКП № 2 и его размещение в испытательной установке

Значения температур прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 2 по результатам испытаний в различных пространственных положениях представлены в таблице 4.

Таблица 4
Температуры прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 2 в различных пространственных положениях

Положение в пространстве	Место измерения	Значение температуры на момент времени, °С									
		0 мин	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин
Вертикальное	Печь	24,4	374,6	463,4	498,4	546,1	563,0	680,3	745,3	766,2	-
	Кабель (внутр.)	23,7	23,8	33,0	49,7	66,0	79,9	110,3	208,6	469,0	-
	Кабель (наруж.)	24,6	213,7	236,5	267,8	303,4	310,2	405,7	535,4	662,3	-
Горизонтальное	Печь	24,7	374,8	457,8	506,5	544,9	583,8	676,5	735,4	792,6	-
	Кабель (внутр.)	24,1	24,6	32,2	48,9	65,2	78,6	99,6	209,0	607,7	-
	Кабель (наруж.)	28,8	260,4	304,6	345,4	375,4	396,6	508,3	594,0	712,8	-

На рисунке 10 представлены температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия с нанесенным ОКП № 2 в различных пространственных положениях.



а *б*

Рисунок 10. Температурно-временные кривые прогрева кабельного изделия с нанесенным ОКП № 2 при проведения огневых испытаний в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положении

Результаты огневых испытаний КИ с нанесенным ОКП № 2 позволили установить, что прогрев КИ до 100 °С происходит на седьмой минуте испытаний, 150 °С – 11–13 минута, до значений в 200°С происходит на пятнадцатой минуте испытаний, 350 °С – 18–19 минута эксперимента, а дальнейшее увеличение температуры внутри кабеля аналогично росту температуры прогрева КИ без ОКП, но смещенное в область более высоких температур в испытательной установке.

Появление эффекта повышенного дымообразования у ОКП № 2 наблюдалось при достижении значений температуры в испытательной установке 650–670 °С с аналогичными проявлениями, как и у КИ без ОКП. Наблюдение эффекта повышенного дымообразования у ОКП № 2 косвенно подтверждает сделанный ранее вывод о начале термоокислительной деструкции пенококсового слоя при достижении критических температур и позволяет рассмотреть данный параметр в качестве одного из составляющих при выработке критериев оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий. Стоит отметить, что время прогрева кабеля с нанесенным ОКП № 2 увеличилось практически вдвое по сравнению с КИ без ОКП и незначительно уступает времени защитного действия ОКП № 1.

Кривая прогрева КИ с ОКП № 2 идентична кривой прогрева КИ с ОКП № 1, однако, кривые температур на границе ОКП № 2 – оболочка КИ имеют некоторые различия. В частности кривые температур на границе ОКП № 2 – оболочка КИ в первые пять минут испытаний имеют значения 300-400°С, тогда как у ОКП №1 – оболочка КИ значения равны 200–300 °С, что можно интерпретировать как способность пенококсового слоя сопротивляться термическому воздействию и в дальнейшем использовать для выработки критериев оценки термостойкости ОКП.

Температурно-временные кривые прогрева КИ с ОКП № 2 позволяют наглядно убедиться в снижении термического воздействия на защищаемый кабель и увеличении времени прогрева КИ с ОКП № 2 по сравнению КИ без ОКП примерно в 2 раза, что говорит об эффективности применяемого ОКП № 2.

Выводы

По результатам проведенных экспериментов установлено, что применение огнезащитных кабельных покрытий различной химической природы позволяет увеличить до двух раз время достижения критических температур кабеля при температурном режиме стандартного пожара вне зависимости от расположения образцов кабеля, а также добиться снижения тепловых эффектов на начальной стадии испытаний, обусловленных горением ПВХ-пластикатов.

Процессы термодеструкции, протекающие в КИ с ОКП при увеличении температуры, аналогичны процессам, протекающим в КИ без ОКП, но их инициация и протекание смещены в область более высоких температур в испытательной установке, что служит доказательством защитного действия пенококсового слоя на поверхности КИ.

Проведенные исследования позволили определить время достижения критических температур кабельных изделий как покрытых огнезащитными составами, так и не покрытых, в условиях температурного режима стандартного пожара, также определить закономерности проявления различных эффектов при воздействии высоких температур на КИ с ОКП и сформировать ряд вопросов, требующих эмпирического подтверждения при проведении дальнейших исследований в этом направлении.

Авторы выражают благодарность ООО «Крепость-ЕК» (г. Екатеринбург) и Блиновскову Константину Викторовичу за помощь в подготовке к проведению экспериментов.

Литература

1. 1. ГОСТ Р 53311–2009 Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности // Справ.-правовая система «КонсультантПлюс».

2. Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В. и др. Применение огнезащитных интумесцентных составов для повышения пожарной безопасности кабельных изделий при одиночной и групповой прокладке // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). С. 65–73.

3. Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В. и др. Исследование огнезащитных кабельных покрытий методами термического анализа и огневых испытаний // Техносферная безопасность. 2020. № 1 (26).

С. 62–70.

4. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.

5. ГОСТ Р 52087–2018 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия.

6. Гусовский В. Л., Лифшиц А. Е., Тымчак В. М. Сожигательные устройства нагревательных и термических печей. Справочник. М., 1981. 272 с.

7. Shu, Z.-J., Wang, J., Zhou, L. Method to determine the equivalent thermal diffusion coefficient of the intumescent coating for cables // Journal of Coatings Technology & Research. 2014. Vol. 11 (5). P. 817–826.

8. Правила устройства электроустановок // Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск, 2015. 464 с.

9. ГОСТ Р 31996–2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия.

References

1. GOST R 53311–2009 Pokrytiya kabel'nye ognezashchitnye. Metody opredeleniya og-nezashchitnoj effektivnosti // Sprav.-pravovaya sistema «Konsul'tantPlyus».

2. Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V. et al. Primenenie ognezashchitnyh intumescentnyh sostavov dlya povysheniya pozharnoj bezopasnosti kabel'nyh izdelij pri odinochnoj i gruppovoj prokladke // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 2 (23). S. 65–73.

3. Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V. et al. Issledovanie ognezashchitnyh kabel'nyh pokrytij metodami termicheskogo analiza i ognevyh ispy-tanij // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 1 (26). S. 62–70.

4. GOST 30247.0–94 (ISO 834–75) Konstrukcii stroitel'nye. Metody ispytanij na ognestojkost'. Obshchie trebovaniya.

5. GOST R 52087–2018 Gazy uglevodorodnye szhizhennye toplivnye. Tekhnicheskie usloviya.

6. Gusovskij V. L., Lifshic A. E., Tymchak V. M. Sozhigatel'nye ustrojstva nagreva-tel'nyh i termicheskih pechej. Spravochnik. M., 1981. 272 s.

7. Shu, Z.-J., Wang, J., Zhou, L. Method to determine the equivalent thermal diffusion co-efficient of the intumescent coating for cables // Journal of Coatings Technology & Research. 2014. Vol. 11 (5). P. 817–826.

8. Pravila ustrojstva elektroustanovok // Vse dejstvuyushchie razdely PUE-6 i PUE-7. Novosibirsk, 2015, 464 s.

9. GOST R 31996–2012 Kabeli silovye s plastmassovoj izolyaciej na nominal'noe napryazhenie 0,66; 1 i 3 kV. Obshchie tekhnicheskie usloviya.

УДК 623.746.-519:681.51 *a_kalach@mail.ru*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FORECASTING AND PREVENTING EMERGENCIES IN THE VORONEZH REGION

Шимон Н. С., кандидат технических наук[1],
Калач А. В., доктор химических наук, профессор[2,3],
Куприенко П. С., доктор технических наук, доцент[2],
Архипов М. И., кандидат технических наук[2],
[1]КУВО «Гражданская оборона, защита населения и пожарная безопасность Воронежской области», Воронеж,
[2]Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
[3]Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург

Shimon N. S.,[1], Kalach A. V.,[2, 3] Kuprienko P. S.,[2] Arkhipov M.I.[2],
[1]State institution of Civil defense, public protection and fire safety of the Voronezh region, Voronezh,
[2]Voronezh State Technical University, Voronezh,
[3] The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В статье представлены данные по применению беспилотных воздушных судов при прогнозировании и предупреждении чрезвычайных ситуаций на территории Воронежской области. Представлены результаты анализа проблем, возникающих при использовании беспилотных воздушных судов в интересах МЧС России. Проанализированы тактико-технические характеристики беспилотных воздушных судов, состоящих на вооружении в подразделениях МЧС России.

Приведены примеры повышения информативности фотоснимков, полученных с использованием беспилотных воздушных судов. Представлены результаты реального мониторинга затопления местности на примере Воронежской области. Особое внимание авторами уделено перспективам использования и развития возможностей применения беспилотных воздушных судов при прогнозировании и предупреждении чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, прогноз, чрезвычайная ситуация, мониторинг.

The article presents data on the use of unmanned aerial vehicles in forecasting and preventing emergencies in the Voronezh region. The results of analysis of problems arising when using unmanned aircraft in the interests of EMERCOM of Russia presented. The tactical and technical characteristics of unmanned aircraft in service in the EMERCOM units of Russia analyzed.

Examples of increasing the information value of photographs obtained using unmanned aircraft are given. The results of real monitoring of flooding on the example of Voronezh region

presented. The authors paid special attention to the prospects of using and developing the possibilities of using unmanned aircraft in forecasting and preventing emergencies.
Keywords: unmanned aircraft, forecast, emergency, monitoring.

В настоящее время стоимость простых беспилотных воздушных судов (БВС) относительно невысока и постепенно снижается, поэтому их применение будет расти как во всем мире, так и в России. Многие вопросы безопасности и надежности, на которые традиционно тратят огромные денежные средства, могут эффективно решаться с использованием беспилотников. Аналитики прогнозируют, что ближайшие несколько лет глобальный мировой рынок технологий применения БВС, которые дополняют, а в ряде случаев уже успешно вытесняют существующие операционные процессы, составит 130 млрд $ [1–7].

По сообщениям мировых информационных агентств, в США и Евросоюзе принята программа развития применения БВС в экономике до 2025 года. В частности, она предполагает интенсификацию применения БВС в геолого-инженерной разведке, мониторинге протяженных объектов, доставке грузов на участки строительства [1].

Но, несмотря на десятилетнее развитие отрасли проектирования и производства БВС, значительных успехов в части соотношения «цена–качество (эффективность)» достигнуто не было. Основной недостаток всех БВС (в том числе и военных) – это крайне высокая стоимость эксплуатации и низкая степень автоматизации.

Относительно недорогие аппараты имеют ограниченные возможности применения и низкие тактико-технические характеристики (ТТХ). Увеличение количества функций у БВС значительно увеличивает и их стоимость. При этом остаются проблемы надежности и автономности аппаратов.

Несмотря на десятки разрабатываемых систем автоматического управления, БВС продолжают оставаться частично «ручными».

Наиболее развито производство и применение БВС в США, но и там образовалось два противоположных полюса мнений, один из которых считает применение БВС, в том числе и в военной сфере, малоэффективным и высокозатратным.

СМИ довольно часто сообщали об успехах применения БВС ВВС США во время вооруженных конфликтов в Ираке и Афганистане. Хотя после окончания этих конфликтов некоторые военные заявляли, что глобальной цели – превосходства над противником с помощью этих аппаратов так и не было достигнуто. При этом СМИ создавали неполную картину, замалчивая о провалах применения этой технологии.

Виной такому положению дел является целый комплекс проблем, с которыми сталкиваются разработчики и пользователи. Проблемы эти делятся на несколько типов.

Во-первых, основной недостаток всех БВС – это крайне высокая стоимость эксплуатации и низкая степень автоматизации. Несмотря на развитие компьютерных технологий и систем автоматического управления, использование БВС без оператора в настоящее время невозможно. Беспилотники нуждаются в человеческом контроле либо постоянно, либо частично, на наиболее сложных этапах полета.

Во-вторых, неполный контроль над аппаратом, поскольку канал связи со спутником или с оператором можно заглушить и перехватить управление.

В-третьих, стоимость: достаточно дорогие аппараты уязвимы для средств радиоэлектронной борьбы, и могут быть потеряны или перехвачены.

В-четвертых, нехватка квалифицированных операторов БВС: даже если оператор научился хорошо управлять летательным аппаратом, он должен еще разбираться в той сфере, в которой используется аппарат и понимать, что он делает и с какой целью.

На вооружении МЧС России беспилотные воздушные суда находятся относи-

тельно недолго. Первые беспилотные воздушные суда поступили в МЧС России в 2009 году [7].

Они применяются для контроля над пожароопасными районами, проведения поисковых работ и разведки. Также широко используются для управления в кризисных ситуациях и получения оперативной информации.

В 2017 году БВС применялись более 3500 раз при ликвидации последствий различных чрезвычайных ситуаций и пожаров.

В настоящее время в системе МЧС России на оснащении реагирующих подразделений находится более 1500 БВС, среди них есть образцы вертолётного и самолётного типа. В 2017–2019 годах была произведена массовая поставка аппаратов БВС типа DJI Fantom-3.

В таблице 1 представлены ТТХ основных БВС, используемых в МЧС России.

В Главном управлении МЧС России по Воронежской области имеется 8 БВС (Inspider-1, Phantom-3, 4), из которых 4 выработали свой ресурс.

Эксплуатацию аппаратов производят группы обученных людей, на постоянной основе занимающихся использованием беспилотной техники. В высших учебных заведениях министерства реализуются программы по обучению и повышению квалификации внешних пилотов БВС.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики БВС

БВС	Запуск	Масса, кг	Отношение полезной нагрузки к массе БВС	Радиус действия, км	Скорость, км/ч	Высота полета, м	Время полета
Орлан-10	С кат	18	0,28	120	90–150	5000	до 16 ч
Груша	С рук	2,4	0,36	10	80–120	100–500	75 мин.
Inspector-101	С рук, с кат	0,25	0,20	1,5	28–72	25–500	30–40 мин.
Inspector-201	С кат	1,2	0,125	5	55–120	100–500	30–60 мин.
Inspector-301	С кат	6	0,16	25	50–150	4000	45–120 мин.
ZALA-421-04M	С кат	5,5	0,18	25	65–100	3600	90 мин.
ZALA-421-21	С земли	1,5	0,20	2	До 40	1000	40 мин.
ZALA-421-06	С земли	12	0,16	15	50	2000	120 мин.
DJI Phantom	С земли	1,5		2	До 54	5000	До 25 мин.

Но эксплуатация в МЧС беспилотной техники сталкивается с рядом проблем. Остается актуальным вопрос слабого материально-технического обеспечения комплектующими, запасными аккумуляторами, выделением финансирования на обязательное страхование гражданской ответственности.

В настоящее время существует и проблема повышения эффективности использования БВС в сфере защиты населения и территорий от ЧС.

При применении БВС в реальных условиях появляются определенные трудности.

1. Организационные:

– наличие допуска у операторов БВС – оператору необходимо пройти обучение на заводе изготовителе, а затем в ведомственном вузе МЧС России;

– наличие страховки на БВС (около 5 тыс. руб. в год на единицу);

– согласование полета без режима ЧС начинается минимум за 3 суток – подготовить обоснование полета, провести согласование в учреждении по организации воздушного движения и получить разрешение на полет. Полеты без разрешения и согласования караются штрафом юрлица до 500 тыс. руб.

2. Низкие технические возможности БВС:

– относительно малый срок службы (Inspider-1 – 3 года, Phantom – 2 года) – половина БВС в Главном управлении МЧС России по Воронежской области уже выработала свой ресурс;

– малая дальность и длительность полета (до 2 км и до 25 мин), недостаточная для решения некоторых задач (например, для идентификации зон затопления). В реальных условиях с учетом износа аккумуляторных батарей длительность полета и дальность еще меньше;

– исходя из соотношения «полезная нагрузка/масса аппарата» (таблица 1), полезный груз основная часть БВС доставлять не может и в основном используется для фото- или видеофиксации, т. е. для получения информации. Исходя из данных таблицы, масса дополнительного груза у большинства БВС составляет около 1 кг

– влияние погодных условий – при снеге и дожде по рекомендациям завода изготовителя полеты не производятся

– высокое разрешение съемки (4 К), которое не всегда нужно, т. к. файл довольно много весит и при просмотре или извлечении информации компьютер может «тормозить» и зависать, что при реальной ЧС может привести к запоздалому принятию решений. Высокое разрешение при получении информации о некоторых явлениях (оползень, затопление и др.) не нужно;

– маленький и бликующий экран для наблюдения за обстановкой онлайн, не позволяющий специалисту проводить оценку обстановки сразу.

Весной 2018 года вследствие паводка подверглись затоплению большое количество населенных пунктов и территорий Воронежской области. При оценке масштабов паводка, анализе его причин были использованы беспилотники Главного управления МЧС России по Воронежской области.

Однако не всегда из полученного массива видео, снятого беспилотником, удавалось извлечь полезную информацию (рис. 1, 2).

Рисунок 1. Скриншот видео с БВС, не несущего полезной информации

Рисунок 2. Скриншот видео с БВС, по которому возможно идентифицировать зону затопления

Во многих случаях к увеличению негативных последствий паводка привели следующие причины:

1) застройка поймы рек. С помощью БВС были выявлены новые застройки в пойме реки Усманка, которые существенно увеличили коэффициент шероховатости поймы и уменьшили живое сечение потока реки. Выявлено существенное сужение поймы реки Усманка на территории Воронежской области (почти в 2 раза) путём создания протяжённой насыпи под застройку коттеджами. Всё это в свою очередь увеличило количество затопляемых участков и строений выше по течению реки;

2) возведение в поймах рек несанкционированных гидротехнических сооружений (дамб, насыпей и переходов).

Также с помощью БВС были выявлены возведённые дамбы у с. Бабяково, которые сужают пойму и изменяют направление потока. В отдельных местах эти дамбы были прорваны и объекты защиты затоплены.

Для выявления причин, усугубивших половодье в г. Калач, специалистами была обследована река Подгорная на предмет выявления заторосоздающих участков. По результатам обследования были выявлены некоторые проблемные участки и даны рекомендации администрации района по выполнению превентивных мероприятий. На рис. 3 фотография «карты намыва» в пойменной части реки Подгорная (Воронежская область), которая препятствует свободному сходу воды во время половодья. Как видно, очевидности никакой. Для убеждения оппонента, что это заторопасный участок, такие фото не подходят.

Рисунок 3. «Карта намыва» в пойменной части реки Подгорная (Воронежская область)

Кроме того, провести качественное обследование всей поймы реки не представилось возможным, т. к. были проблемы доступа к берегу или пойме из-за их сильного зарастания, а с берега не всегда можно увидеть проблему. В таком случае использование БВС существенно облегчило бы задачу.

Видеосъемка во время половодья в г. Калач проводилась, но извлечь из тех материалов пользу не всегда было возможно.

При обработке видеоматериалов с БВС возникли трудности с переносом информации на карты, т. к. во многих случаях не удалось идентифицировать видеоизображение с участком топографической карты даже с привлечением местных жителей. В частности, по с. Новая Усмань, которое является довольно протяженным и интенсивно застраивающим свободные земли, даже привлекая специалистов, проживающих в ней, полностью идентифицировать изображение с беспилотника с топографической картой не получилось.

Но в Воронежской области более 120 рек. И чтобы обследовать все, несущие угрозу затопления населенных пунктов, потребуется много времени и средств. Притом, что многие причины можно идентифицировать только с высоты. И здесь может очень помочь использование беспилотных летательных аппаратов.

Летом 2019 года для выявления заторопасных мест и проведения превентивных мероприятий по пропуску паводков был организован облет самолетом наиболее паводкоопасных рек Воронежской области. Данные материалы позволили выявить некоторые проблемные участки, но основная масса материалов нужной информации не дала из-за плохого качества видео- и фотосъемки (рис. 4). Даже двухместный легкомоторный самолет имеет инерционность полета и повторить все извилины реки не в состоянии. Осталась и проблема привязки изображений к местности.

Рисунок 4. Фото с самолета

Для такой цели подошел бы БВС самолетного типа с программным обеспечением, позволяющим выстроить его курс точно по руслу реки с автоматическим определением географического положения объектов и оптимальным возвратом на исходную точку.

Для проведения такой работы необходимо разработать соответствующее программное обеспечение, позволяющее при полете привязывать видеоизображение к местности, т. е. автоматически определять географическое положение объектов. В таком случае БВС будут способны обеспечить получение фото-, видеоинформации заданного качества в режиме реального масштаба времени, что позволит выполнить эффективный анализ данных, а также провести оценку рисков и спланировать меры по обеспечению требуемого уровня безопасности объектов защиты.

В дальнейшем разработчики БВС предполагают возможность обработки данных, собранных беспилотными летательными аппаратами в облачной среде, что позволит обеспечить распознавание и идентификацию объекта съемки в дополнение к наблюдению со стороны оператора в режиме реального масштаба времени.

Очевидно, что возможности БВС и достижения современной компьютерной техники позволяют использовать их для очень широкого круга задач, но для этого необходимы разработка новых программных продуктов и алгоритмов и технических средств, а также грамотное и эффективное использование ресурсов и возможностей БВС.

Просмотрев ряд видео, снятых с помощью БВС при различных ситуациях, можно сделать вывод, что часто фото- видеосъемку производят ради отчета и почерпнуть из нее полезную для специалиста информацию не всегда возможно.

Необходимо конкретно и четко ставить задачи оператору БВС для получения эффективных результатов. Оператор БВС должен понимать задачу, снять все с нужных ракурсов и не пропустить значимые моменты.

Таким образом, следует отметить тот факт, что дальнейшее развитие БВС идет от «универсальности» в сторону «специализации» беспилотных аппаратов и самих комплексов на «унифицированных» платформах управления, т. е комплексы, в перспективе, будут создаваться исключительно под целевые требования заказчика. При этом «унификация» платформы управления позволит формировать один комплекс с набором аппаратов разного класса и типа. Этот подход позволяет снизить стоимость как самого комплекса, так и удельные затраты в

период его эксплуатации за счет оптимизации выполнения полетов путем выбора типа аппаратов и полезной нагрузки под конкретные задачи.

Литература

1. Интернет-ресурс. URL: www.Pwc.ru [доступ 12.04.2020].
2. Интернет-ресурс. URL: http://36.mchs.gov.ru/ [доступ 12.04. 2020].
3. Интернет-ресурс. URL: https://voronezh.kvadromax.ru/catalog/dji-phantom [доступ 12.04. 2020].
4. Интернет-ресурс. URL: https://www.e-gizmos.ru/product/kvadrokopter-fx10-inspider [доступ 13.04. 2020].
5. Интернет-ресурс. URL: http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/33607416/ [доступ 13.04. 2020].
6. Интернет-ресурс. URL: http://zala.aero/category/applications/emergency/mchs [доступ 13.04. 2020].
7. Интернет-ресурс Исследования в области применения БВС в подразделениях МЧС. URL: https://russiandrone.ru/publications/k-voprosu-o-primenenii-bespilotnoy-aviatsii-v-mchs-aerogeo/.

References

1. Internet-resurs. URL: www.Pwc.ru [dostup 12.04.2020].
2. Internet-resurs. URL: http://36.mchs.gov.ru/ [dostup 12.04. 2020].
3. Internet-resurs. URL: https://voronezh.kvadromax.ru/catalog/dji-phantom [dostup 12.04. 2020].
4. Internet-resurs. URL: https://www.e-gizmos.ru/product/kvadrokopter-fx10-inspider [dostup 13.04. 2020].
5. Internet-resurs. URL: http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/33607416/ [dostup 13.04. 2020].
6. Internet-resurs. URL: http://zala.aero/category/applications/emergency/mchs [dostup 13.04. 2020].
7. Internet-resurs. URL: https://russiandrone.ru/publications/k-voprosu-o-primenenii-bespilotnoy-aviatsii-v-mchs-aerogeo/.

УДК 614.842.65 *obsidian-pb@mail.ru*

УТОЧНЕНИЯ К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ВОДЫ К МЕСТУ ПОЖАРА МЕТОДОМ ПЕРЕКАЧКИ

CLARIFICATIONS TO THE METHOD FOR CALCULATING THE NUMBER OF FIRE UNITS NEEDED TO ORGANIZE WATER DELIVERY TO THE FIRE SITE BY PUMPING

Малютин О. С.,
Малый В. П., доктор технических наук, профессор,
Дупляков Г. С., Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, Железногорск

Malyutin O. S., Maliy V. P., Duplyakov G. S.,
Siberian Fire and Rescue Academy
EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk

В статье описывается уточненная методика расчета требуемого количества мобильных средств пожаротушения для организации доставки воды к месту пожара методом перекачки. Рассмотрена существующая методика, принятая к использованию в настоящий момент. На конкретном примере показаны ее недостатки при проведении расчетов. Описан путь устранения названых недостатков и предложены изменения в методику. Приведены результаты расчетов, показывающие корректность уточненной методики для равномерно пологих подъёмов (спусков) трассы перекачки.

Ключевые слова: пожарная охрана, тактика, управление пожарными подразделениями, водоснабжение на пожаре, мобильные средства пожаротушения, перекачка, насосно-рукавные системы.

The article describes a refined method for calculating the required number of mobile fire-fighting equipment for organizing water delivery to the fire site by pumping. The existing method accepted for use at the moment is considered. A specific example shows its disadvantages when performing calculations. The way to eliminate these shortcomings is described and changes to the methodology are proposed. The results of calculations showing the correctness of the updated method are presented.

Keywords: fire service, tactics, fire units management, water supply on fire, mobile fire units, pumping, pump-hose systems.

Введение

При тушении крупных пожаров задача обеспечения доставки к месту пожара воды в требуемом количестве является очень важной, так как от этого в конечном итоге зависит успех боевых действий и снижение материального ущерба, причиненного пожаром.

В рамках работы по развитию инструментальных средств автоматизированной информационно-графической системы ГраФиС-Тактик, предназначенной для компьютерного моделирования боевых действий по тушению пожаров, в ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России была рассмотрена стандартная методика расчета требуемого количества мобильных средств пожаротушения для организации доставки воды к месту пожара методом перекачки [1–3]. Было установлено, что эта методика не может быть

применена в условиях наличия на трассе перекачки перепада высот, так как получаемые с ее использованием значения в таких случаях не верны.

Была проведена работа по уточнению этой методики. Выработанные в результате этой работы предложения приведены ниже.

Недостатки существующей методики

В настоящее время для определения требуемого количества мобильных средств пожаротушения для организации доставки воды к месту пожара перекачкой применяется следующая методика [2].

1. Определяется N^p – общее требуемое количество напорных пожарных рукавов для прокладки магистральных рукавных линий от водоисточника до места пожара, с учетом неровности местности:

$$N^p = \frac{1{,}2 \cdot L}{20}, \quad (1)$$

где L – расстояние от водоисточника до места установки разветвления или приборов подачи огнетушащих веществ, м; 1,2 – коэффициент, учитывающий неровности местности; 20 – длина одного напорного пожарного рукава, м.

2. Определяется $N^p_{гол}$ – предельная длина рукавных линий (в рукавах) от головного мобильного средства пожаротушения до позиций ствольщиков или места установки рукавных разветвлений:

$$N^p_{гол} = \left(H_н - \left(H_р + Z_м + Z_{ств}\right)\right) / SQ^2, \quad (2)$$

где $H_н$ – напор, создаваемый насосом МСП, м; $Z_м$ – высота подъема (+) или спуска местности (–), м; $Z_{ств}$ – высота подъема (+) или спуска (–) пожарного ствола или другого прибора подачи огнетушащих веществ, м; $H_р$ – напор перед разветвлением, принимаемый на 10 м больше требуемого напора перед приборами подачи воды [2, стр.70], м; S – гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава в магистральной рукавной линии; Q – расход воды через сечение рукава магистральной рукавной линии, равный сумме расходов всех приборов подачи воды, л/с.

В случае, если от головного МСП вместо магистральной рукавной линии, ведущей к разветвлению, проложена рабочая рукавная линия, ведущая непосредственно к прибору подачи огнетушащих веществ, вместо напора перед разветвлением $H_р$ используется напор перед стволом $H_{ств}$.

3. Определяется $N^p_{ступ}$ – предельное расстояние между МСП, работающими в перекачку (длина ступени перекачки):

$$N^p_{ступ} = \frac{\left(H_н - (H_{вх} + Z_м)\right)}{SQ^2}, \quad (3)$$

где $H_{вх}$ – напор на конце магистральной рукавной линии ступени перекачки (в зависимости от выбранного способа перекачки принимается: 10 м при перекачке из насоса в насос и (3,5–4,0) *м* при перекачке в емкость МСП), м; $Z_м$ – высота подъема (+) или спуска местности (–) от водоёма до места пожара, м.

4. Определяется количество ступеней $N_{ступ}$ перекачки:

$$N_{ступ} = \frac{\left(N^p - N^p_{гол}\right)}{N^p_{ступ}}, \text{ шт.} \quad (4)$$

5. Определяется общее количество МСП $N_{МСП}$ для перекачки:

$$N_{МСП} = N_{ступ} + 1, \text{ шт.} \quad (5)$$

6. Наконец, определяется фактическое расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды $N^p_{гол\,Ф}$:

$$N^{p}_{гол\ Ф} = N^{p} - N_{ступ} \cdot N^{p}_{ступ}\text{, шт.} \quad (6)$$

Эта методика приведена в большинстве справочников РТП и учебных пособий по пожарной тактике и рассматривается сотрудниками пожарной охраны России как нечто само собой разумеющееся.

В [2] отмечено, что геодезический перепад $Z_м$ «учитывают при нахождении всех предельных расстояний, чем создаётся **определённый запас** напора на насосах МСП». Анализ показывает, что до перепадов $Z_м \leq 10\,м$ этот «определённый запас» оказывается технически и экономически оправданным (приемлемым). Но, как показывают расчеты, при бóльших перепадах высот между водоисточником и местом пожара ($Z_м > 10\,м$), «определённые запасы» оказываются слишком большими, что предопределяет необходимость разработать и применять более совершенную методику расчетов параметров перекачки.

Для того чтобы убедиться в этом, рассмотрим следующий пример.

Для организации бесперебойной доставки воды методом перекачки необходимо определить требуемое количество отделений на пожарных автоцистернах.

Требуемый расход воды – 14,8 л/с. Расстояние между открытым водоисточником и местом пожара – 1000 м. Перепад высот между водоисточником и местом пожара составляет +50 м.

Воспользуемся описанной выше «стандартной» методикой. В качестве расчетной схемы перекачки примем схему перекачки по одной рукавной линии **из насоса в насос**.

Магистральные рукавные линии предполагается прокладывать из рукавов диаметром 77 мм.

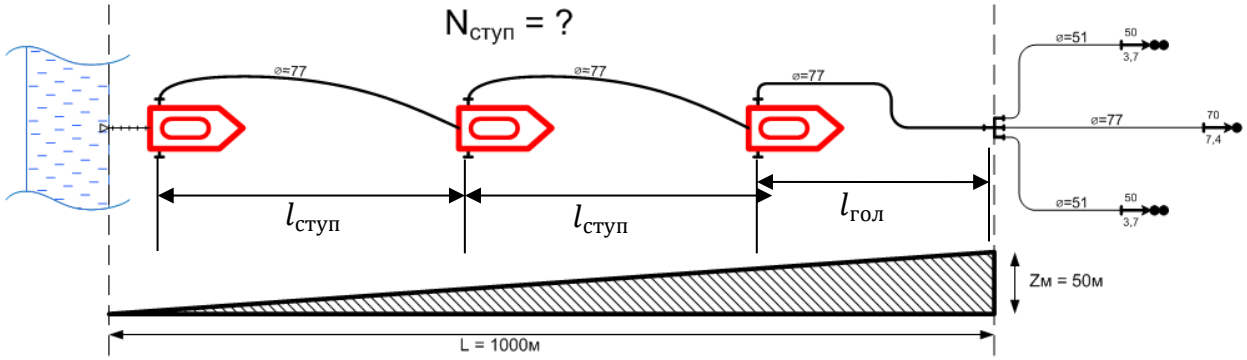


Рисунок 1. Расчетная схема организации перекачки из насоса в насос МСП

1. Определим N^{p} – общее требуемое количество напорных пожарных рукавов для прокладки магистральных линий от водоисточника до места пожара с учетом неровности местности (1):

$$N^{p} = \frac{1{,}2 \times 1000}{20} = 60\ рукавов.$$

2. Определим по «стандартной» [1, 2] методике $N^{p}_{гол}$ – предельную длину магистральной рукавной линии от головного мобильного средства пожаротушения до места установки рукавного разветвления (2).

$$N^{p}_{гол} = \frac{H_н - (H_р + Z_м + Z_{ств})}{S \times Q^2} \quad (1.2)$$

Предположим, что перепад высот $Z_м$ на участке между головным МСП и местом установки разветвления незначителен и пренебрежем им: $Z_м = 0$.

Также пренебрежем высотой подъема пожарных стволов $Z_{ств}$, так как в контексте рассматриваемой задачи его величина не имеет принципиального значения: $Z_{ств} = 0$.

Тогда предельная длина $N^{p}_{гол}$ рукавных линий (в рукавах) от головного мобильного средства пожаротушения до позиций

ствольщиков или места установки рукавных разветвлений:

$$N^{p}_{гол} = \frac{\left(H_н - \left(H_р + Z_м + Z_{ств}\right)\right)}{SQ^2} = \frac{\left(90 - (50 + 0 + 0)\right)}{0{,}015 \cdot 14{,}8^2} = 12\ шт.$$

где $N^{p}_{гол}$ – предельная длина рукавных линий от головного мобильного средства пожаротушения (далее – МСП) до позиций ствольщиков или места установки рукавных разветвлений в рукавах, шт.; $H_н$ – напор, создаваемый насосом МСП, например, марки ПН-40УВ, м (90 м (Дж/Н)); $Z_м$ – высота подъема (+) или спуска местности (–), м (50 м); $Z_{ств}$ – высота подъема (+) или спуска (–) пожарного ствола или другого прибора подачи огнетушащих веществ, м (0 м); $H_р$ – напор перед разветвлением, принимаемый на 10 м больше требуемого напора перед приборами подачи воды (например, 40 м), м (40+10, м); S – гидравлическое сопротивление одного пожарного прорезиненного рукава диаметром 77 мм в магистральной рукавной линии [2, табл. 4.2] (0,015); Q – расход воды через сечение рукава магистральной рукавной линии, равный сумме расходов всех приборов подачи воды, л/с (14,8 л/с).

3. Определим предельное расстояние между МСП, работающими в перекачку (3).

$$N^{p}_{ступ} = \frac{\left(H_н - (H_{вх} + Z_м)\right)}{SQ^2}.$$

Мы не знаем количества ступеней, а, следовательно, не можем и определить размер перепада высот, приходящийся на каждую из них. Поэтому согласно рекомендациям
[2, стр.70] принимаем значение перепада местности $Z_м$ равным общему перепаду по всей трассе перекачки: 50 м.

$$N^{p}_{ступ} = \frac{\left(90 - (10 + 50)\right)}{0{,}015 \cdot 14{,}8^2} = 9\ (шт.).$$

4. Определим количество ступеней перекачки (4):

$$N_{ступ} = \frac{(60 - 12)}{9} = 6\ (ступеней)$$

5. Определим общее количество МСП для перекачки (5):

$$N_{МСП} = 6 + 1 = 7\ (МСП).$$

6. Уточним фактическое расстояние от головного МСП до места установки разветвления:

$$N^{p}_{гол\ Ф} = 60 - 6 \cdot 9 = 6\ (рукавов) = 120\ м,$$

где $N^{p}_{гол\ Ф}$ – расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды в рукавах, шт.

Задача решена. Проверим полученные результаты. Мы знаем, что перепад высот на трассе перекачки составляет 50 м. Для организации перекачки требуется 6 ступеней и одно головное МСП. Поскольку мы условились, что перепад высот наблюдается только на участке ступеней перекачки, то можно определить размер перепада высот на участке каждой из 6 ступеней:

$$Z_{ступ} = \frac{50}{6} = 8{,}3\ (м).$$

По формуле 3 оценим фактическую максимальную длину магистральных рукавных линий между МСП, работающими в перекачку:

$$N^{p}_{ступ\ Ф} = \frac{\left(90 - (10 + 8{,}3)\right)}{0{,}015 \cdot 14{,}8^2} = 21\ (шт.).$$

Очевидно, что данное значение более чем в 2 раза отличается от полученного ранее, а значит, проведенный расчет не верен.

Причина его ошибочности кроется в том, что существующая методика неправильно учитывает в вычислениях перепады высот. Для того чтобы понять это, следует подробнее рассмотреть формулу 3.

Следуя ее логике, для каждой из ступеней мы учитываем всю потерю напора, связанную с подъемом воды на высоту перепада местности на всей дистанции перекачки, что категорически неправильно, так как приводит к тому, что одно и то же значение учитывается много раз – итоговый взятый в расчет перепад высот на дистанции перекачки многократно увеличивается, что приводит к появлению результатов, не соответствующих действительности. Мало того, так как заранее не известно, сколько потребуется ступеней перекачки, то неизвестно и насколько ошибочными будут значения.

Но и это не все – в случае, если перепад высот на дистанции перекачки превышает 80 метров, то расчет согласно принятой методике и вовсе становится невозможным, так как напор на насосе МСП в этом случае будет меньше потерь напора, связанных с преодолением гидравлического сопротивления рукавных линий и подъемом на неоправданно мультиплицированную высоту.

Необходимо заметить, что некоторые авторы, понимая суть проблемы, при проведении расчетов перекачки предлагают различные рекомендации:

«Если подъем или спуск наблюдается на участке головного мобильного средства пожаротушения, то при определении длины ступеней перекачки их не учитывают, а учитывают при определении расстояния до головного мобильного средства пожаротушения. Если подъем или спуск отмечается на отдельных ступенях или на трассе перекачки, тогда его учитывают при определении длины между ступенями или, исходя из конкретных условий, учитывают при нахождении всех предельных расстояний, чем создается определяемый запас напора на насосах МСП» [2]

В [3] рекомендуется разбивать расстояние от водоисточника до головного насоса на i участков длиной L_i и с одинаковым уклоном $У_i$.

Однако данные советы не представляются действенными в силу вышеназванных причин – до проведения расчета неизвестно, какова будет длина ступеней перекачки, в каком месте будут располагаться МСП, а значит и понять, в какой именно части ступени перекачки будут наблюдаться перепады высот, а в какой нет – невозможно.

Предложения по уточнению методики

В рассмотренном примере добиться точности решения можно методом последовательных приближений – итеративно решая задачу определения длины ступеней перекачки, каждый раз используя все более точные значения. Однако такой подход представляется неприменимым в практических расчетах.

Поэтому для уточнения методики предлагается пересмотреть подход к решению задачи определения требуемого количества ступеней перекачки.

Формулы (2) и (3), безусловно, представляются верными, однако их слабым местом является значение перепада высот $Z_м$, вычислить которое не представляется возможным.

Вместе с тем, очевидно, что насос МСП каждой из ступеней перекачки и головного автомобиля тратит некоторое количество напора на преодоление некоторой доли перепада высоты. При этом эта доля одинакова как для любой из ступеней, так и для всей трассы перекачки в целом.

Поскольку нам точно известен перепад высот между конечными точками трассы, а потери напора по длине рукавных линий для всей трассы мы можем вычислить исходя из ее длины, то мы можем определить и долю напора МСП, остающуюся после вычета потерь напора, затрачиваемых на «геодезический» подъем воды. Назовем это выражение «коэффициент снижения напора» (далее – $K_{СН}$). Равен он будет:

$$K_{СН} = h_{рук}/(h_{рук} + Z_м), \quad (7)$$

где K_{CH} – коэффициент снижения напора; $h_{рук}$ – потеря напора в напорных рукавах магистральной линии по всей трассе перекачки, м; $Z_м$ – высота подъема (+) или спуска местности (–), м.

Потери напора (турбулентный случай) в рукавных линиях определяются по следующей формуле [4]:

$$h_{рук} = N^p \cdot S \cdot Q^2, \quad (8)$$

где N^p – количество рукавов от головного мобильного средства пожаротушения до позиций ствольщиков или места установки рукавных разветвлений в рукавах, шт.; S – гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава в магистральной рукавной линии; Q – расход воды через сечение рукава магистральной рукавной линии, равный сумме расходов всех приборов подачи воды, л/с.

Таким образом, уточненная методика решения задачи расчета требуемого количества МСП для организации перекачки будет выглядеть следующим образом:

1. Определяется общее требуемое количество напорных пожарных рукавов для прокладки магистральных рукавных линий от водоисточника до места пожара, с учетом неровности местности:

$$N^p = \frac{1{,}2 \cdot L}{20}. \quad (9)$$

2. Определяется предельная длина рукавных линий от головного мобильного средства пожаротушения до позиций ствольщиков или места установки рукавных разветвлений с учетом K_{CH}:

$$N^p_{гол} = K_{CH} \cdot \frac{\left(H_н - \left(H_р + Z_{ств}\right)\right)}{SQ^2}. \quad (10)$$

Упростим это выражение, подставив в него последовательно формулы (7) и (8):

$$N^p_{гол} = \frac{h_{рук}}{h_{рук} + Z_м} \cdot \frac{\left(H_н - \left(H_р + Z_{ств}\right)\right)}{S \cdot Q^2};$$

$$N^p_{гол} = \frac{N^p \cdot S \cdot Q^2}{N^p \cdot S \cdot Q^2 + Z_м} \cdot \frac{\left(H_н - \left(H_р + Z_{ств}\right)\right)}{S \cdot Q^2};$$

$$N^р_{гол} = \frac{N^р \cdot \left(H_н - \left(H_р + Z_{ств}\right)\right)}{N^р \cdot S \cdot Q^2 + Z_м};$$

$$N^p_{гол} = \frac{H_н - \left(H_р + Z_{ств}\right)}{S \cdot Q^2 + \frac{Z_м}{N^p}}. \quad (11)$$

3. Определяется предельное расстояние между МСП, работающими в перекачку (длина ступени перекачки):

$$N^p_{ступ} = K_{CH} \cdot (H_н - H_{вх}) / SQ^2 \quad (12)$$

Упростим это выражение подставив в него последовательно формулы (7) и (8):

$$N^p_{ступ} = \frac{h_{рук}}{h_{рук} + Z_м} \cdot \frac{(H_н - H_{вх})}{SQ^2};$$

$$N_{ступ}^{р} = \frac{N^{р} \cdot S \cdot Q^{2}}{N^{р} \cdot S \cdot Q^{2} + Z_{м}} \cdot \frac{(H_{н} - H_{вх})}{SQ^{2}}$$

$$N_{ступ}^{р} = \frac{N^{р} \cdot (H_{н} - H_{вх})}{N^{р} \cdot S \cdot Q^{2} + Z_{м}}$$

$$N_{ступ}^{р} = \frac{H_{н} - H_{вх}}{S \cdot Q^{2} + \frac{Z_{м}}{N^{р}}} \qquad (13)$$

4. Определяется количество ступеней перекачки:

$$N_{ступ} = (N^{р} - N_{гол}^{р}) / N_{ступ}^{р} \quad (14)$$

где, $N_{ступ}$ – количество ступеней перекачки, шт.

5. Определяют общее количество МСП для перекачки:

$$N_{МСП} = N_{ступ} + 1. \quad (15)$$

6. Наконец, определяется фактическое расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды:

$$N_{гол\,Ф}^{р} = N^{р} - N_{ступ} \cdot N_{ступ}^{р}, \quad (16)$$

где $N_{гол\,Ф}^{р}$ – расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды в рукавах, шт.

Пример проведения расчетов с использованием уточненной методики

Проведем расчет рассмотренного ранее в статье примера с использованием уточненной методики.

1. Определим общее требуемое количество напорных пожарных рукавов для прокладки магистральных линий от водоисточника до места пожара с учетом неровности местности (9):

$$N^{р} = \frac{1{,}2 \cdot 1000}{20} = 60 \; рукавов.$$

2. Определим предельную длину рукавных линий от головного мобильного средства пожаротушения до позиций ствольщиков или места установки рукавных разветвлений (11):

$$N_{гол}^{р} = \frac{90 - (50 + 0)}{0{,}015 \cdot 14{,}8^{2} + \frac{50}{60}} = 9 \; рукавов.$$

3. Определим предельное расстояние между МСП, работающими в перекачку (13):

$$N_{ступ}^{р} = \frac{90 - 10}{0{,}015 \cdot 14{,}8^{2} + \frac{50}{60}} = 19 \; рукавов.$$

4. Определим количество ступеней перекачки (14):

$$N_{ступ} = \frac{(60 - 9)}{19} = 3 \; ступени.$$

5. Определим общее количество МСП для перекачки (15):

$$N_{МСП} = 3 + 1 = 4 \; МСП.$$

6. Наконец, определим фактическое расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды (16):

$$N_{\text{гол Ф}}^{\text{р}} = 60 - 3 \cdot 19 = 3 \text{ рукава} = 60 \text{ м},$$

где $N_{гол\,Ф}^{р}$ – расстояние от головного МСП до места установки разветвлений или прибора подачи воды в рукавах, шт.

Объединим результаты, полученные с использованием стандартной и уточненной методик, в таблицу 1.

Таблица 1

Сравнение результатов расчета примера с стандартной и уточненной методик

Показатель	Методика	
	Стандартная	Уточненная
$N^p_{гол}$	12	9
$N^p_{ступ}$	9	19
$N_{ступ}$	6	3
$N_{МСП}$	7	4

Из данных таблицы 1 видно, что длина рукавных линий, проложенных от головного МСП $N^p_{гол}$, во втором случае стала меньше, что связано с тем, что при расчете стандартной методикой перепад высот на данном участке трассы перекачки не учитывался вовсе. Длина рукавных линий, проложенных между МСП, работающими в перекачку $N^p_{ступ}$, напротив, увеличилась вдвое благодаря тому, что в уточненной методике для каждой ступени перекачки используется не все значение перепада высот, а лишь та его часть (усреднённая по всей длине трассы подачи воды), что приходится на ступень. В результате уменьшилось требуемое количество ступеней $N_{ступ}$ и МСП $N_{МСП}$.

Для проверки полученных результатов найдем часть перепада высоты, приходящуюся на каждую ступень:

$$Z_{ступ} = \frac{Z_м}{N_{ступ} + \frac{N^p_{гол}}{N^p_{ступ}}} = \frac{50}{3 + \frac{9}{19}} = 14{,}4\ (м). \qquad (17)$$

Далее определим максимальную длину рукавной линии между МСП, работающими в перекачку (3):

$$N^p_{ступ} = \big(90 - (10 + 14{,}4)\big) / \, 0{,}015 \cdot 14{,}8^2 = \\ = 19\ шт.$$

Результат, полученный с использованием формулы (3), оперирующей частью перепада высоты, приходящейся на одну ступень, составляет 19 рукавов. В таблицах 2–4 приведено сравнение результатов, полученных при проведении некоторых расчетов для различных исходных параметров доставки воды к месту пожара методом перекачки с использованием стандартной методики и уточненной.

Таблица 2

Результаты расчета параметров доставки воды к месту пожара с использованием перекачки на расстояние 500 м

Расстояние перекачки L, м	Расход Q, л/с	Перепад высот $Z_м$, м	Методика*	$N^p_{гол}$, шт.	$N^p_{ступ}$, шт.	$N_{ступ}$, шт.	$N_{МСП}$, шт.	$N^p_{гол\,Ф}$, шт.**
500	11,1	10	1	21	37	1	2	-7
			2	18	36	1	2	-6
500	11,1	25	1	21	29	1	2	1
			2	14	29	1	2	1
500	11,1	50	1	21	16	1	2	14
			2	11	22	1	2	8
500	11,1	60	1	21	10	1	2	20
			2	10	20	1	2	10
500	14,8	10	1	12	21	1	2	9
			2	11	22	1	2	8
500	14,8	25	1	12	16	2	3	-2
			2	9	19	2	3	-8

500	14,8	50	1	12	9	2	3	12
			2	8	16	2	3	-2
500	14,8	60	1	12	6	3	4	12
			2	7	15	2	3	0
500	22,2	10	1	5	9	3	4	3
			2	5	10	3	4	0
500	22,2	25	1	5	7	4	5	2
			2	4	9	3	4	3
500	22,2	50	1	5	4	7	8	2
			2	4	8	4	5	-2
500	22,2	60	1	5	2	13	14	4
			2	4	8	4	5	-2

Таблица 3

Результаты расчета параметров доставки воды к месту пожара с использованием перекачки на расстояние 1000м

Расстояние перекачки L, м	Расход Q, л/с	Перепад высот $Z_м$, м	Мето-дика*	$N^p_{гол}$, шт.	$N^p_{ступ}$, шт.	$N_{ступ}$, шт.	$N_{МСП}$, шт.	$N^p_{гол\,Ф}$, шт.**
1000	11,1	10	1	21	37	2	3	-14
			2	19	39	2	3	-18
1000	11,1	25	1	21	29	2	3	2
			2	17	35	2	3	-10
1000	11,1	50	1	21	16	3	4	12
			2	14	29	2	3	2
1000	11,1	60	1	21	10	4	5	20
			2	14	28	2	3	4
1000	14,8	10	1	12	21	3	4	-3
			2	11	23	3	4	-9
1000	14,8	25	1	12	16	3	4	12
			2	10	21	3	4	-3
1000	14,8	50	1	12	9	6	7	6
			2	9	19	3	4	3
1000	14,8	60	1	12	6	8	9	12
			2	9	18	3	4	6
1000	22,2	10	1	5	9	7	8	-3
			2	5	10	6	7	0
1000	22,2	25	1	5	7	8	9	4
			2	5	10	6	7	0
1000	22,2	50	1	5	4	14	15	4
			2	4	9	7	8	-3
1000	22,2	60	1	5	2	28	29	4
			2	4	9	7	8	-3

Таблица 4

Результаты расчета параметров доставки воды к месту пожара с использованием перекачки на расстояние 1500 м

Расстояние перекачки L, м	Расход Q, л/с	Перепад высот $Z_м$, м	Мето-дика*	$N^p_{гол}$, шт.	$N^p_{ступ}$, шт.	$N_{ступ}$, шт.	$N_{МСП}$, шт.	$N^p_{гол\,Ф}$, шт.**
1500	11,1	10	1	21	37	2	3	16
			2	20	40	2	3	10
1500	11,1	25	1	21	29	3	4	3
			2	18	37	2	3	16
1500	11,1	50	1	21	16	5	6	10
			2	16	33	3	4	-9
1500	11,1	60	1	21	10	7	8	20
			2	15	31	3	4	-3
1500	14,8	10	1	12	21	4	5	6
			2	11	23	4	5	-2
1500	14,8	25	1	12	16	5	6	10
			2	11	22	4	5	2
1500	14,8	50	1	12	9	9	10	9
			2	10	20	4	5	10
1500	14,8	60	1	12	6	13	14	12
			2	10	20	4	5	10
1500	22,2	10	1	5	9	10	11	0
			2	5	10	9	10	0
1500	22,2	25	1	5	7	13	14	-1
			2	5	10	9	10	0
1500	22,2	50	1	5	4	22	23	2
			2	5	10	9	10	0
1500	22,2	60	1	5	2	43	44	4
			2	4	9	10	11	0

** - 1 – стандартная методика, 2 – уточненная методика.*

*** - получение отрицательного результата говорит о том, что головной автомобиль может быть установлен непосредственно у места пожара. В таких случаях обычно прокладывается магистральная рукавная линия из одного напорного пожарного рукава* [2].

На рисунках 2–4 представлены графики, отражающие различие в результатах расчета требуемого количества МСП, приведенных в таблицах 2–4.

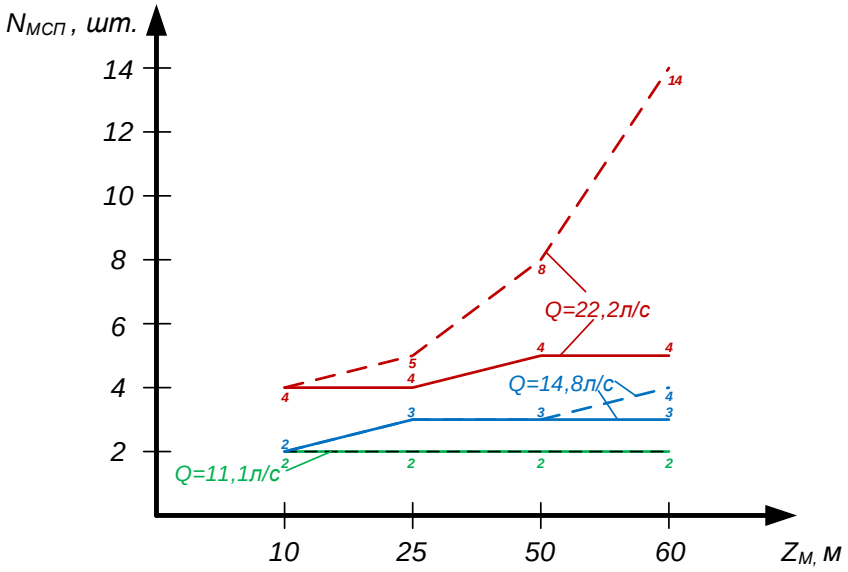


Рисунок 2. График изменения требуемого количества МСП ($N_{МСП}$) для орагнизации подачи воды перекачкой на расстояние 500 м в зависимости от перепада высот ($Z_м$) и расхода Q. Результаты, полученные с использованием стандартной методики, показаны пунктирной линией; результаты, полученные с использованием уточненной методики, – сплошной

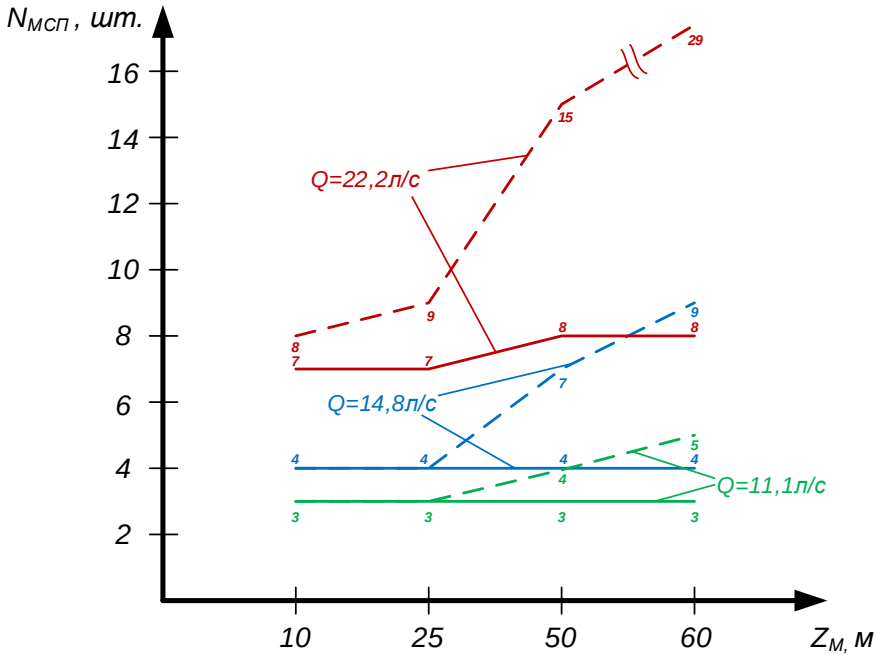


Рисунок 3. График изменения требуемого количества МСП ($N_{МСП}$) для орагнизации подачи воды перекачкой на расстояние 1000 м в зависимости от перепада высот ($Z_м$) и расхода Q. Результаты, полученные с использованием стандартной методики, показаны пунктирной линией; результаты, полученные с использованием уточненной методики, – сплошной

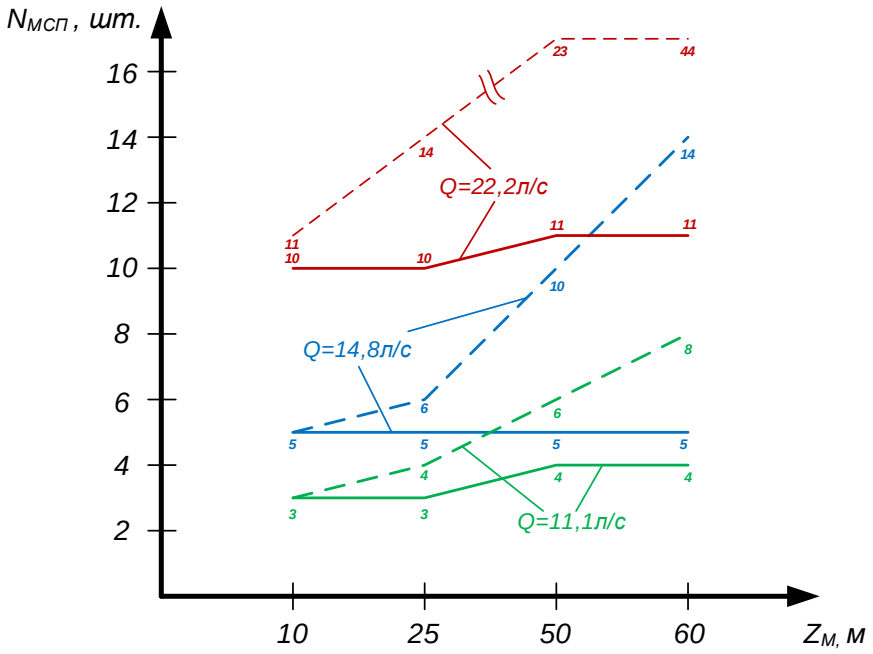


Рисунок 4. График изменения требуемого количества МСП ($N_{МСП}$) для орагнизации подачи воды перекачкой на расстояние 1500 м в зависимости от перепада высот ($Z_{М}$) и расхода Q. Результаты, полученные с использованием стандартной методики, показаны пунктирной линией, результаты, полученные с использованием уточненной методики, – сплошной

Проанализировав результаты расчетов $N_{МСП}$ из таблиц 2–4 и графики 2–4, можно заметить, что результаты, полученные при помощи уточненной методики, всегда равны или меньше результатов, полученных при помощи стандартной методики. При этом разница между этими результатами тем значительнее, чем больше:

– расстояние, на которое требуется подать воду,

– перепад высот между водоисточником и местом пожара и

– требуемый расход воды.

Так, например, в случае, если требуется обеспечить расход воды 22,2 л/с для тушения пожара на расстоянии 1500 м от водоисточника и поднять воду на 60 м, результат, полученный при помощи стандартной методики, составит 44 МСП, в то время как результат, полученный при помощи уточненной методики, составит всего 11 МСП, т.е. в 4 раза меньше.

Заключение

Полученные уточнения методики предлагается использовать в процессе подготовки руководящего состава пожарных подразделений и включить в новые издания справочной и учебной литературы по пожарной тактике.

Также уточненную методику, по мнению авторов, следует использовать в качестве основы для компьютерных систем автоматизации пожарно-тактических расчетов, в том числе в АИГС ГраФиС-Тактик [5].

Вместе с тем необходимо отметить, что уточненная методика подразумевает равномерность перепада высот по всей трассе перекачки. Следует провести дополнительные вычисления для случаев наличия разных уровней подъема или спуска местности на различных участках трассы перекачки.

Литература

1. Иванников В. П., Клюс П. П. Справочник руководителя тушения пожара. М., 1987.
2. Теребнев В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания). Екатеринбург, 2012. 460 с.
3. Подгрушный А. В. и пр. Методические указания к решению тактических задач по теме «Основы построения схем подачи огнетушащих средств к месту пожара». М., 2005.
4. Качалов А. А. и др. Противопожарное водоснабжение. М., 1985. 286 с.
5. Малютин О. С. Компьютерное моделирование сложных насосно-рукавных систем // Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций». 2018. С. 68–75.

References

1. Ivannikov V. P., Klyus P. P. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. M., 1987.
2. Terebnev V. V. Raschet parametrov razvitiya i tusheniya pozharov (Metodika. Primery. Zadaniya). Ekaterinburg, 2012. 460 s.
3. Podgrushnyj A. V. i pr. Metodicheskie ukazaniya k resheniyu takticheskih zadach po teme 'Osnovy postroeniya skhem podachi ognetushashchih sredstv k mestu pozhara. M., 2005.
4. Kachalov A. A. i dr. Protivopozharnoe vodosnabzhenie. M., 1985. 286 s.
5. Malyutin O. S. Kompyuternoe modelirovanie slozhnyh nasosno-rukavnyh sistem // Sbornik statej po materialam VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Monitoring, modelirovanie i prognozirovanie opasnyh prirodnyh yavlenij i chrezvychajnyh situacij». 2018. S. 68–75.

УДК 614.849 *alexkrec96@mail.ru*

АНАЛИЗ ДАННЫХ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ANALYSIS OF DATA ON THE DETECTION OF FOREST FIRES IN THE SVERDLOVSK REGION

Кректунов А. А., кандидат сельскохозяйственных наук,
Корнилов А. А., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург
Залесов С. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

Krektunov A. A., Kornilov A. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Zalesov S. V.,
Ural State Forestry University, Yekaterinburg

В работе представлены результаты анализа большого объема статистических данных о возникновении и обнаружении лесных пожаров на территории Свердловской области. Проанализирована эффективность различных способов обнаружения лесных пожаров.

Ключевые слова: лесной пожар, способы обнаружения лесных пожаров, площадь обнаружения лесного пожара, наземное патрулирование лесов, видеомониторинг, космический мониторинг.

The paper presents the results of analysis of a large volume of statistical data on the occurrence and detection of forest fires in the territory of the Sverdlovsk region. The effectiveness of various methods for detecting forest fires is analyzed.Keywords: forest fire, forest fire detection methods, forest fire detection area, ground forest patrol, video monitoring, space monitoring.

Keywords: forest fire, forest fire detection methods, forest fire detection area, ground forest patrol, video monitoring, space monitoring.

Необходимость защиты лесов от возникновения и распространения пожаров обусловлена не только реальной угрозой потери лучшей части лесных массивов и изменения эколого-ландшафтной обстановки. Лесные пожары также представляют угрозу для жизни людей. В аномальные по погодным условиям годы, от лесных пожаров выгорают целые населенные пункты, гибнут люди, проживающие в них. В этой связи, когда населенные пункты располагаются на значительном удалении от мест дислоцирования сил и средств, привлекаемых для тушения лесных пожаров, актуальной задачей является именно защита людей и самих населенных пунктов от возможного распространения лесных пожаров [1, 2]. При этом для организации эффективного реагирования большое значение имеет своевременность обнаружения возгораний на лесной площади.

Выделяется несколько способов обнаружения лесных пожаров, каждый из которых применим в той или иной ситуации к той или иной площади лесов.

В статье авторами рассмотрены и проанализированы все способы обнаружения лесных пожаров за период с 2014 по

2019 годы на примере Свердловской области. Общая площадь земель, на которых расположены леса Свердловской области, составляет 16 028,6 тыс. га, что составляет 82,2 % от площади области [3]. Количество лесных пожаров в Свердловской области варьируется в зависимости от года, но при этом остается на достаточно высоком уровне. В таблице 1 и на рисунке 1 представлены показатели горимости лесов Свердловской области за период с 2014 по 2019 годы по данным [4–9].

Таблица 1
Число лесных пожаров, возникших в лесах Свердловской области за период с 2014 по 2019 гг.

Год	Число лесных пожаров, шт.
2014	557
2015	274
2016	767
2017	397
2018	475
2019	258

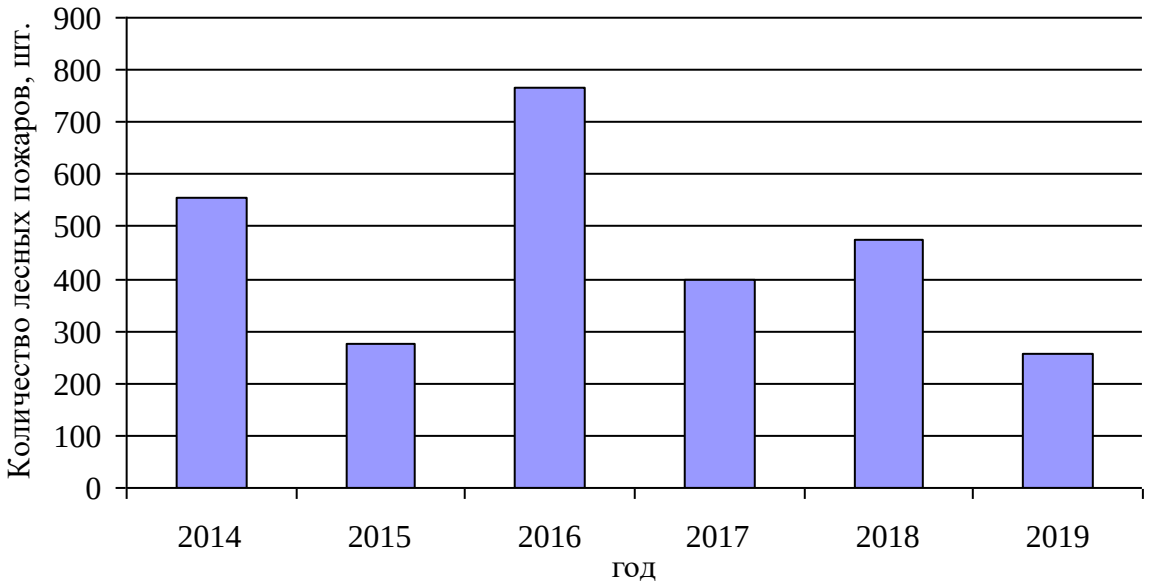


Рисунок 1. Количество лесных пожаров в Свердловской области за период с 2014 по 2019 гг.

Сведения о возникновении лесных пожаров поступают из различных источников, которые можно разделить на следующие группы:

– лесоавиационные работы (летчик-наблюдатель с воздушного судна);

– наземное патрулирование лесов (лесопожарные подразделения и работники лесного хозяйства);

– видеомониторинг (камеры, установленные на вышках, мачтах и других высотных сооружениях);

– сообщения от местного населения;

– наблюдение с пожарных наблюдательных пунктов (вышек, мачт, павильонов и других наблюдательных пунктов);

– данные космического мониторинга;

– сообщения от лесопользователей;

– применение беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА).

В части применения БЛА следует отметить, что на сегодняшний день их используют при наземном патрулировании, поэтому при проведении анализа следует учитывать указанную особенность и не оценивать эффективность применения БЛА отдельно от наземного патрулирования.

Для наглядности и более подробного освещения рассматриваемого вопроса в таблицах 2–7 приведена информация о распределении лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области за период с 2014 по 2019 годы.

Таблица 2

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2014 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего
Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	11	18	1	2	0	0	32
Наземное патрулирование лесов	107	81	13	15	0	1	217
Лесоавиационные работы	49	26	17	6	0	0	98
Лесопользователи	1	1	0	1	0	0	3
По информации от местного населения	109	63	11	10	0	1	194
По данным космических средств	1	3	4	4	1	0	13
Всего	278	192	46	38	1	2	557

Таблица 3

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2015 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего
Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	4	1	2	0	0	0	7
Наземное патрулирование лесов	43	28	7	3	0	2	83
Лесоавиационные работы	25	34	5	5	0	1	70
Лесопользователи	1	1	0	0	0	0	2
По информации от местного населения	57	27	8	3	0	1	96
По данным космических средств	2	2	1	0	1	1	7
Видеомониторинг (видеокамеры)	4	5	0	0	0	0	9
Всего	136	98	23	11	1	5	274

Таблица 4

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2016 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего
Наблюдение с пожарных	28	17	2	0	0	0	47

наблюдательных вышек							
Наземное патрулирование лесов	99	46	8	8	2	0	163
Лесоавиационные работы	80	44	8	6	1	0	139
Лесопользователи	2	1	0	1	0	0	4
По информации от местного населения	217	85	14	11	0	0	327
По данным космических средств	2	3	1	3	0	0	9
Беспилотные летательные аппараты	3	0	0	0	0	0	3
Видеомониторинг (видеокамеры)	37	32	4	2	0	0	75
Всего	468	228	37	31	3	0	767

Таблица 5

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2017 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего
Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	1	3	1	2	0	0	7
Наземное патрулирование лесов	50	53	14	15	2	1	135
Лесоавиационные работы	8	13	6	4	1	0	32
Лесопользователи	1	1	0	0	0	0	2
По информации от местного населения	57	46	28	18	2	3	154
По данным космических средств	0	6	4	9	2	1	22
Видеомониторинг (видеокамеры)	17	12	11	5	0	0	45
Всего	134	134	64	53	7	5	397

Таблица 6

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2018 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего
Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	2	1	0	1	0	0	4
Наземное патрулирование лесов	30	38	11	8	1	0	88
Лесоавиационные работы	58	27	5	2	0	0	92
По информации от местного населения	101	67	35	25	3	0	231
По данным космических средств	5	6	4	6	2	0	23
Видеомониторинг (видеокамеры)	17	10	2	4	3	1	37
Всего	213	149	57	46	9	1	475

Таблица 7

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения на территории Свердловской области в 2019 году

Способ обнаружения	Количество пожаров по площади обнаружения, га						
	До 1	1–5	5–10	10–25	25–50	Более 50	Всего

Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	2	3	0	0	0	0	5
Наземное патрулирование лесов	16	13	5	1	0	0	35
Лесоавиационные работы	7	11	2	0	0	0	20
По информации от местного населения	79	43	12	21	1	0	156
По данным космических средств	2	6	3	2	2	0	15
Видеомониторинг (видеокамеры)	13	8	4	1	0	0	26
Всего	119	85	26	25	3	0	258

Обобщим данные по способам обнаружения лесных пожаров на территории Свердловской области за период с 2014 по 2019 годы в таблице 8.

Таблица 8

Распределение лесных пожаров по способам обнаружения на территории Свердловской области за 2014–2019 годы

Способ обнаружения	Количество пожаров, шт.	Доля обнаруженных пожаров, %
Наблюдение с пожарных наблюдательных вышек	102	3,7
Наземное патрулирование лесов	721	26,4
Лесоавиационные работы	451	16,5
Лесопользователи	11	0,4
По информации от местного населения	1158	42,5
По данным космических средств	89	3,3
Видеомониторинг (видеокамеры)	192	7,0
Беспилотные летательные аппараты	3	0,1

Результатов анализа, приведенных в таблице 8, не достаточно для того, чтобы сделать вывод о приоритетном развитии средств и способов обнаружения лесных пожаров. Для успешной локализации и ликвидации пожара необходимо его обнаружение на наиболее ранней стадии. В таблице 9 и на рисунках 2 и 3 отобразим имеющиеся данные о средней площади пожаров, обнаруженных различными способами, используя более подробные сведения для 2016 и 2017 гг.

Таблица 9

Средняя площадь и доля обнаруженных различными способам и пожаров на территории Свердловской области за 2016, 2017 гг.

Способ обнаружения	2016 год		2017 год	
	доля обнаруженных пожаров	средняя площадь пожаров	доля обнаруженных пожаров	средняя площадь пожаров
лесоавиационные работы	18,1	2,17	8,1	4,72
наземное патрулирование	21,3	1,90	34,3	4,55
видеомониторинг	9,8	1,80	11,4	3,73
местное население	42,6	1,36	38,3	5,15
наблюдательные пункты	6,1	1,29	1,8	5,73

данные космического мониторинга	1,2	6,77	5,6	18,73
лесопользователи	0,5	3,65	0,5	1,75
беспилотные летательные аппараты	0,4	0,27	0	0

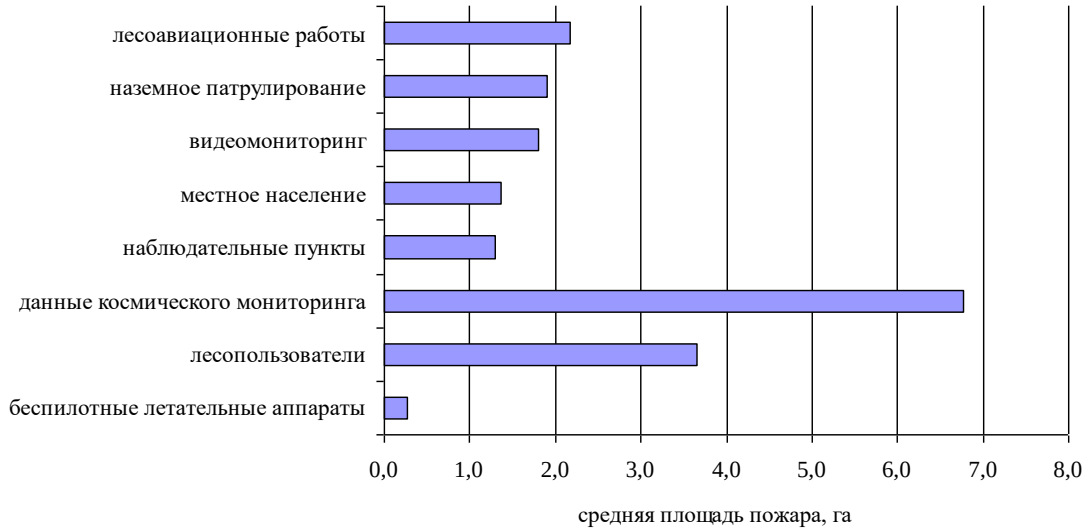


Рисунок 2. Средняя площадь лесных пожаров в зависимости от способа обнаружения по данным за 2016 г.

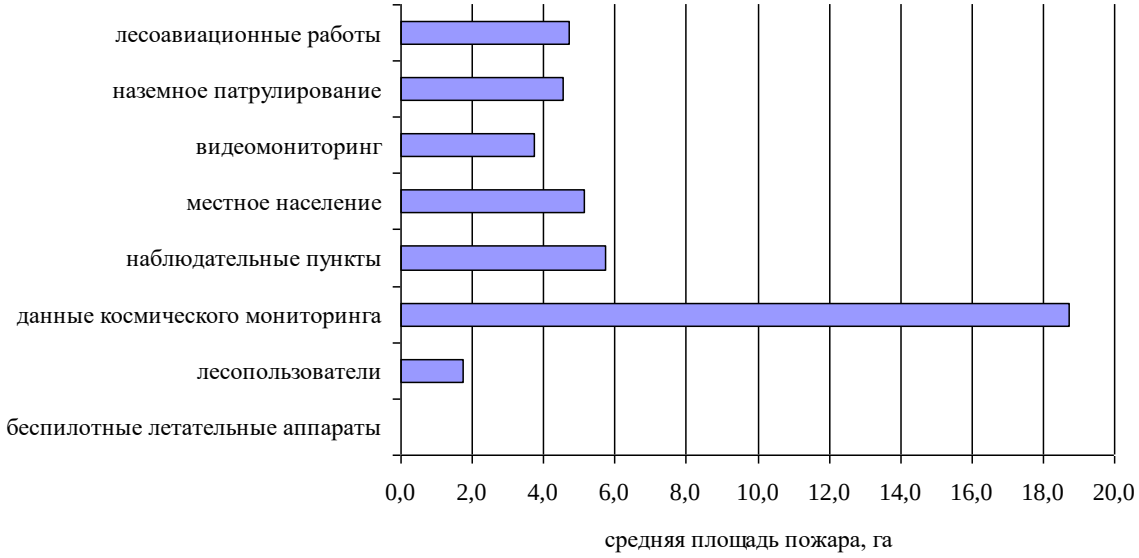


Рисунок 3. Средняя площадь лесных пожаров в зависимости от способа обнаружения по данным за 2017 г.

Подводя итог проделанного анализа можно сделать несколько основных выводов:

– наиболее часто сведения о возникновении лесных пожаров поступают от местного населения (42,5 % случаев за 2014–2019 гг.);

– по эффективности выявления возгораний на наиболее ранней стадии можно выделить такие способы, как видеомониторинг, лесоавиационные работы, наземное патрулирование, а также сообщения от местного населения, в то время, как, например, для космического мониторинга характерно выявление существенно более крупных пожаров;

– весьма перспективным представляется оснащение беспилотными летательным аппаратами наземных патрулей, что позволило бы расширить их возможности по обнаружению возгораний.

Таким образом, лесопожарная обстановка по-прежнему находится на уровне, требующем постоянного контроля и проведения комплекса профилактических мероприятий. При выборе средств обнаружения лесных пожаров целесообразно учитывать практику их применения и реальную эффективность.

Литература

1. Корнилов А. А. и др. Риск воздействия лесного пожара на населенный пункт // Техносферная безопасность. 2016. № 2. URL: https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--2-11 (дата обращения 19.04.2020).

2. Корнилов А. А. и др. Степень опасности лесных пожаров для населенных пунктов // Техносферная безопасность. 2016. № 1. URL: https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--1-10 (дата обращения 19.04.2020).

3. Об утверждении Сводного плана тушения лесных пожаров на территории Свердловской области на период пожароопасного сезона 2019 года: указ губернатора Свердловской области № 142-УГ от 20.03.2019. URL: http://forest.midural.ru/document/list (дата обращения 14.05.2020).

4. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2014 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

5. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2015 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

6. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2016 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

7. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2017 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

8. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2018 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

9. Распределение пожаров по способам обнаружения и площади обнаружения в 2019 году на территории Свердловской области. Материалы Департамента лесного хозяйства Свердловской области // Документ не опубликован.

References

1. Kornilov A. A. i dr. Risk vozdejstviya lesnogo pozhara na naselennyj punkt // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. № 2. URL: https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--2-11 (data obrashcheniya 19.04.2020).

2. Kornilov A. A. i dr. Stepen' opasnosti lesnyh pozharov dlya naselennyh punktov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. № 1. URL: https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--1-10 (data obrashcheniya 19.04.2020).

3. Ob utverzhdenii Svodnogo plana tusheniya lesnyh pozharov na territorii Sverdlovskoj oblasti na period pozharoopasnogo sezona 2019 goda: ukaz gubernatora Sverdlovskoj oblasti № 142-UG ot 20.03.2019. URL: http://forest.midural.ru/document/list (data obrashcheniya 14.05.2020).

4. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2014 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.

5. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2015 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.

6. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2016 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.

7. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2017 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.
8. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2018 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.
9. Raspredelenie pozharov po sposobam obnaruzheniya i ploshchadi obnaruzheniya v 2019 godu na territorii Sverdlovskoj oblasti. Materialy Departamenta lesnogo hozyajstva Sverdlovskoj oblasti // Dokument ne opublikovan.

УДК 614:841:31 *info@sibpsa.ru*

ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СОВЕРШЕНСТОВАНИИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

APPROACH TO THE USING OF SOCIOLOGICAL RESEARCH IN IMPROVING PREVENTIVE ACTIVITIES IN THE FIRE SAFETY FIELD

Макарова Т. П., Батуро А. Н., Ширинкин П. В.,
Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, г. Железногорск,
Makarova T. P., Baturo A. N. Shirinkin P. V.,
Siberian Fire and Rescue Academy
of Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk

Статья посвящена использованию научно-обоснованных инструментов при совершенствовании профилактической деятельности в области пожарной безопасности на примере ЗАТО г. Зеленогорск. При организации и осуществлении профилактических мероприятий в области пожарной безопасности предусматривается наличие мониторинга эффективности и адресности. Предлагается возможный подход к использованию данных социологических исследований в качестве инструмента по оценке эффективности профилактических мероприятий и выработке путей по их совершенствованию. В статье приводятся основные показатели обстановки с пожарами: их число, основные причины, места возникновения и пр., количество погибших и травмированных людей при пожарах в ЗАТО г. Зеленогорск. Основываясь на данных проведенного социологического исследования среди жителей ЗАТО г. Зеленогорск были установлен уровень осведомленности о правилах пожарной безопасности и пожаробезопасного поведения. Исходя из анализа полученных данных определяются основные целевые группы населения, имеющие наибольшую востребованность в ориентированности профилактических мероприятий в области пожарной безопасности. На основе проведённого исследования предложен порядок использования анкетирования населения на обслуживаемой надзорным органом территории по вопросам пожарной безопасности и сформулированы основные пути совершенствования программы профилактики для ЗАТО г. Зеленогорск.

Ключевые слова: пожарная безопасность, государственный пожарный надзор, профилактика нарушения обязательных требований в области пожарной безопасности, анкетирование

The article is devoted on the using of scientifically based tools aimed at improving preventive activities in the fire safety field on the example of the closed city of Zelenogorsk. Monitoring of efficiency and targeting in the fire safety field is provided when the preventive measures is organizing and implementing. A possible approach using of sociological research is offer as a tool for assessing the effectiveness of preventive measures and developing ways to improve them. The article presents the main indicators of the situation with fires: their number, main causes, places of origin, etc., the number of people killed and injured in fires in the closed city of Zelenogorsk. The level of awareness and behavior in the fire safety field was established and based on the data of a sociological research of the residents in the closed city of Zelenogorsk. The main target groups of the population, that have the greatest

demand in the orientation of preventive measures in the fire safety field, are determined on the analysis of the data obtained. A procedure for using a questioning of the population was offered on the basis of the study, and the main ways of improving the prevention program for the closed city of Zelenogorsk were formulated.

Keywords: fire safety, state fire supervision, prevention of fires, questioning.

С давних времён обеспечение пожарной безопасности является основной задачей любого государства. История знает немало примеров пожаров разного масштаба с необратимыми последствиями. С каждым годом увеличивается этажность и площадь жилых, административных и общественных зданий, в связи с чем возрастают риски воздействия опасных факторов пожара на людей. Поэтому проблема обеспечения пожарной безопасности в настоящее время не теряет своей актуальности.

Согласно определению системы обеспечения пожарной безопасности, представленной в статье 3 Федерального закона от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», двумя основными направлениями системы обеспечения пожарной безопасности являются профилактика пожаров и их тушение. Бóльшая часть пожаров происходит в жилых помещениях, в ходе повседневной деятельности человека [3], при этом абсолютное большинство жилых зданий относятся к категории низкого риска и не подлежат контролю со стороны органов федерального государственного пожарного надзора (далее – ФГПН).

На основании анализа нормативной правовой базы по организации и осуществлению профилактических мероприятий органами ФГПН можно выделить ряд проблем в проведении качественных и эффективных мероприятий по профилактике нарушений обязательных требований в области пожарной безопасности, в частности в жилых помещениях. Это обстоятельство также отмечается авторами в [1,4]. Согласно Приказу МЧС России от 30 ноября 2016 г. N 644 «Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности» (далее – административный регламент) органы ФГПН в рамках своей компетенции организуют и проводят мероприятия по профилактике нарушений обязательных требований в формах правового просвещения и правового информирования [6]. Административный регламент не содержит прямых указаний на порядок осуществления профилактических мероприятий, плановые проверки соблюдения требований пожарной безопасности со стороны органов ФГПН в отношении объектов защиты с категорией низкого риска согласно [6] не проводятся [1]. Также в рамках существующей нормативной базы профилактика пожаров, возникших по причине «неосторожное обращение с огнем» (неосторожность при курении, неосторожность при приготовлении пищи и др.) не предусматривается, так как указанные действия не являются правонарушением, если в результате не нанесен ущерб [1]. Проверка соблюдений установленных требований при эксплуатации электрооборудования, а также рассмотрение дел по фактам их нарушения, является компетенцией органов государственного энергетического надзора (ст. 23.30 [9]).

В целях формирования общих подходов к планированию, организации и проведению профилактических мероприятий МЧС России разработано «Руководство по подготовке программы профилактики нарушений обязательных требований в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах» [7] (далее –Руководство). Согласно Руководству, программа профи-

лактики нарушений обязательных требований (далее – Программа) разрабатывается каждым главным управлением МЧС России (в т. ч. специальными управлениями ФПС МЧС России), и, в свою очередь, она должна содержать перечень программных мероприятий по организации и осуществлению профилактической работы, в зависимости от обстановки с пожарами и выявленными рисками на обслуживаемой территории. Руководство содержит перечень основных видов профилактических мероприятий для решения задач Программы, направленных на снижение деструктивных последствий нарушений обязательных требований. Ввиду большой разницы в основных показателях обстановки с пожарами на территории субъектов РФ разработать общую Программу не представляется ни целесообразным, ни возможным.

В рамках проведенной научно-исследовательской работы «Исследование уровня информированности и подготовленности населения субъектов Российской Федерации в области комплексной безопасности» [2] авторами представлены сведения, которые могут быть использованы для обоснования содержания, объема, целевой группы, сроков и ключевых показателей реализации мероприятий, содержащихся в Программах. Исследование [2] проводилось во всех главных управлениях МЧС России, но не включало территории, обслуживаемые специальными управлениями ФПС МЧС России.

Объектом профилактического воздействия является человек, поэтому воздействие будет эффективным в том случае, если оно направлено на определённые (ключевые) категории населения, с вниманием на основные пробелы в знаниях и культуре поведения в области пожарной безопасности. Для оценки результативности профилактической деятельности, помимо прочего [10], необходима «обратная связь». В качестве «обратной связи» можно использовать результаты социологических исследований, которые позволят выявить содержательные характеристики общественного сознания, так как информация получается непосредственно от объекта профилактического воздействия.

В качестве эксперимента, для подготовки предложений по актуализации Программы, было выбрано ЗАТО г. Зеленогорск. Базой для подготовки анкет по изучению информированности и подготовленности населения ЗАТО г. Зеленогорск послужила научно-исследовательская работа [2]. Анкета состоит из трёх частей: информационный блок, вопросы анкеты, социально-демографический блок. Информационная часть включала обращение к респондентам с указанием целей исследования, краткой инструкцией по выполнению и гарантии анонимности исследования. Основная часть анкеты состояла из 12 вопросов, соответствующих целям исследования. Идентификационная часть составлена из 5 вопросов, включающих социально-демографические данные.

Опрос проводился по репрезентативной выборке, общий объем выборки, согласно проведённым расчётам составил 175 анкет. В проведении анкетирования принимали участие сотрудники отдела ФГПН ФГКУ «Специальное управление ФПС № 19 МЧС России».

По сравнению со средними показателями по России и Красноярскому краю, в ЗАТО г. Зеленогорск проживают более сознательные граждане, в первую очередь обращающие внимание на эвакуационные пути и выходы, но значительная часть опрошенных ЗАТО г. Зеленогорск (44,8 %) не представляют реальной опасности возникновения пожаров, поэтому не обращают внимание на расположение огнетушителей и эвакуационных путей и выходов на различных объектах;

Несмотря на то, что больше половины респондентов (58,6 %) знакомы с правами и обязанностями, что выше, чем по РФ (38,8 %) и Красноярскому краю (39,2 %), остаётся группа опрошенных (41,6 %), которые либо ничего не слышали, либо не знают о своих правах и обязанностях в области пожарной безопасности.

Преобладающая доля респондентов (80,9 %) в ЗАТО г. Зеленогорск всегда проверяет отключение электроприборов, выходя из дома, что выше, чем по РФ (67,1 %) и Красноярскому краю (61,9 %).

Значительное число опрашиваемых в г. Зеленогорск не обращают внимание на наличие сертификата при выборе продукции – 40,8 %, что ниже, чем в РФ (30,9 %) и крае (30,8 %). Согласно полученным ответам 46,1 % опрошенных выберут неправильный порядок действий при возникновении пожаров.

Значительная часть ответивших на вопрос о собственных знаниях в области пожарной безопасности приходится на группу, знающих только основные теоретические вопросы – 50,7 %, что почти в два раза больше, чем по РФ (32,4 %) и Красноярскому краю (29,5 %).

63,82 % опрошенных обладают лишь теоретическими знаниями по использованию огнетушителей и практически их не применяли, что говорит о наиболее вероятной неспособности во́время использовать огнетушитель для тушения возгорания в зданиях, где они предусмотрены.

Можно провести параллель между основными причинами возникновения пожаров в ЗАТО г. Зеленогорск и полученными результатами в ходе проведения оценки уровня знаний и культуры населения в области пожарной безопасности. Так как зеленогорцы обладают в основном теоретическими знаниями в области пожарной безопасности, не закреплёнными практически, и считают, что пожар – явление очень редкое, которое, скорее всего, их не коснётся, объясняет преобладающее число пожаров из года в год по причине неосторожного обращения с огнём, например, курение в комнатах, кроватях и других местах жилого помещения. Также можно предположить, что нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов происходит по причине малого представления жителями ЗАТО г. Зеленогорск всей опасности, которую могут представлять бытовые электроприборы во время аварийного режима работы. Отсутствие практических знаний и сформированных навыков правильных действия при пожарах, низкие знания в области пожарной безопасности могут привести к возможным необратимым последствиям.

Анализ следующего блока анкет имел своей целью установить, имеется ли зависимость между возрастом, уровнем образования, родом деятельности респондентов и полученными ответами по второму блоку. Оказывает ли влияние социальное положение человека на осведомленность, знания, культуру, сформированные навыки безопасного поведения в вопросах пожарной безопасности?

При изучении ответов, полученных в ходе проведения анкетирования жителей ЗАТО г. Зеленогорск, не удалось выявить чёткую зависимость между выбранными вариантами ответов и категориями опрашиваемых, такими как возраст, уровень образования и профессиональная принадлежность. Отличия в показателях составляют 10–15%, что считается статистической погрешностью в рассматриваемом объёме выборки. Возможно, что 10–15% разницы полученных ответов оказывают существенное влияние на обстановку с пожарами как в районах города, так и во всём муниципальном образовании. Для этого требуется дополнительное исследование, для которого необходимо разработать другие вопросы анкетирования и опросить большее число респондентов. Данные вопросы не были разработаны, так как не было бы достигнуто сравнение результатов с результатами РФ и Красноярского края и перед исследованием была выдвинута другая цель – проверка уровня знаний и культуры в области пожарной безопасности жителей ЗАТО г. Зеленогорск.

Таким образом, на основании вышесказанного, предлагается порядок определения вектора профилактических мероприятий в области пожарной безопасности для повышения их результативности:

1) детальный анализ обстановки с пожарами на обслуживаемой территории;

2) проведение социологического исследования с целью определения уровня знаний и культуры безопасности населения в области пожарной безопасности;

3) анализ полученных результатов исследования и его сопоставление с результатами анализа обстановки с пожарами;

4) выявление ключевой или «проблемной» категории населения, на которую необходимо обратить первоочередные профилактические мероприятия;

5) определение параметров профилактических мероприятий.

Таким образом, использование анкетирования как инструмента с целью совершенствования организации профилактической деятельности позволяет:

1) определить отношение опрашиваемых к вопросам обеспечения пожарной безопасности;

2) выявить пробелы в знаниях и культуре безопасного поведения населения в области пожарной безопасности как фактора, влияющего на обстановку с пожарами;

3) выявить наличие желания обучаться или приобрести определённые навыки в области пожарной безопасности;

4) определить категории населения, на которые необходимо направить основные профилактические мероприятия;

5) при необходимости проверить эффективность применения средств профилактики и отношение населения к тем или иным способам информирования и просвещения по вопросам пожарной безопасности (телевидение, радио, газеты, баннеры, листовки, интернет-ресурсы и пр.).

Содержание, количество вопросов и объем выборки могут меняться в зависимости от целей и планируемых результатов исследования.

Для того чтобы выявить «проблемные» категории населения и обстоятельства, способствующих возникновению большого числа пожаров, необходимо провести анализ обстановки с пожарами на территории, обслуживаемой ФГКУ «Специальное управление ФПС № 19 МЧС России».

Основными местами возникновения пожаров явились садовые некоммерческие организации и жилые помещения (рис. 1). А основные причины пожаров в ЗАТО г. Зеленогорск связаны с человеческим фактором: «Неосторожное обращение с огнём» и «Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов».

Рисунок 1. Диаграмма распределения числа пожаров по основным объектам возникновения пожаров в ЗАТО г. Зеленогорск за 2014–2018 гг.

Для садовых некоммерческих организаций характерным является резкий рост числа пожаров при наступлении теплого времени года, в этот период граждане массово выезжают на садовые участки.

При анализе пожаров, произошедших в жилых помещениях, выявлено, что немаловажную роль играет период времени суток, связанный с нахождением в жилище людей и, как следствие, возможность создания ими причин и условий, способствующих возникновению пожара – курение, эксплуатация электроприборов и т. д. Наибольшее количество пожаров в жилых помещениях происходит по причине неосторожного обращения с огнем, в том числе при курении. В основном это происходит в дневное (12–18 ч.) и ночное (0–6 ч.) время. Пожары в дневное время обусловлены оставлением электронагревательных, газовых приборов, а также свечей и т. п. при уходе на работу, а также по другим хозяйственным делам. В ночное время, возникновение пожаров в жилых помещениях связано, прежде всего, с созданием пожароопасной ситуации лицами, находящимися в них. И здесь основной причиной является курение, при этом зачастую в состоянии алкогольного либо наркотического опьянения.

В основном виновниками пожаров и возгораний по причине неосторожного обращения с огнём в рассматриваемые периоды являлись люди без определенного рода занятий в состоянии алкогольного опьянения.

Как правило, гибель и травмирование при пожарах, причиной возникновения которых является нарушение условий эксплуатации электрооборудования, происходит в жилых помещениях – квартирах и домах. В основном потерпевшие – это пожилые и престарелые люди, не способные в полной мере осуществлять заботу о себе.

Сопоставив результаты социологического исследования, проведенного в ЗАТО г. Зеленогорск, и анализа обстановки с пожарами на данной территории были предложены и внедрены в профилактическую деятельность по предупреждению нарушений обязательных требований в области пожарной безопасности следующие мероприятия:

1) при определении направления вектора профилактических мероприятий необходимо исходить из реальной обстановки с пожарами. Это позволит скорректировать систему профилактики на будущий период для определения целевых показателей;

2) для выявления основных причин возникновения преобладающего числа пожаров в жилых помещениях необходимо использовать научно-обоснованные инструменты, например анкетирование населения. Результаты исследования позволят определить основные направления профилактической работы в области пожарной безопасности и определить наиболее эффективные мероприятия по её реализации. Например усиление профилактической работы в рамках правового просвещения и информирования по вопросам, в которых население показало наихудшие результаты, полученные в ходе исследования уровня знаний и культуры населения в области пожарной безопасности;

3) профилактическая работа должна быть направлена на ключевые группы населения. Для ЗАТО г. Зеленогорск основными виновниками пожаров в жилых помещениях являются люди без определенного рода занятий, в алкогольном или наркотическом опьянении. Для выработки эффективных профилактических мероприятий с данной категорией населения необходимо привлечь органы внутренних дел, органы местного самоуправления;

4) так как на протяжении нескольких последних лет наибольшее количество погибших наблюдается среди людей пожилого возраста, то ключевым моментом будет являться обнаружение и сообщение на ЕДДС о пожаре на ранней стадии его развития, для чего можно включить данную категорию населения в программу установки пожарной сигнализации с GSM- модулем для жителей ЗАТО г. Зеленогорск;

5) при составлении памяток и листовок для садоводческих некоммерческих

территориях наряду с напоминанием о соблюдении мер пожарной безопасности рассмотреть использование информации о недавних пожарах и последствиях на подобной территории. Например, краткая информация о последнем наиболее крупном случившемся пожаре на садоводческой территории, с использованием наглядного материала (фотографий) и с напоминанием о необходимости соблюдения мер пожарной безопасности;

6) так как одной из основных причин пожаров на садоводческих территориях, является «Нарушение правил устройства и эксплуатации печного отопления», рассмотреть возможность при составлении информационных материалов упоминать об основных правилах устройства и эксплуатации печей, в рамках правового просвещения и информирования, как основных направлений профилактической работы.

«Методика проведения профилактической работы в жилом секторе» [11] говорит об необходимости адресной направленности профилактической работы, а также о том, что исходными данными для разработки практических мероприятий по профилактике пожаров должны являться статистические данные по пожарам в жилом секторе за предшествующий период. Методы социологических исследований будут являться одновременно и замером уровня осведомленности граждан по вопросам пожарной безопасности и индикатором эффективности проводимых мероприятий.

Бóльшая часть пожаров, происходящих в РФ и во всём мире было и будет неразрывно связано с жизнедеятельностью человека. В современном мире требуется постоянно совершенствовать систему обеспечения пожарной безопасности для того, чтобы она отвечала всем требованиям, которые обусловлены научно-техническим развитием. Так как одним из основных направлений обеспечения пожарной безопасности является профилактика нарушений обязательных требований, то для её совершенствования, необходимо:

– использовать новые подходы к анализу причин складывающейся обстановки с пожарами на территории муниципального образования;

– использовать научно-обоснованные инструменты социологического исследования, например, анкетирование, при оценке эффективности и определения вектора профилактических мероприятий;

– воздействовать на ключевые категории населения по основным вопросам, которые будут устранять пробелы в знаниях и культуре поведения населения в области пожарной безопасности.

Литература

1. Ширинкин П. В., Шубкин Р. Г., Никулин М. А. Проблемы реализации полномочий органов Федерального государственного пожарного надзора при организации и осуществлении профилактики пожаров // Пожарная безопасность.2017. № 4. С. 102–107.

2. Мельник А. А., Антонов А. В., Мартинович Н. В. Результаты исследования информированности и подготовленности населения субъектов Российской Федерации в области безопасности жизнедеятельности в 2018 году и рекомендации по совершенствованию профилактической работы // Сибирский пожарно-спасательный вестник.2019. № 1 (12). С. 74–247.

3. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: стат. сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.

4. Антонченко В. В. Проблемы профилактической работы в сфере обеспечения пожарной безопасности // Актуальные проблемы российского права. 2019. – № 1 (98). С. 73–79.

5. Федеральный. закон Российской Федерации от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (1.04.2020).

6. Приказ МЧС России от 30 ноября 2016 г. № 644 «Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности». URL: https://base.garant.ru/71587768/ (15.03.2020).

7. Руководство по подготовке программы профилактики нарушений обязательных требований в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации. М., 2017.

8. Анализ результатов деятельности отдела федерального государственного пожарного надзора ФГКУ «Специальное управление ФПС № 19 МЧС России» за 2019 год.

9. Федеральный закон от 30.12.2001. № 195 «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях». URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (5.04.2020).

10. Андреев Ю. А. и др. О возможном подходе к оценке эффективности и востребованности профилактических мероприятий в области пожарной безопасности // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2018. № 2 (27). С. 56–61.

11. Методика проведения профилактической работы в жилом секторе: утв. Заместителем министра-главным государственным инспектором Российской Федерации А. М. Супруновским 30.03.2020 г. М., 2020. 130 с.

References

1. Shirinkin P. V., Shubkin R. G., Nikulin M. A. Problemy realizatsii polnomochiy organov Federal′nogo gosudarstvennogo pozharnogo nadzora pri organizatsii i osushchestvlenii profilaktiki pozharov // Pozharnaya bezopasnost′. – 2017. № 4.P. 102-107.

2. Mel′nik A. A., Antonov A. V., Martinovich N. V. Rezul′taty issledovaniya informirovannosti i podgotovlennosti naseleniya sub″yektov Rossiyskoy Federatsii v oblasti bezopasnosti zhiznedeyatel′nosti v 2018 godu i rekomendatsii po sovershenstvovaniyu profilakticheskoy raboty // Sibirskiy pozharno-spasatel′nyy vestnik. 2019.№ 1 (12). P. 74–247.

3. Pozhary i pozharnaya bezopasnost′ v 2018 godu: stat. sbornik // pod obsh. red. D. M. Gordiyenko. M., 2019. 125 p.

4. Antonchenko V. V. Problemy profilakticheskoy raboty v sfere obespecheniya pozharnoy bezopasnosti // Aktual′nyye problemy rossiyskogo prava.2019. № 1 (98). P. 73–79.

5. Federal'nyj. zakon Rossijskoj Federacii ot 21.12.1994 № 69-FZ «O pozharnoj bezopasnosti». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (1.04.2020).

6. Prikaz MCHS Rossii ot 30 noyabrya 2016 g. № 644 «Ob utverzhdenii Administrativnogo reglamenta Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situaciyam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij ispolneniya gosudarstvennoj funkcii po nadzoru za vypolneniem trebovanij pozharnoj bezopasnosti». URL: https://base.garant.ru/71587768/ (15.03.2020).

7. Rukovodstvo po podgotovke programmy profilaktiki narusheniy obyazatel′nykh trebovaniy v oblasti grazhdanskoy oborony, zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera, pozharnoy bezopasnosti i bezopasnosti lyudey na vodnykh ob″yektakh glavnogo upravleniya MCHS Rossii po sub″yektu Rossiyskoy Federatsii. M., 2017.

8. Analiz rezul′tatov deyatel′nosti otdela federal′nogo gosudarstvennogo pozharnogo nadzora FGKU «Spetsial′noye upravleniye FPS № 19 MCHS Rossii» za 2019 god.

9. Federal'nyj zakon ot 30.12.2001. № 195 «Kodeks Rossijskoj Federacii ob administrativnyh pravonarusheniyah». URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (5.04.2020).

10. Andreyev YU. A. et al. O vozmozhnom podhode k ocenke effektivnosti i vostrebovannosti profilakticheskih meropriyatij v oblasti pozharnoj bezopasnosti // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2018. № 2 (27). P. 56–61.

11. Metodika provedeniya profilakticheskoy raboty v zhilom sektore: utv. zamestitelem ministra-glavnym gosudarstvennym inspektorom Rossiyskoy Federatsii A. M. Suprunovskim 30.03.2020 g. M., 2020. 130 p.