

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 3 (55) – 2020

Редакционный совет

Председатель – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Заместитель председателя – (главный редактор) доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Галишев Михаил Алексеевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Байков Валентин Иванович**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор технических наук, доцент полковник внутренней службы **Крутолапов Александр Сергеевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор военных наук, профессор **Актерский Юрий Евгеньевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, доцент **Терехин Сергей Николаевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Малыгин Игорь Геннадьевич**, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук;

доктор химических наук, профессор полковник внутренней службы **Калач Андрей Владимирович**, профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского института – филиала Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России;

доктор химических наук, профессор **Сиротинкин Николай Васильевич**, декан факультета химической и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

доктор химических наук, профессор **Богданова Валентина Владимировна**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор физико-математических наук, профессор **Гончаренко Игорь Андреевич**, профессор кафедры естественных наук Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор наук (PhD), профессор **Агостон Рестас**, начальник Департамента противопожарной профилактики и предотвращения чрезвычайных ситуаций Института управления в чрезвычайных ситуациях (Республика Венгрия);

доктор технических наук **Мрачкова Ева**, профессор кафедры противопожарной защиты Технического университета г. Зволен (Республика Словакия).

Секретарь совета:

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Редакционная коллегия

Председатель – кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Онов Виталий Александрович**, начальник центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

Заместитель председателя – кандидат технических наук майор внутренней службы **Турсенев Сергей Александрович**, заместитель начальника центра – начальник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционной коллегии:

доктор технических наук, профессор **Моторыгин Юрий Дмитриевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор педагогических наук, профессор **Пашута Валерий Лукич**, заведующий кафедрой психолого-педагогических и правовых основ служебно-прикладной физической подготовки Военного института физической культуры;

кандидат военных наук, доцент полковник внутренней службы **Горбунов Алексей Александрович**, заместитель начальника университета по учебной работе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Фомин Александр Викторович**, профессор кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Шидловский Александр Леонидович**, начальник кафедры практической подготовки сотрудников пожарно-спасательных формирований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор экономических наук, профессор **Бардулин Евгений Николаевич**, заведующий кафедрой управления и экономики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Секретарь коллегии:

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Сытдыков Максим Равильевич**, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» включен в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Uberich's Periodicals Directory». Решением ВАК журнал включен в перечень периодических научных и научно-технических изданий, в которых рекомендуется публикация материалов, учитываемых при защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Периодичность издания журнала – ежеквартальная

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Куянов А.В. Анализ причин и последствий аварийных ситуаций с пожарами и взрывами на морских нефтегазовых платформах	6
Кошкарров Р.В., Королева Л.А., Королев И.Д. Введение эксергетического показателя в процедуру классификации опасных грузов железнодорожного транспорта	10
Ищенко А.Д., Таранцев А.А., Шидловский А.Л. Об особенностях действий по тушению пожара в условиях Арктики	16
Ложкина О.В., Онищенко И.А. Анализ опасного загрязнения атмосферного воздуха крупных городов Арктической зоны отработавшими газами транспортных средств	20
Северин С.Н., Тищенко М.А., Шаптала В.В. Количественная оценка противопожарного состояния объекта защиты	27

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мамаев В.В., Агарков А.В. Многоточечный пробоотборник пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ на горнодобывающих предприятиях	35
Сысоева Т.П., Минкин Д.Ю., Терехин С.Н. Создание базы данных по экспертному исследованию пожаров (взрывов) паровоздушных смесей	40
Мартынович В.Л., Хайруллина Л.Б., Сивков Ю.В. Оценка воздействия поражающих факторов аварий на газопроводе	45
Савенкова А.Е., Завъялов Д.Е. Удаленная система мониторинга обеспечения пожарной безопасности объекта защиты	49
Печурин А.А., Мельник О.Е., Османов Ш.А. Определение структуры и состава насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1200 м (НРК-200/1200)	53
Черных А.К., Горшкова Е.Е., Вилков В.Б. Формирование комиссии МЧС России для производства судебных экспертиз по делам, связанным с пожаром	59

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

Зыбина О.А., Дербенев Р.А., Савошинский О.П. Об оценке индивидуального риска при возможном пожаре в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете Петра Великого	66
Андрюшкин А.Ю., Кадочникова Е.Н. Модель влияния размера дефекта на вероятность возникновения отказа изоляционного покрытия трубопровода по параметру «водопоглощение»	72
Миргородский А.Н., Моторин В.М., Гула Д.Н. Прогноз риска повреждения строительных конструкций зданий и сооружений с неотопливаемыми чердачными помещениями	77
Ложкин В.Н., Гавкалюк Б.В. Совершенствование методов обеспечения безопасности при эксплуатации транспортных средств специального назначения	85
Терехин С.Н., Сугак В.П., Власов С.А., Кульвиц А.В. Построение систем малых космических аппаратов комплексного наблюдения поверхности Земли для мониторинга чрезвычайных ситуаций	89

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Печурин А.А., Мельник О.Е., Османов Ш.А. Образ и основные характеристики рукавного модуля для насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1200 М (НРК-200/1200).	97
--	----

Волик А.С., Квашнин А.В., Ивахнюк Г.К. Влияние электрического поля на огнетушащие свойства воздушно-механической пены 103

Сведения об авторах 108

Информационная справка. 111

Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере». 116

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Проблемы управления рисками в техносфере», без письменного разрешения редакции не допускается.
Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

ББК 84.7Р

УДК 614.84+614.842.84

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Проблемы управления рисками в техносфере»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 1998-8990

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 656.085.5

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОЖАРАМИ И ВЗРЫВАМИ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПЛАТФОРМАХ

Э.А. Джафаров;

Ю.Е. Актерский, доктор военных наук, профессор;

А.В. Куянов, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Анализируются причины и последствия наиболее крупных аварий на морских платформах, связанные с добычей нефти и газа. Изучение данной проблемы позволяет повысить достоверность оценивания рисков, связанных с морской добычей нефти и газа, а также разработать методы повышения уровня пожарной безопасности нефтегазовых платформ в различных условиях их эксплуатации.

Ключевые слова: авария, чрезвычайная ситуация, нефтегазовая платформа, пожарная безопасность

ANALYSIS OF THE CAUSES AND CONSEQUENCES OF ACCIDENTS WITH FIRES AND EXPLOSIONS ON OFFSHORE OIL AND GAS PLATFORMS

E.A. Dzhaфарov; Yu.E. Aktersky; A.V. Kuyanov.

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

This article will briefly describe some of the largest landmark accidents related to offshore oil and gas production. The study of this problem allows us to draw appropriate conclusions about the risks associated with offshore oil and gas production, as well as to develop methods to improve the level of fire safety on oil and gas platforms.

Keywords: accident, emergency, oil and gas platform, fire safety

Проблема обеспечения пожарной безопасности нефтегазовых платформ в настоящее время является актуальной в связи с повышенной пожарной опасностью данных объектов. Добыча нефти и газа на морских месторождениях относится к сфере производственной деятельности повышенной опасности. Наличие технологических процессов и оборот горючих веществ характеризуют нефтегазовые платформы как опасные производственные объекты [1]. Особенности расположения нефтегазовых платформ создают дополнительные сложности при обеспечении их пожарной безопасности вследствие интенсивного влияния на основные конструктивные элементы внешней и внутренней агрессивной среды и других негативных факторов.

В мировой истории освоения континентального шельфа известны несколько крупнейших аварий с катастрофическими последствиями, возникших в связи с низким

уровнем подготовленности нефтегазовых платформ и обслуживающего их персонала к экстремальным условиям эксплуатации. Для выявления основных проблем в обеспечении пожарной безопасности нефтегазовых платформ и их устойчивости к влиянию различных негативных факторов в таблице приведены сведения о последствиях крупнейших аварий на подобных объектах [2].

Таблица. **Крупнейшие аварии на морских нефтегазовых платформах**

Дата и место	Вид аварии	Краткое описание аварии и основные причины	Число пострадавших и ущерб
3 июня 1979 г. Мексиканский залив	Разрушение платформы, взрыв, пожар, разлив нефти	Разлив нефти с последующим воспламенением и взрывом при вступлении в контакт с газовыми испарениями двигателя, обеспечивающего электроэнергией буровую вышку на борту платформы	Полностью разрушенная платформа и колоссальный экологический ущерб – около 120 000 т нефти осело на дне залива
27 марта 1980 г. Северное море	Разрушение платформы, пожар, взрыв	В результате сильного штормового ветра одна из пяти опор из-за износа была разрушена. В результате дальнейших разрушений платформа перевернулась с последующим пожаром и взрывом	123 погибших, ущерб – полностью разрушенная платформа
6 июля 1988 г. Северное море	Взрыв, пожар, разрушение платформы	При осуществлении работ на газовом месторождении произошел ряд последовательных взрывов газопроводов, возник пожар с дальнейшим разрушением платформы	164 человека погибло, платформа полностью разрушена
21 августа 2009 г. Тиморское море	Пожар, разлив нефти	В ходе буровых работ произошел выброс нефти и газа из скважины с последующим пожаром	Разлив нефти до 90 000 км ² . Без жертв
20 апреля 2010 г. Мексиканский залив	Взрыв, пожар, разлив нефти	Газ под давлением вырвался на палубу платформы с последующим взрывом и пожаром. Является крупнейшей экологической катастрофой в истории морской добычи нефти и газа	11 погибших, выброс более 4 млн баррелей нефти в залив, платформа полностью разрушена

Из приведенных примеров видно, что аварии на морских нефтегазовых платформах практически всегда сопровождаются многочисленными человеческими жертвами вследствие уязвимости персонала к высокотемпературному воздействию пожара и токсичных продуктов горения. Негативное воздействие на людей этих факторов многократно усиливается в связи с ограниченной территорией платформы и, как следствие, затруднений в эвакуации.

Общий анализ данных таблицы позволяет сделать вывод о некотором снижении в настоящее время риска возникновения аварий на нефтегазовых платформах с катастрофическими последствиями. Однако отдельные аварии на подобных объектах нефтегазового комплекса свидетельствуют о возможности причинения огромного материального ущерба и нанесения масштабного экологического вреда практически в любое время независимо от постоянного совершенствования и развития технологий морской добычи углеводородов [3].

Общий анализ известных аварий на морских нефтяных и газовых месторождениях позволяет объединить аварии по регионам (рис. 1):

- Северное море;
- Мексиканский залив;
- Средиземное море;
- Каспийское/Черное море;
- остальная Европа;
- другие регионы.

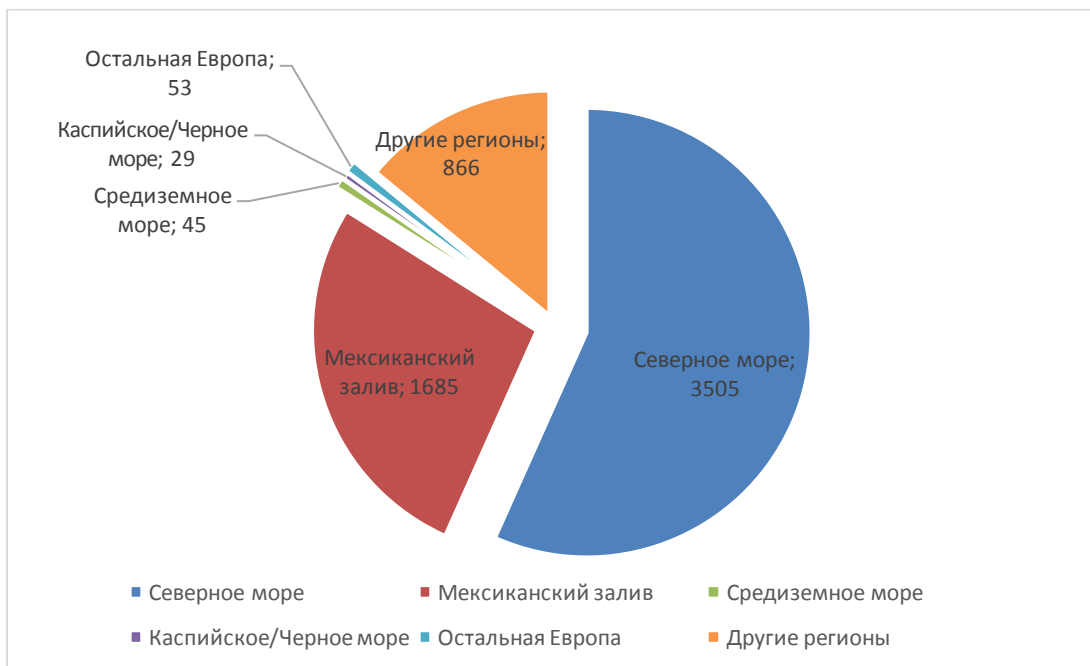


Рис. 1. Распределение аварий по регионам

Аварии на нефтегазовых платформах можно также классифицировать по нескольким причинным показателям (рис. 2) [4]:

- разрушение фундамента и конструкций платформы;
- отказ отдельного оборудования;
- неисправность всего оборудования.



Рис. 2. Причины аварий на нефтегазовых платформах

Нефтегазовые платформы характеризуются исключительно высокой аварийностью при бурении скважин. Аварийное фонтанирование скважины является одной из наиболее опасных аварийных ситуаций на буровых установках, приводящих к разрушению целых морских платформ.

Основными физическими проявлениями аварий и сопровождающими их поражающими факторами на нефтегазовых платформах являются:

- утечки газа при бурении скважин, а также на этапе эксплуатации, в том числе с воспламенением газа;

- разрыв нефте- или газопровода, разрушение емкости, аппарата, резервуаров с природным газом под давлением с выбросом, в том числе с воспламенением газа и образованием струевого пламени;

- утечка природного газа внутри помещений с образованием взрывоопасной смеси, ее воспламенением и взрывным превращением;

- взрыв топливной смеси в емкостях с газовым конденсатом, дизельным топливом с последующим разливом, воспламенением горючих жидкостей и горением в виде пожара пролива с распространением вблизи места аварии поражающих факторов: осколков и частей резервуаров, аппаратов, прямого воздействия пламени и высокотемпературного воздействия;

- утечка горючей жидкости (топлива, масла, метанола) из емкостей, резервуаров, трубопроводов с образованием лужи пролива и дальнейшим воспламенением от источника зажигания или путем самовоспламенения.

Крупнейшие аварии в истории морской добычи нефти и газа играют важнейшую роль в процессе изучения проблемы обеспечения их пожарной безопасности. На основании изучения сценариев данных аварий можно установить вероятность возникновения каждой стадии аварий и минимизировать риски, что позволит уменьшить материальный, экологический ущерб и гибель людей в случае возникновения новых аварийных ситуаций на нефтегазовых платформах.

На основании проведенного анализа можно определить основные недостатки по обеспечению пожарной безопасности нефтегазовых платформ:

- высокий уровень пожарной опасности технологических процессов морской добычи нефти и газов;

- низкий уровень обеспечения пожарной безопасности (предупреждение пожаров, сохранение целостности конструкций, безопасные пути эвакуации);

- низкий уровень подготовки персонала к возможным рискам;

- отсутствие у персонала практических навыков действий в случае возникновения пожара.

Принимая во внимание высокую степень пожарной опасности данных объектов, можно предложить следующие рекомендации:

- необходимость развития международной координации действий по сбору и обмену информацией об авариях на объектах морской добычи нефти и газа в едином согласованном формате;

- особое внимание следует уделять разливам нефти, а именно мероприятиям оперативного реагирования на предотвращение экологических катастроф;

- необходимо комплексное повышение пределов огнестойкости несущих конструкций нефтегазовых платформ, для того чтобы увеличить время безопасной эвакуации людей и повысить вероятность сохранения целостности платформы (избежать обрушения) [5].

Морские нефтегазовые платформы являются опасными производственными объектами, в связи с чем необходима разработка новой системы обеспечения безопасности на данных объектах, а также проведение регулярных проверок и инспекций [6].

Проведенный аналитический обзор и анализ аварийных ситуаций с пожарами и взрывами на морских нефтегазовых платформах позволяет сделать вывод о высокой актуальности научной проблемы поиска новых путей и методов обеспечения требуемого

уровня пожарной безопасности данных объектов в современных экстремальных условиях их эксплуатации.

Литература

1. Лисанов М.В., Симакин В.В. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазовых месторождений // Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток: материалы II Междунар. конф. ROOGD-2008. 2008.
2. Adams A. The UK experience in offshore pipeline operations – Pipes & Pipelines Int. M-A, 1992.
3. Аварийность на морских объектах нефтегазовых месторождений / М.В. Лисанов [и др.] // Oil and Gas Journal Russia. 2010. № 5 (39). С. 48–53.
4. Accident statistics for fixed offshore units on the UK Continental shelf 1980–2005. Det Norske Veritas // UK Health & Safety Executive. Research Report Series. Report № R047.
5. Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л. Методы контроля качества огнезащитной обработки металлических конструкций на опасных производственных объектах // Комплексная безопасность и физическая защита: труды VII Мемориального семинара профессора Б.Е. Гельфанда XIV Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 278–281.
6. Актуальные вопросы нормирования пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей / Ю.Е. Актерский [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов VI Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 3–6.

УДК 614.841.48

ВВЕДЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ПРОЦЕДУРУ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Р.В. Кошкаров;

Л.А. Королева, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

И.Д. Королев.

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики**

Рассмотрена роль железнодорожного транспорта в транспортной системе Российской Федерации. Определены перспективы развития с точки зрения повышения безопасности его функционирования. Основываясь на особенностях железнодорожного транспорта, представлены причины и сценарии развития аварийных ситуаций. Отмечено, что значительное количество перевозимых грузов относится к опасным грузам. Обоснована целесообразность введения эксергетического показателя в процедуру их классификации. Намечены пути дальнейших исследований, направленных на повышение эффективности межведомственного взаимодействия при тушении пожаров на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, авария, пожар, чрезвычайная ситуация, опасные грузы, эксергетический показатель, межведомственное взаимодействие

INTRODUCTION OF AN EXERGETIC INDICATOR IN THE PROCEDURE FOR CLASSIFICATION OF DANGEROUS GOODS IN RAILWAY TRANSPORT

R.V. Koshkarov; L.A. Koroleva.

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

I.D. Korolev.

Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics

The role of railway transport in the transport system of the Russian Federation is considered. The prospects for the development in terms of improving the safety of its operation are determined. According to the features of railway transport, the causes and scenarios of emergency situations are presented. It is noted that a significant number of transported goods are classified as dangerous goods. The expediency of introducing an exergetic indicator into the procedure of their classification is proved. The ways of further research aimed at improving the effectiveness of interagency cooperation in extinguishing fires on railway transport are outlined.

Keyword: railway transport, accident, fire, emergency, dangerous goods, exergetic indicator, interagency cooperation

Железнодорожный транспорт Российской Федерации является ведущим в транспортной системе страны, среди всех видов транспорта ему принадлежит более 45 % грузовых и 25 % пассажирских перевозок [1]. В Стратегии развития железнодорожного транспорта [2] отмечается, что Российские железные дороги по общей длине эксплуатационных путей уступают только США и занимают второе место по величине транспортных систем в мире. Российская Федерация обеспечивает более 20 % грузовых и 10 % пассажирских перевозок среди всех железных дорог мира [2].

Плотность железных дорог в Российской Федерации намного ниже, чем в других странах, например, Канаде и США. Отмечается, что «в 10 субъектах Российской Федерации железнодорожная сеть очень слабо развита, а в семи субъектах железных дорог нет вообще» [3].

Стратегия развития железнодорожного транспорта [2] направлена на улучшение транспортной обеспеченности регионов, рост пропускных способностей железных дорог, наращивание объемов перевозок, что может сопровождаться увеличением количества и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС). Растущая напряженность работы железнодорожного транспорта Российской Федерации требует гармоничного сочетания технического развития подвижного состава и инфраструктуры железных дорог с совершенствованием системы предотвращения и ликвидации последствий ЧС.

В настоящее время действует функциональная подсистема предупреждения и ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), что определено приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 23 января 2019 г. № 12 [4].

Реформирование железных дорог обеспечило необходимость принятия новых управленческих, технических и технологических решений. Они должны включать кардинальные изменения организации работы Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), в том числе, совершенствование системы предупреждения и ликвидации ЧС.

Особую актуальность проблема обеспечения безопасности приобретает в отношении объектов, которые эксплуатируются более 20 лет и имеют физически и морально устаревшее оборудование. При этом технические решения не соответствуют современному уровню научно-технического прогресса, требованиям норм и правил промышленной безопасности.

Анализ аварий, происходящих на железнодорожном транспорте, позволил выявить их причины, среди которых можно выделить:

- 1) отказы и повреждения;

- 2) несоблюдение технических требований и правил безопасности в процессе эксплуатации стационарных объектов и подвижного состава;
- 3) нарушения при обращении грузов;
- 4) недостатки в поездной и маневровой работе;
- 5) пожары и взрывы в вагонах;
- 6) столкновения;
- 7) ошибки, допускаемые персоналом в процессе работы;
- 8) природные условия;
- 9) террористические акты.

Можно выделить два принципиальных варианта развития аварий на железнодорожном транспорте:

1. Аварии, не сопровождающиеся пожаром (столкновение, опрокидывание вагона, разлив или истечение опасных грузов и др.).

2. Аварии, осложняющиеся пожаром (горение цистерн, пассажирских вагонов, стационарных сооружений и др.).

Практика показывает, что наиболее опасными являются те, которые развиваются по второму сценарию. Ликвидация последствий аварии в этом случае связана в первую очередь с необходимостью прекращения горения. Проведение всего комплекса работ по ликвидации последствий аварии и восстановлению движения поездов возможно только после ликвидации пожара. Исследование большого количества аварий, которые сопровождались пожаром, показали, что в результате горения аварийная ситуация значительно усложняется, а в случаях, когда не применяются эффективные меры борьбы с огнем, именно развитие пожара создает условия, при которых размеры и последствия аварии существенно увеличиваются.

При планировании и организации аварийно-спасательных работ при возникновении и развитии ЧС необходимо учитывать следующие особенности, характерные для железнодорожного транспорта:

- большая масса подвижного состава, которая, например, для грузового состава достигает 3–5 тыс. т, при этом масса одной цистерны составляет 80–100 т;
- высокая скорость подвижного состава, что увеличивает экстренный тормозной путь до сотен метров;
- наличие опасных участков дорог (например, мостов, туннелей, переездов) на пути следования;
- использование электрического тока высокого напряжения;
- влияние человеческого фактора;
- многообразие поражающих факторов и опасность их комбинирования;
- труднодоступность места аварии для спасателей и пожарных (болота, высокие насыпи; значительное количество железнодорожных путей на крупных станциях и узлах).

В случае возникновения аварий с опасными грузами для проведения дегазации, дезактивации территории, подвижного состава, грузов необходимо привлекать специализированные подразделения химической и радиационной защиты МЧС России.

Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 18 декабря 2014 г. № 344 утверждено Положение о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта [5].

Информирование о происшествии на железнодорожном транспорте осуществляется согласно утвержденной начальником железной дороги схемы оповещения. При проведении комплекса аварийно-восстановительных работ необходимо обеспечить безопасность людей, максимальную сохранность подвижного состава и своевременное возобновление движения поездов. На железных дорогах устанавливается порядок взаимодействия с органами управления, силами и средствами территориальной подсистемы РСЧС.

Организация и проведение аварийно-спасательных работ, направленных на ликвидацию последствий железнодорожных аварий и катастроф, должны проводиться с учетом следующих особенностей:

- невозможность прогнозирования места и времени возникновения аварий и катастроф;
- существенная вероятность отсутствия своевременной и достоверной информации об аварии или катастрофе;
- необходимость оказания экстренной помощи в труднодоступных местах;
- возможность возникновения аварий и катастроф в непосредственной близости от населенных пунктов;
- отсутствие на начальном этапе ликвидации специальной техники, необходимых средств пожаротушения и т.д.;
- сложность эвакуации с места аварии;
- необходимость привлечения и организации взаимодействия сил и средств различных ведомств;
- сложность организации работ по поиску пострадавших на больших площадях;
- трудность определения количества пострадавших;
- опасность осложнения обстановки в случае аварии или катастрофы при перевозке опасных грузов;
- необходимость скорейшего возобновления движения.

ОАО «РЖД» перевозит большое количество грузов (рис.), при этом около 35 % от общего числа грузовых перевозок приходится на опасные грузы (ОГ), и эта величина постоянно растет.

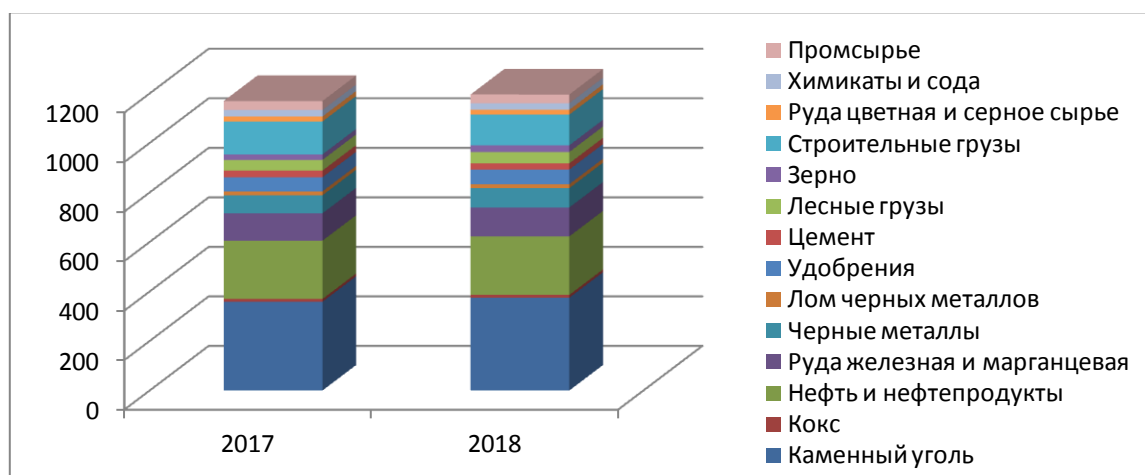


Рис. Масса перевезенных грузов ОАО «РЖД» за 2017–2018 гг., млн т [6]

При транспортировке ОГ, например сжиженных газов, легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, взрывоопасных, ядовитых веществ, возникают утечки, взрывы, пожары, что может привести к отравлению людей и заражению местности.

Правила [7] регламентируют меры безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с ОГ при перевозке их железнодорожным транспортом.

Механизм катастрофы (взрыв, пожар, крушение), особенности рельефа местности, экологические последствия и т.д. определяют структуру санитарных потерь и характер травм у пострадавших. При авариях на подвижном составе, сопровождающихся пожаром, около 42 % составляют термические ожоги, что определяет их лидирующее положение. На комбинированные поражения (травмы и ожоги, отравления токсичными продуктами горения) приходится до 35 % [8]. При этом оказание экстренной медицинской помощи может потребоваться до 20 % пораженным.

Следует отметить, что крушение или авария на железных дорогах, как правило, имеют свой индивидуальный сценарий. Осуществление прогностической оценки возможных

вариантов развития ЧС, учет реальных возможностей привлекаемых сил и средств может существенно повысить эффективность мероприятий по проведению аварийно-спасательных работ.

Большое значение необходимо уделить организации эффективного взаимодействия подразделений различных ведомств в процессе ликвидации аварий и ЧС. Содержание такого взаимодействия определяется:

- прогнозированием сценариев развития ЧС;
- информационным обменом;
- согласованием решений об использовании сил и средств;
- планированием совместных действий;
- отработкой взаимодействия на специальных тренировках и учениях;
- организацией подготовки (переподготовки) специалистов железных дорог, ведомственной пожарной охраны, МЧС России и других служб и ведомств.

Успешное межведомственное взаимодействие при ликвидации аварий на железнодорожном транспорте определяется наличием единого методологического подхода к решению возникающих задач. В ходе проведенных исследований было определено, что отличия в требованиях безопасности к одним и тем же веществам в процессе их обращения на производстве (ГОСТ 12.1.007–1976) и при транспортировке (ГОСТ 19433–88) создают трудности формирования единого нормативно-методического обеспечения в области пожарной безопасности, что затрудняет эффективное межведомственное взаимодействие.

Проведенные исследования [9, 10] показали, что применение эксергетического показателя позволяет комплексно решать вопросы, связанные с обеспечением пожарной и экологической безопасности, оценкой энергетической эффективности систем и процессов.

Расчет эксергетического показателя предлагается проводить по формуле:

$$P_э = \frac{e_{хим}}{30},$$

где $e_{хим}$ – химическая эксергия веществ, материалов и изделий, МДж/кг; 30 – минимальная химическая эксергия вещества, материала или изделия, относящегося к классу Э3, МДж/кг.

Классификация грузов по эксергетическому показателю представлена в таблице.

Таблица. Классификация грузов по эксергетическому показателю

Группа горючести	Значение эксергетического показателя	Класс
Негорючие	$P_э < 0,1$	Негорючие (Э0)
Трудногорючие	$0,1 \leq P_э < 0,5$	С низким значением эксергетического показателя (Э1)
Горючие	$0,5 \leq P_э < 1,0$	Со средним значением эксергетического показателя (Э2)
	$P_э \geq 1,0$	С высоким значением эксергетического показателя (Э3)

Введение эксергетического показателя в оценку пожарной опасности позволит унифицировать процедуры классификации для веществ, материалов и изделий, обращающихся на производстве, перевозимых и планируемых к транспортировке железнодорожным транспортом.

Большая проблема на сегодняшний день связана с обращением твердых коммунальных отходов (ТКО) в городах-мегаполисах. В рамках ее решения начата транспортировка ТКО на отдаленные полигоны железнодорожным транспортом. При этом большая часть ТКО относится к IV (малоопасные отходы) и V (практически неопасные отходы) классам опасности. Однако исследования показали, что при назначении класса

опасности практически не учитывается их пожарная опасность. Результат – значительное количество пожаров на свалках и полигонах.

Применение предложенного в работе [9] эксергетического анализа позволит с единых методологических позиций подходить к решению вопросов, связанных с обеспечением пожарной и экологической безопасности при обращении и транспортировке ТКО, повысить объективность процедуры их классификации, проводить оценку и сравнение эффективности технологий обращения с отходами.

В рамках дальнейших исследований планируется придать завершенность процедурам классификации и проработать методику, позволяющую оценивать вещества, материалы и изделия с точки зрения их пожарной опасности при их производстве, применении, хранении, транспортировании, утилизации и захоронении. Для повышения точности прогнозирования опасных свойств предлагается использовать эксергетический показатель. Это позволит систематизировать подходы к прогнозированию возможных сценариев развития пожаров, создать условия для повышения эффективности их тушения на железнодорожном транспорте за счет разработки и использования различными ведомствами единого нормативно-методического обеспечения в области пожарной и экологической безопасности.

Литература

1. Россия в цифрах. 2018: крат. стат. сб. Росстат. М., 2018. 522 с.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
3. Египко М.А. Анализ развития транспортной системы Российской Федерации // Транспортное дело России. 2017. № 3.
4. Положение о функциональной подсистеме предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 23 янв. 2009 г. № 12. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
5. Положение о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 18 дек. 2014 г. № 344 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.10.2019).
6. РЖД в цифрах. URL: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5232&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=4079 (дата обращения: 30.01.2020).
7. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам (утв. МЧС РФ 31 окт. 1996 г. № 9/733/3-2, МПС РФ 25 нояб. 1996 г. № ЦМ-407) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 30.04.2020).
8. Магдич И.А., Петров В.П. Организационные аспекты ликвидации медико-санитарных и экологических последствий железнодорожных аварий и катастроф // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 5-3.
9. Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Ивахнюк Г.К. Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок на железнодорожном транспорте // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 10. С. 26–37.
10. Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / Л.А. Королева [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 7-8. С. 43–52.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДЕЙСТВИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

А.Д. Ищенко, кандидат технических наук;

А.А. Таранцев.

Академия ГПС МЧС России.

А.Л. Шидловский, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены особенности объектов в Арктической зоне и на Крайнем Севере с учетом климатических условий в этом регионе. Показано, что высокая энергонасыщенность модулей, входящих в состав арктических объектов, приводит к повышенному риску возникновения пожаров, а экстремально низкие температуры затрудняют применение известных огнетушащих веществ и способов тушения. Изложен инновационный способ подавления пожара в модуле путем продувки его объема наружным низкотемпературным воздухом. Приведены особенности действий должностных лиц при тушении пожара на арктическом объекте с учетом указанного инновационного способа.

Ключевые слова: Арктическая зона, пожарная безопасность, экстремально низкие температуры, инновационный метод тушения

ABOUT THE FEATURES OF FIRE EXTINGUISHING ACTIONS IN ARCTIC CONDITIONS

A.D. Ishchenko; A.A. Tarantsev. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.L. Shidlovsky. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The features of objects in the Arctic zone and in the Far North are considered, taking into account the climatic conditions in this region. It is shown that the high energy saturation of modules that are part of Arctic objects leads to an increased risk of fire, and extremely low temperatures make it difficult to use known extinguishing agents and methods of extinguishing. An innovative method of suppressing a fire in the module by purging its volume with external low-temperature air is described. Features of actions of officials when extinguishing a fire at an Arctic object are given, taking into account the specified innovative method.

Keywords: Arctic zone, fire safety, extremely low temperatures, innovative method of extinguishing

Как следует из документов [1–7], еще со времен СССР и по наше время Правительством особое внимание уделялось Арктической зоне (АЗ) и Крайнему Северу (КС) России. Это вызвано рядом причин – как экономических (наличие природных богатств, Северный морской путь и др.), так научных и оборонных.

Суровые климатические условия (низкие температуры, ветра, долгий период полярной ночи и др.) налагают жесткие ограничения на конструкции объектов в АЗ и на КС. Это, прежде всего, модульность архитектуры (рис. 1), высокая энергонасыщенность помещений и автономность объектов. Кроме того, численность персонала объектов минимальна, а транспортная доступность ограничена [8].



Рис. 1. Схема модульной арктической исследовательской станции типа Halley VI

Высокая энергонасыщенность жилых, служебных и складских модулей повышает риск возникновения пожара, экстремально низкие температуры, малочисленность персонала затрудняют тушение пожаров [9] (рис. 2), а удаленность от населенных пунктов и Арктических спасательных центров (АСЦ) МЧС России (АСЦ МЧС) делает крайне сложным оперативное оказание помощи извне. Результатом этого может оказаться высокий риск для жизни и здоровья персонала, а также срыв выполнения задачи объектом. Подтверждением служит пожар 22 июня 2020 г. на антарктической станции «Мирный» [10], который привел к выходу из строя одного корпуса и повреждению другого, но обошелся без жертв.



Рис. 2. Сложность тушения пожаров в условиях экстремально низких температур:
а, б – работа пожарной техники; в – пожарный при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Способ подавления пожара в условиях низких температур

Жесткие условия АЗ и КС делают приоритетным требованием к способу тушения пожара в модуле скорейшее подавление процесса горения при обеспечении безопасности персонала и минимальном повреждении оборудования опасными факторами пожара (ОФП), в том числе огнетушащими веществами (ОТВ).

Ввиду сложности использования известных способов тушения [11] с использованием жидких ОТВ при низких температурах и ограниченной надежности автоматических установок пожаротушения (АУПТ) [12], а также потребности в обогреваемом объеме внутри модуля для хранения запаса ОТВ был предложен и запатентован принципиально новый способ тушения [13]. Он основан на эффекте продува горящего объема низкотемпературным наружным воздухом, что приводит к снижению среднеобъемной температуры и, как следствие, к прекращению горения ввиду резкого замедления скорости химических реакций [14, 15]. Кроме того, из объема модуля удаляются продукты горения, что снижает риск воздействия ОФП на персонал модуля при эвакуации и облегчает работу прибывшего пожарного расчета. Схема системы управления подавлением пожара в модуле с использованием способа [13] приведена на рис. 3.

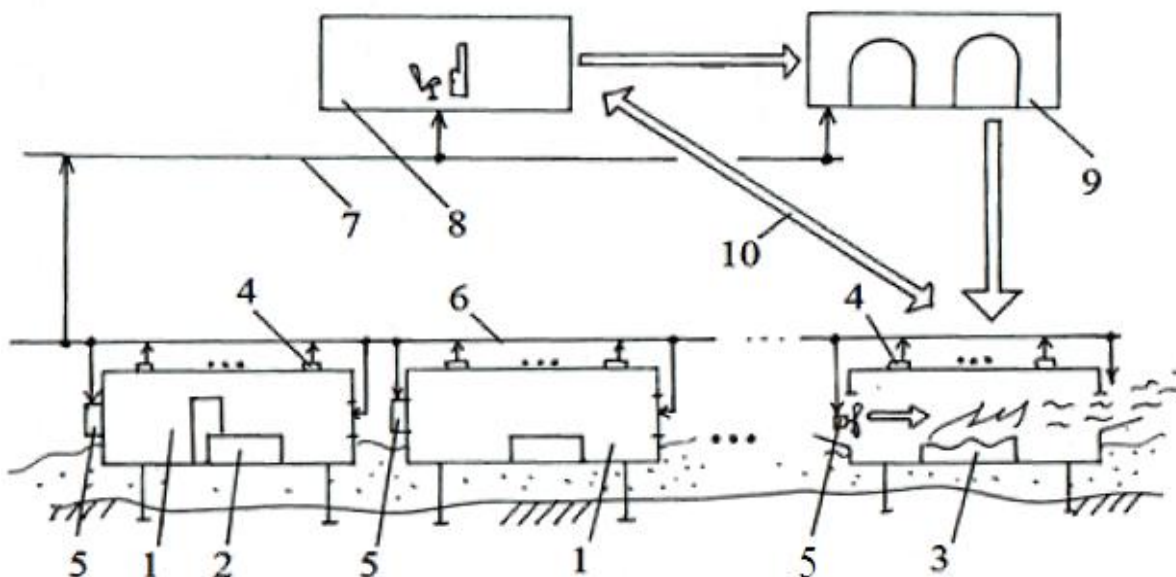


Рис. 3. Схема системы управления подавлением пожара в модулях посредством продувки низкотемпературным воздухом:
1 – теплоизолированный модуль; 2 – пожарная нагрузка; 3 – пожар в модуле;
4 – пожарный извещатель; 5 – вентилятор с приводом;
6 – информационно-командный канал; 7 – канал приема информации о пожаре;
8 – диспетчерский пункт с дежурным по объекту; 9 – пожарная часть; 10 – канал управления и координации действий по тушению пожара

Особенности принятия управленческих решений при тушении пожара

В случае возникновения пожара в модуле объекта, находящегося в АЗ или на КС, основными лицами, принимающими решения (ЛПР), будут: дежурный по объекту, руководитель тушения пожара (РТП), начальник объекта, а также дежурный по АСЦ МЧС.

Следует рассматривать два варианта начала пожара в модуле – когда в модуле находится персонал, который и обнаруживает возгорание, и когда в модуле нет постоянных рабочих мест, и возгорание обнаруживается датчиками автоматической пожарной сигнализации (АПС). В первом случае персонал модуля сообщает дежурному по объекту о факте возгорания и при невозможности подавления пожара подручными средствами (огнетушителями) включает систему продувки (рис. 3) и покидает модуль. Во втором случае АПС выдает дежурному сообщение о возгорании, затем включается система продувки либо автоматически, либо дежурным после получения им подтверждения факта возгорания. В обоих случаях блокируется переход в соседний модуль (при его наличии), например, опусканием противопожарного занавеса.

Последующие действия ЛПР при тушении пожара и ликвидации его последствий на объекте в АЗ приведены в таблице. При этом ошибочные или несвоевременные решения ЛПР – дежурного по объекту, его начальника и РТП могут привести к выгоранию модуля и выходу из строя его оборудования, а также в условиях экстремально низких температур – к риску для жизни и здоровья персонала и снижению функциональных возможностей объекта.

Необходимо особо учитывать, что пожар в энергомодуле и повреждение его оборудования может привести к обесточиванию объекта и прекращению теплоснабжения, что грозит катастрофическими последствиями в условиях АЗ и КС.

С целью восстановления функций объекта и обеспечения жизнедеятельности персонала по решению руководства АСЦ МЧС может быть применена баллистическая транспортная система [8, 16, 17], позволяющая экстренно доставить на объект необходимые грузы – запасное оборудование, медикаменты и др.

Таблица. Действия ЛПР в случае пожара на объекте в АЗ и на КС

ЛПР	Информация	Решения и действия ЛПР
Дежурный по объекту	Сообщение о пожаре в модуле, включении системы продува, наличии персонала, блокировки перехода в соседний модуль	1. Направление пожарного караула к модулю; 2. Информирование начальника объекта
	Получение информации от РТП и начальника объекта	1. Радиосвязь с РТП и начальником объекта, документирование информации, координация действий; 2. Информирование дежурного по АСЦ МЧС
Начальник пожарного караула – РТП	Предварительные сведения от дежурного по объекту	1. Проведение разведки пожара; 2. Дотушивание очагов пожара; 3. Спасение материальных ценностей; 4. Взаимодействие с начальником объекта
Начальник объекта	Получение сообщения о пожаре от дежурного по объекту	Прибытие к месту пожара
	Получение информации от РТП о ходе тушения, о состоянии модуля и оборудования в нем	Уяснение размера ущерба и информирование дежурного по АСЦ МЧС
Должностные лица объекта	Получение указаний от начальника объекта, в том числе через дежурного	Исполнение указаний начальника объекта и дежурного
Дежурный по АСЦ МЧС	Получение информации о пожаре, величине ущерба, состоянии персонала (пострадавших) и возможном снижении функциональных возможностей объекта	1. Связь с начальником объекта и/или дежурным; 2. Формирование заявки на доставку на объект необходимых грузов (оборудования, медикаментов и др.) и контроль доставки; 3. При необходимости организация эвакуации пострадавших с объекта

Таким образом, своевременные и безошибочные решения и действия ЛПР (дежурного по объекту, РТП, начальника объекта и дежурного по АСЦ МЧС) являются залогом минимизации ущерба при пожаре на каком-либо модуле объекта в АЗ и на КС. При этом могут быть применены перспективные способы подавления пожара в условиях экстремально низких температур и экстренной доставки на объект жизненно необходимых грузов для восстановления его функций и обеспечения безопасности персонала.

С учетом особенностей объектов в АЗ и на КС могут быть составлены детальные инструкции по действиям для всех категорий ЛПР на случай возникновения пожара.

Литература

1. Об объявлении территорий Союза ССР, земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане: постановление Президиума ЦИК СССР от 15 апр. 1926 г. // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

2. О государственной границе Российской Федерации: Закон Рос. Федерации от 1 апр. 1993 г. № 4730-1 (с изм.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г.: Указ Президента Рос. Федерации от 5 марта 2020 г. № 164. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 27 июня 2017 г. № 287. URL: <http://www.kremlin.ru> (дата обращения: 21.04.2020).

5. О государственной комиссии по вопросам развития Арктики: Указ Президента Рос. Федерации от 3 февр. 2015 г. № 50 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

6. Об исключительной экономической зоне Российской Федерации: Федер. закон от 17 дек. 1998 г. № 191-ФЗ (с изм. и доп.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути: Федер. закон от 28 июля 2012 г. № 132-ФЗ. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

8. Лосев М.А., Потапенко В.В., Таранцев А.А. О возможности экстренной доставки грузов на удаленные автономные объекты в Арктической зоне и на Крайнем Севере // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 89–98.

9. История развития технических средств борьбы с пожарами в условиях низких температур / М.В. Алешков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 11. С. 77–83.

10. На российской антарктической станции «Мирный» произошел пожар. URL: <https://youtu.be/eMFlu6WnChw> (дата обращения: 11.04.2020).

11. Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения АСР (утв. приказом МЧС от 16 окт. 2017 г. № 444, зарег. в Минюсте Рос. Федерации 20 февр. 2018 г., рег. № 50100). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

12. СП 5.13130.2013 СППЗ. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с изм.) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

13. Способ тушения пожара в помещении в условиях низких температур и устройство для его реализации: пат. 2714272 Рос. Федерация, МПК А62С 3/00 / А.А. Таранцев, А.А. Таранцев; заявитель и патентообл. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; заяв. от 13.03.2018; опубл. 13.02.20.

14. О проблеме подавления пожара на удаленных автономных объектах в условиях экстремально низких температур / А.А. Таранцев [и др.] // Пожары и ЧС: предотвращение, ликвидация. 2019. № 2. С. 30–40.

15. О способе подавления пожара на объектах Северного морского пути, в том числе на энергообъектах / А.А. Таранцев [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 4. № 4 (42). С. 202–207.

16. Стартовая установка для баллистического транспортного средства и способ ее применения: пат. 2706435 Рос. Федерация, МПК В64G 5/00(2006.01) E04H 6/42(2006.01) E04H 6/44(2006.01) / А.А. Таранцев, В.И. Чугунов, М.А. Лосев; заявитель и патентообл. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; заяв. 22.11.18; опубл. 19.11.19.

17. Комашинский В.И, Лосев М.А., Таранцев А.А. Моделирование системы экстренной доставки грузов для объектов Северного морского пути // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1. № 1 (39). С. 215–223.

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064

АНАЛИЗ ОПАСНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КРУПНЫХ ГОРОДОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**О.В. Ложкина, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент;
И.А. Онищенко.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Описаны результаты анализа за период 2010–2019 гг. опасного загрязнения воздушной среды крупных городов Арктической зоны Российской Федерации – Мурманска,

Архангельска, Норильска – с оценкой вклада автотранспорта в этот процесс. Установлено, что в период с 2010 по 2019 г. хроническое загрязнение атмосферы городов Мурманска и Архангельска практически преодолено, но в периоды неблагоприятных метеоусловий имеют место эпизоды локального пространственно-временного высокого и экстремально высокого загрязнения атмосферы, вклад автотранспорта составляет около 30 %. Город Норильск входит в приоритетный список городов Российской Федерации с самым высоким уровнем загрязнения воздуха. Вклад автотранспорта оценивается на уровне 10 %.

Ключевые слова: Арктическая зона, опасное загрязнение воздуха, автотранспорт, крупные города

ANALYSIS OF DANGEROUS AIR POLLUTION OF BIG CITIES IN THE ARCTIC ZONE BY VEHICLE EXHAUST EMISSIONS

O.V. Lozhkina; I.A. Onischenko.

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

The paper describes the results of the analysis of hazardous air pollution in large cities of the Arctic zone of the Russian Federation (Murmansk, Arkhangelsk, and Norilsk) over the period 2010–2019. The contribution of vehicles is also estimated. The chronic atmospheric pollution has been practically overcome over 2010–2019 in Murmansk and Arkhangelsk, but there are still episodes of local Spatio-temporal high and extremely high air pollution at adverse weather conditions. The contribution of vehicles is about 30 %. Norilsk is in the priority list of the Russian cities with the highest level of air pollution. The share of motor transport is estimated to be about 10 %.

Keywords: Arctic zone, dangerous air pollution, motor transport, large cities

По данным, опубликованным в оценочном докладе Росгидромета по изменению климата [1], примерно со второй половины 1970-х гг. на территории нашей страны средняя температура воздуха увеличивается со скоростью 0,43 °С за десятилетие, и это более чем в два с половиной раза больше скорости мирового глобального потепления. Особенно значительные изменения климата наблюдаются в Арктике и субарктической зоне многолетней мерзлоты, что сопровождается глобальными экологическими проблемами в этом крайне уязвимом регионе [1].

Изменение климата происходит из-за собственных колебаний климатической системы, колебаний притока солнечной радиации, изменения геологической активности планеты, в то же время в последнее столетие антропогенное воздействие тоже приобрело ощутимую роль. Выбросы загрязняющих веществ (угарного газа, диоксида серы, оксидов азота, летучих органических соединений), парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота), аэрозолей (прежде всего, поглощающего солнечную радиацию черного углерода), образующихся при сжигании органического топлива и при различных видах производственной деятельности, оказывают крайне негативное воздействие на здоровье населения, флору, фауну, объекты инфраструктуры и изменение климата [2–7]. Все эти вещества переносятся воздушными массами на большие расстояния и оказывают, в том числе, крайне негативное влияние на климатический режим Арктики [8, 9].

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» города Мурманск, Архангельск и Норильск, наряду с другими территориями, включены в Арктическую зону нашей страны. Это большие города Крайнего Севера с численностью населения более 180 000 человек.

Мурманск является крупнейшим городом, расположенным за Северным полярным кругом в атлантико-арктической зоне, численность населения, по состоянию на 2019 г., составила 292 465 человек. Климат в городе определяется влиянием Баренцева моря, а также теплым Северо-Атлантическим течением, являющимся продолжением Гольфстрима, благодаря

чему, в отличие от остальных городов, расположенных примерно на этой же широте, например Норильска, для Мурманска характерны относительно высокие зимние температуры – средняя температура воздуха зимой составляет около -10 – (-12) °С, и умеренно холодные летние температуры – средняя температура воздуха летом 11 – 13 °С. Абсолютный минимум – $-39,4$ °С, продолжительность периода с температурой воздуха ниже 0 °С – с октября по апрель включительно [10].

Архангельск расположен на севере Европейской части Российской Федерации, является самым крупным северным городом нашей страны – численность населения, по состоянию на 2019 г., составила 346 979 человек. Для города характерен умеренный морской климат, формируемый под влиянием северных морей и воздушных масс, переносимых с Атлантического моря, средняя температура воздуха зимой составляет -11 – (-13) °С, средний температурный зимний минимум -15 – (-16) °С, абсолютный минимум за последние 10 лет – $-41,3$ °С, средняя температура летом – 13 – 15 °С, продолжительность периода с температурой воздуха ниже 0 °С – с октября по апрель включительно [10].

Норильск является самым северным городом с населением, по состоянию на 2019 г., 180 976 человек, расположен на севере Красноярского края – 300 км севернее Полярного круга. Город отличается исключительно суровым субарктическим климатом, средняя температура воздуха в зимний период составляет около -28 °С, абсолютный температурный минимум -53 °С, климатическая зима с отрицательной температурой воздуха длится девять месяцев – с сентября по май включительно, лето короткое (июнь–август) и прохладное со средней температурой воздуха 9 – 10 °С [10].

Основными источниками загрязнения воздуха российской Арктической зоны являются предприятия черной и цветной металлургии, предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды, целлюлозно-бумажные комбинаты, предприятия по добыче полезных ископаемых [1, 8]. В последние два десятилетия значимым источником загрязнения воздушной среды стал автомобильный транспорт.

Одними из главных факторов формирования чрезвычайно высокого уровня загрязнения воздушной среды Арктической зоны являются черный углерод (сажа) и кислотообразующие оксиды – оксиды азота и диоксид серы. Черный углерод, оседая на белоснежных арктических покровах, изменяет их отражательные характеристики, а NO_x и SO_2 приводят к закислению атмосферных осадков, что в целом способствует преждевременному таянию снежного покрова и ледников. Оксид и диоксид азота, кроме того, играют сложную и важную роль в фотохимических процессах, происходящих в тропосфере и стратосфере, и являются причиной образования фотохимического смога и высоких концентраций тропосферного озона.

Анализ статистических данных за период 2010–2019 гг. показал, что в течение последних десяти лет наметилась позитивная тенденция улучшения качества воздуха в некоторых городах Арктической зоны Российской Федерации [11]. В 2010–2019 гг. имело место снижение уровня загрязнения приземной атмосферы в городах Мурманске и Архангельске. В то же время уровень загрязнения воздушной среды в Норильске по-прежнему остается очень высоким.

Постепенно возрастает роль передвижных источников в загрязнении атмосферы урбанизированных территорий Крайнего Севера. В Мурманской области вклад автотранспорта в валовые выбросы увеличился с $16,2$ % в 2010 г. до $27,9$ % в 2018 г. [12, 13]. При этом в 2018 г. выбросы от автотранспорта в суммарном валовом выбросе поллютантов составили $70,8$ % по CO , $31,5$ % по NO_x и $84,1$ % по летучим органическим соединениям.

Анализ данных измерений свидетельствует о том, что в г. Мурманске в зимние месяцы в 2010–2013 гг. регулярно имело место повышенное содержание оксидов азота в воздухе до $1,5$ – 2 ПДК_{СС} [14], что связано с выбросами автотранспорта и предприятий теплоэнергетического комплекса. Наибольшая среднемесячная концентрация (2 ПДК_{СС}) наблюдалась в январе 2012 г. в центре Мурманска [14]. По результатам анализа информации, представленной в Государственном докладе за 2019 г., можно сделать вывод о том, что ситуация хронического загрязнения воздуха преодолена, в то же время при неблагоприятных метеорологических условиях имеют место локальные пространственно-временные эпизоды

превышения концентраций поллютантов: в 2018–2019 гг. в зимнее время наблюдались повышенные разовые концентрации оксидов азота, оксида углерода до 1,5 ПДК_{МР} и высокие среднемесячные концентрации бенз(а)пирена – до 2,5 ПДК_{СС} (январь); в июле–августе среднемесячные концентрации формальдегида достигали 1,2–1,7 ПДК [15].

В Архангельской области на долю автотранспорта приходится 8,4 % валовых выбросов загрязняющих веществ, при этом в самом г. Архангельске вклад автотранспорта выше – около 30 % [16]. По данным Государственного доклада [16], в 2019 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Архангельске в январе, феврале и марте оценивался как высокий, в мае, июне и с августа по декабрь – как повышенный, в апреле и июле – как низкий. В городе наблюдались превышения ПДК_{СС} по СО и NO₂ до 2 ПДК_{СС}. В январе 2019 г. было зафиксировано два случая экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном – до 13,9 ПДК_{МР}.

Норильск уже в течение многих лет входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения [11]. К ключевым загрязнителям городского воздуха относятся NO₂, SO₂, NO, мелкодисперсные взвешенные частицы, бенз(а)пирен. Изучение материалов государственных докладов [17, 18] показало, что в Красноярском крае в 2018–2019 гг. на г. Норильск приходилось 77,8 % валовых выбросов загрязняющих веществ. Основным источником загрязнения является ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель». Данные о доле выбросов от передвижных источников в суммарных валовых выбросах ЗВ в г. Норильске неизвестны, однако в целом по краю они составляют 10,3 % и, как указывается в докладе [17], постоянно увеличиваются.

Чрезвычайно высокое загрязнение воздушной среды г. Норильска подтверждается результатами химического анализа атмосферных осадков: выпадение серы в виде сульфатов превысило в городе критическое значение нагрузки в 5,2 раза и составило 10,4 т/км² год – это самый высокий показатель в России. А среднегодовая концентрация диоксида серы постоянно выше соответствующего предельно допустимого значения более чем в два раза [17].

Среднегодовая концентрация диоксид азота в 2018 г. составила 2,38 ПДК_{СС}. Максимальное превышение ПДК_{МР} по диоксиду азоту было зафиксировано на центральной ул. Ленина 24 февраля и составило 3,85 ПДК_{МР}. Можно предположить, что высокий уровень загрязнения воздушной среды в центре г. Норильска оксидами азота связан, главным образом, с выбросами автотранспорта.

В течение последних лет автомобильный транспорт стал играть заметную роль в загрязнении атмосферного воздуха крупных городов Арктической зоны, поэтому, очевидно, что для разработки методических подходов для оценки и прогнозирования выбросов поллютантов от автотранспортных средств при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах Крайнего Севера требуется провести анализ структуры автотранспортного парка с учетом типов и экологических классов автотранспортных средств, видов используемого моторного топлива и условий движения.

В рамках данного исследования был осуществлен анализ известных и открытых баз данных, содержащих сведения о численности населения и о численности и структуре автопарка в вышеупомянутых городах, с использованием официальных интернет-сервисов Федеральной службы государственной статистики, Государственной инспекции безопасности дорожного движения, справочной информации аналитического агентства «Автостат» и маркетингового агентства «Russian Automotive Market Research».

Анализ данных свидетельствует о практическом отсутствии в доступных широкому кругу пользователей источниках информации сведений о наличии автотранспортных средств, зарегистрированных в городах и населенных пунктах.

В то же время в открытом доступе имеются сведения о численности, типовой и возрастной структуре автопарка в субъектах (регионах) Российской Федерации, где находятся вышеупомянутые промышленные центры – Архангельской области, Мурманской области и Красноярского края.

На основе анализа структуры автопарка по производителю, авторы пришли к выводу, что:

– в сегменте легкового автотранспорта доля автотранспортных средств иностранного производства больше, чем отечественных, и составляет 62,4 % в Архангельской области, 63,0 % в Красноярском крае и 70,6 % в Мурманской области;

– в сегменте грузового автотранспорта доля автотранспортных средств иностранного производства меньше, чем отечественных, и составляет 14,5 % в Архангельской области, 20,7 % в Красноярском крае и 24,5 % в Мурманской области;

– в сегменте автобусов доля автотранспортных средств иностранного производства меньше, чем отечественных, и составляет 6,9 % в Архангельской области, 14,4 % в Красноярском крае и 23,6 % в Мурманской области.

Возрастная структура автомобильного парка исследуемых регионов Российской Федерации отражена на рис. 1–3.

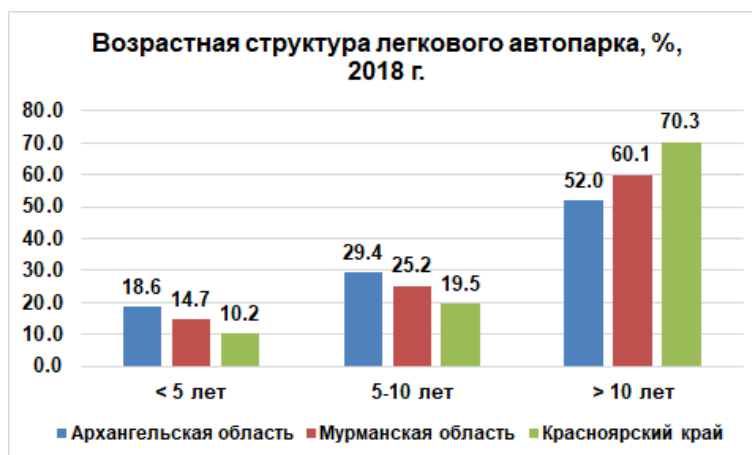


Рис. 1. Возрастная структура парка легковых автотранспортных средств в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае по состоянию на 2018 г.

Анализ данных, приведенных на рис. 1, показывает, что в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае доля автомобилей в категории < 5 лет, соответствующих, в основном, экологическому классу Евро 5, составляет соответственно 18,6 %, 14,7 % и 10,2 %; на долю автомобилей в категории 5–10 лет, соответствующих, в основном, экологическим классам Евро 4 и Евро 3, приходится соответственно 29,4 %, 25,2 % и 19,5 %; на долю старых автомобилей в категории > 10 лет, состоящей из автомобилей иностранного производства экологических классов Евро 1 – Евро 3 и отечественных автомобилей, которые условно можно отнести к экологическим классам Евро 0 – Евро 2, приходится соответственно 52,0 %, 60,1 % и 70,3 %.

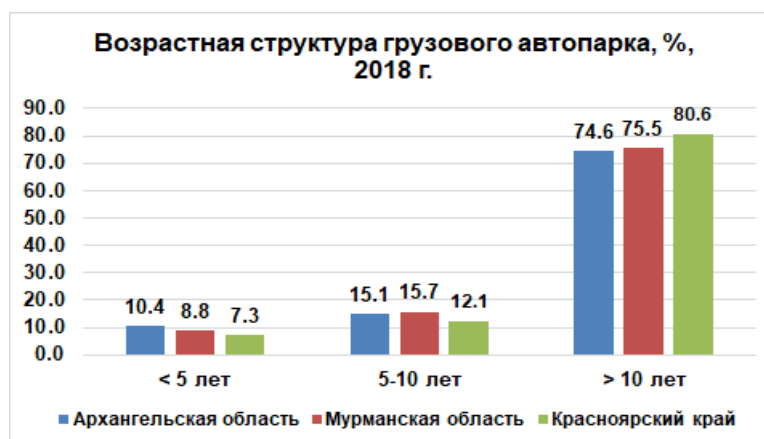


Рис. 2. Возрастная структура парка грузовых автотранспортных средств в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае по состоянию на 2018 г.

В отношении возрастной структуры парка грузовых автотранспортных средств (рис. 2) можно сделать вывод, что в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае доля автомобилей в категории < 5 лет составляет соответственно 10,4 %, 8,8 % и 7,3 %; на долю автомобилей в категории 5–10 лет приходится соответственно 15,1 %, 15,7 % и 12,1 %; на долю старых автомобилей в категории > 10 лет приходится 74,6 %, 75,5 % и 80,6 %.

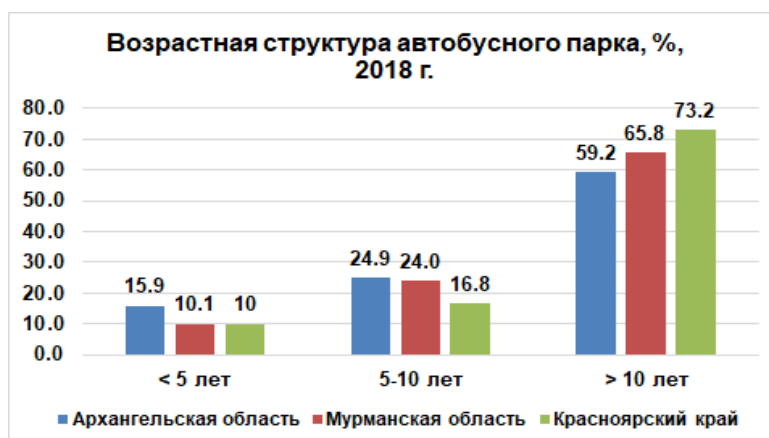


Рис. 3. Возрастная структура автобусного парка в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае по состоянию на 2018 г.

Анализ данных о структуре автобусного парка (рис. 3) показывает, что в Архангельской и Мурманской областях и Красноярском крае доля автобусов в категории менее 5 лет составляет соответственно 15,9 %, 10,1 % и 10,0 %; доля автобусов в категории 5–10 лет составляет соответственно 24,9 %, 24,0 % и 16,8 %; а доля старых автобусов в категории более 10 лет – 59,2 %, 65,8 % и 73,2 % соответственно.

На основании проведенного исследования авторы пришли к заключению, что высокие и экстремально высокие уровни загрязнения воздуха в крупных городах Арктической зоны Российской Федерации наблюдаются в зимний период, чему способствуют низкие температуры, инверсионные явления, штилевая погода, образование туманов, приводящие в совокупности к аккумулярованию опасных примесей в приземной атмосфере. За последнее десятилетие в г. Мурманске и г. Архангельске наметилась положительная тенденция сокращения выбросов от стационарных источников, что в целом привело к снижению уровня загрязнения воздуха в этих городах, но одновременно наблюдается устойчивый тренд роста вклада автотранспорта в суммарные валовые выбросы, который достиг практически 30 %, по состоянию на 2018–2019 гг. Город Норильск входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения, и уровень загрязнения воздуха характеризуется здесь как очень высокий, что связано в первую очередь с выбросами предприятий цветной металлургии, но в то же время вклад автотранспорта в валовые выбросы тоже ощутим – не менее 10 %.

Анализ структуры парка автотранспортных средств в исследованных регионах позволяет сделать вывод о том, что в них довольно высока доля автомобилей старше 10 лет и именно они вносят основной вклад в чрезвычайное загрязнение приземного атмосферного воздуха в окрестностях автомагистралей в периоды неблагоприятных транспортно-метеорологических условий.

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 61 с.
2. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Количественная оценка выбросов поллютантов и парниковых газов автотранспортом по европейской методологии Sorpert, адаптированной

- к условиям Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4 (28). С. 19–26.
3. О загрязнении воздуха тепловыми двигателями и их пожарной и экологической безопасности / В.Н. Ложкин [и др.] // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. № 3 (207). С. 80–87.
 4. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Гавкалюк Б.В. Методические подходы контроля промышленной санитарно-гигиенической безопасности транспортных и стационарных дизельных установок в Арктике // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 58–64.
 5. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Комплексная методология оценки и прогнозирования экологических угроз и социально-экономического ущерба, обусловленных опасным воздействием объектов транспорта и теплоэнергетики на население Крайнего Севера // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2019. № 1 (47). С. 8–11.
 6. Ложкин В.Н., Захарова Е.А., Ложкина О.В. Исследование эмиссии NO₂ двигателей на автомагистрали // Известия Международной академии аграрного образования. 2019. № 47. С. 25–28.
 7. Мусиенко Т.В., Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Методология прогноза экологического ущерба от транспортного сектора в Санкт-Петербурге // Ученые записки Международного банковского института. 2019. № 3 (29). С. 91–106.
 8. Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 гг. на территории России и поступление черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 6. С. 482–487.
 9. Прохоренков А.М. Мониторинг путей поступления загрязняющих веществ в арктическую атмосферу и определение источников ее загрязнения // Успехи современного естествознания. 2006. № 4. С. 71.
 10. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://www.meteorf.ru/> (дата обращения: 06.05.2020).
 11. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 225 с.
 12. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2011 году. Мурманск: ООО «Ростсервис», 2012. 152 с.
 13. О состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2018 году: гос. доклад. Мурманск: Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области, 2019. 185 с.
 14. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2013 году: гос. доклад. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области, 2014. 191 с.
 15. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2019 году: материалы для гос. доклада. Мурманск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области, 2020. 229 с.
 16. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2019 году: гос. доклад. Архангельск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Архангельской области, 2020. 191 с.
 17. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году: гос. доклад. Красноярск: КГБУ «ЦРМПиООС», 2019. 302 с.
 18. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2019 году: гос. доклад. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 2020. 313 с.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ЗАЩИТЫ

С.Н. Северин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

М.А. Тищенко.

Главное управление МЧС России по Белгородской области.

В.В. Шаптала, кандидат технических наук, доцент.

Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина

Пожарная безопасность объектов защиты определяется качеством реализации ряда организационно-технических факторов, существенно зависит от строительно-архитектурных особенностей зданий, их конструктивных и объемно-планировочных решений. Для учета всех этих и других факторов при разработке и принятии решений в области управления пожарной безопасностью в статье предлагается использовать дополнительный критерий – числовую оценку противопожарного состояния объектов защиты и приводится методика ее определения. Предлагаемая методика может применяться для получения экспресс-оценок состояния пожарной безопасности объектов в ходе контрольно-надзорных мероприятий, а также для сравнительного анализа альтернативных вариантов организационно-технических и проектных решений по обеспечению пожарной безопасности объектов при их строительстве и реконструкции существующих объектов защиты.

Ключевые слова: объекты защиты, пожарная безопасность, экспертные оценки, количественная оценка противопожарного состояния

QUANTITATIVE EVALUATION OF FIRE-PREVENTION CONDITION OF OBJECT OF PROTECTION

S.N. Severin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

M.A. Tishchenko. The main Department of EMERCOM of Russia in the Belgorod region.

V.V. Shaptala.

Belgorod law institute of the Ministry of internal affairs of Russia named after I.D. Putilin

Fire safety of objects of protection is determined by the quality of implementation of a number of organizational and technical factors, significantly depends on the construction and architectural features of buildings, their design and space-planning decisions. To take all these factors into account when developing and making decisions in the field of fire safety management, the article proposes to use an additional criterion - a numerical assessment of the teaching staff of the objects to be protected and a methodology for its determination is given. The proposed methodology can be used to obtain express assessments of the state of fire safety of objects during control and surveillance activities, as well as for a comparative analysis of alternative options for organizational, technical and design solutions to ensure fire safety of objects during their construction and reconstruction.

Keywords: objects of protection, fire safety, expert assessments, quantitative assessment of the fire condition

Важнейшим условием поддержания на требуемом уровне пожарной безопасности объектов защиты является контроль соблюдения требований пожарной безопасности [1–5], осуществляемый органами государственного пожарного надзора [1–5] на основе проверочных

листов, содержащих основные противопожарные мероприятия и список обязательных требований пожарной безопасности (ОТПБ) [6]. Задачей противопожарного контроля является не только выявление и пресечение нарушений требований пожарной безопасности, но и организация противопожарной профилактики [7], то есть разработка мер по предотвращению нарушений требований пожарной безопасности. Для разработки таких мер необходима детальная информация о состоянии системы пожарной безопасности объектов защиты. Для упрощения анализа такой информации целесообразно многочисленные и разнообразные факторы пожарной опасности и противопожарной защиты объединить (агрегировать) в несколько укрупненных обобщающих базисных факторов пожарной безопасности. Например, в первый базисный фактор можно включить все частные факторы и организационно-технические мероприятия, относящиеся к материально-технической базе противопожарной защиты. Это, прежде всего, степень соответствия здания объекта и его оснащения исходным проектным решениям [1–5, 8], разработанным в соответствии с требованиями пожарной безопасности, в частности наличие и состояние системы обеспечения пожарной безопасности объекта и ее основных подсистем: устройств пожарной автоматики, средств индивидуальной и коллективной защиты людей от опасных факторов пожара, первичных, автономных и автоматических средств и установок пожаротушения, внутреннего и наружного противопожарного водопровода. Во второй базисный фактор можно включить частные факторы и мероприятия, определяющие пожароопасность объекта. Это минимизация пожарной нагрузки объекта, исключение или строгое ограничение присутствия на объекте пожаро- и взрывоопасных веществ и материалов [9].

Требуется ограниченное использование и строгий контроль за состоянием потенциальных источников зажигания, прежде всего, электрооборудования [10, 11], использование на объекте конструкционных и отделочных материалов, пожарно-технические свойства которых соответствуют требованиям пожарной безопасности. Многие пожары на объектах защиты происходят по вине людей из-за некомпетентности, ошибок или халатности лиц, ответственных за соблюдение пожарной безопасности, а также вследствие недисциплинированности находящихся на объекте людей. Поэтому к числу базисных необходимо отнести также человеческий фактор [12, 13], включающий в себя осознание каждым, находящимся на объекте человеком жизненной необходимости и личной ответственности за соблюдение требований пожарной безопасности, а также способность каждого человека и коллектива в целом правильно и организованно действовать при возникновении пожара или пожароопасной ситуации. Предпосылками снижения возможного негативного влияния человеческого фактора на пожарную безопасность объекта являются: назначение компетентных и требовательных лиц, ответственных за пожарную безопасность всех структурных подразделений объекта и его инженерно-технических систем (отопление, вентиляция) и всего электрохозяйства. Следует также подобрать и назначить работника, ответственного за работоспособность и своевременное обслуживание технических средств противопожарной защиты. Первостепенное значение имеет установление и поддержание на объекте строгого противопожарного режима. На объекте должна действовать система регулярных и качественно проводимых противопожарных инструктажей, должна работать система обучения, переподготовки и аттестации работников в области пожарной безопасности. Необходимо проведение регулярных учебно-практических тренировок действиям и эвакуации людей в случае возникновения пожара.

Определяемые экспертами относительные вклады отдельных базисных факторов в обеспечение пожарной безопасности объекта обозначим a_1, a_2, a_3 , где $a_i \in [0,1]$, $\sum a_i = 1$.

В первом грубом приближении весовые коэффициенты базисных факторов можно определить с помощью вербально-числовой шкалы Харрингтона [14, 15] (табл.) или положить равными долям ОТПБ, относящихся согласно опросному листу к отдельным базисным факторам.

Таблица. Вербально-числовая шкала Харрингтона

Степень значимости факторов	Очень низкое	Низкое	Среднее	Высокое	Очень высокое
Числовые интервалы	0–0,2	0,2–0,37	0,37–0,63	0,63–0,8	0,8–1

Уточнение значений весовых коэффициентов базисных факторов выполняется с помощью математических методов обработки результатов экспертных оценок, например с помощью метода парных сравнений [16, 17].

Задачей проверки соответствия объектов защиты ОТПБ является не только выявление и пресечение нарушений ОТПБ, но также сбор и анализ информации, необходимой для организации противопожарной профилактической работы, то есть разработки мер по предотвращению нарушений ОТПБ [6]. Противопожарное состояние объекта определяется состоянием базисных факторов пожарной безопасности. Информация о состоянии данных факторов имеет две составляющие: количественную и качественную. Количественная составляющая выражается в виде следующих числовых характеристик: абсолютных и относительных количеств нарушенных и выполненных требований пожарной безопасности среди всех требований, относящихся к данному фактору. Рассматриваются также изменения этих показателей относительно их значений, усредненных по выборкам однотипных объектов или по некоторым временным интервалам. Количественная информация о состоянии базисных факторов не является полной. Числовые показатели не учитывают опасности отдельных нарушений требований пожарной безопасности, не отражают взаимовлияния и взаимодействия различных факторов пожарной опасности и пожарной защиты, однако все эти и другие особенности и аспекты состояния базисных факторов замечаются инспекторами, воспринимаются и фиксируются в их памяти в виде впечатлений, мнений, суждений, отношений [18], на основе которых инспекторы по итогам проверки, опираясь на свои знания, интуицию и практический опыт могут вполне обоснованно вербально (то есть в словесной форме) сформулировать свои оценки качества состояния отдельных базисных факторов и системы в целом. Так формируются неколичественная качественная, вербальная составляющая информации о состоянии пожарной безопасности. Эта часть информации субъективна, расплывчата, поэтому не может быть непосредственно использована для решения практических вопросов организации пожарной безопасности, однако учет этой информации может оказаться полезным при выработке управляющих воздействий и решений в области пожарной безопасности. В связи с этим актуальна разработка метода комплексной оценки противопожарного состояния объекта с учетом всей имеющейся информации: количественной и вербальной [14, 19–24]. В силу нечеткого характера вербальной информации для решения этой задачи целесообразно применение методов нечеткой логики [22, 23].

Для обозначения степеней качества состояния базисных факторов введем нечеткую лингвистическую переменную L [25], которая может принимать три возможных значения (терма): плохое, удовлетворительное и хорошее. Поскольку качество состояния базисных факторов определяется степенью их соответствия требованиям пожарной безопасности, то в качестве базового множества лингвистической переменной L примем $X=[0, 100]$, где x – процент выполненных требований пожарной безопасности среди всех требований, относящихся к данному фактору. Степень уверенности эксперта в том, что состояние i

базисного фактора соответствует j степени качества обозначим U_{ij} , $\sum_{j=1}^3 U_{ij} = 1$.

Каждое значение переменной x с различными степенями уверенности $U_{ij}(x)$ может относиться к j терму качества i базисного фактора. Числа $U_{ij}(x)$ будем считать равными значениям функции принадлежности $U_{ij}(x) = \mu_{ij}(x)$. Значения функции $\mu_{ij}(x)$

определяются путем обработки данных экспертных опросов. Для снижения трудоемкости количественного оценивания противопожарного состояния объектов для основных типов поднадзорных объектов функции принадлежности могут быть выведены заблаговременно (рис. 1). Для выполнения этой подготовительной работы целесообразно привлечение в качестве экспертов государственных инспекторов личного состава территориальных органов МЧС России. Экспертные опросы целесообразно выполнять путем заполнения специальных матриц анкетирования с их последующей статистической обработкой.

Для аппроксимации этих данных используются кусочно-линейные и другие функции. Для рассматриваемой задачи будем использовать кусочно-линейные Z-образные, трапециевидальные и S-образные функции принадлежности:

$$f_{\downarrow}(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases} ;$$

$$f_T(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} ;$$

$$f_{\uparrow}(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases} .$$

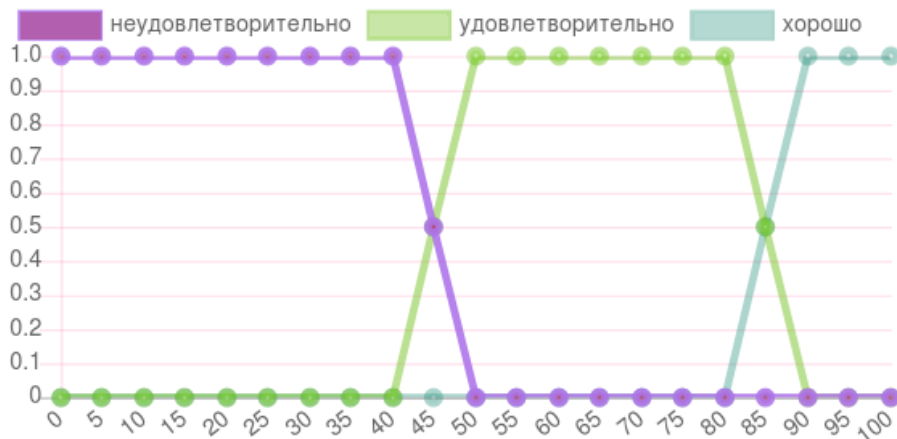


Рис. 1. Графики функций принадлежности базисных факторов

Процедуру получения интегральной оценки противопожарного состояния объекта можно разбить на следующие этапы:

1. Для каждого фактора экспертом определяются степени уверенности в соответствии качества состояния фактора каждому из трех термов U_{ij} .

2. Для каждого фактора определяется функция принадлежности его фактического состояния путем объединения усеченных на уровнях U_{ij} функций принадлежности базовых значений лингвистической переменной L .

3. Определение нечеткого множества интегрального показателя качества путем объединения нечетких множеств состояний факторов с учетом их весов.

4. Дефазификация нечеткого множества интегрального показателя.

Рассмотрим пример. Пусть в результате проверки соответствия объекта требованиям пожарной безопасности инспектор оценил состояния базисных факторов следующим образом:

$U_{11}=0,1$	$U_{12}=0,9$	$U_{13}=0$
$U_{21}=0,7$	$U_{22}=0,3$	$U_{23}=0$
$U_{31}=0$	$U_{32}=0,2$	$U_{33}=0,8$

Также в результате экспертного анализа получены следующие значения весовых коэффициентов базисных факторов: (0,6; 0,2; 0,2).

На следующем этапе получаем функции принадлежности фактического состояния факторов (рис. 2–4):

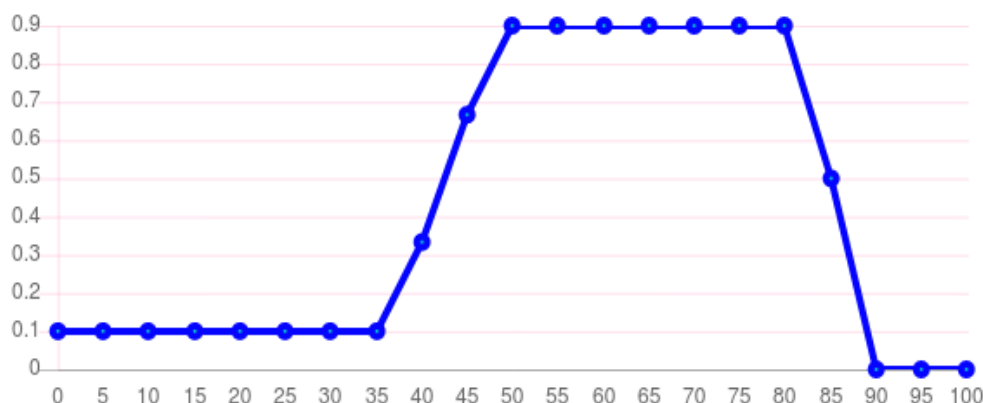


Рис. 2. График функции принадлежности фактического состояния первого базисного фактора

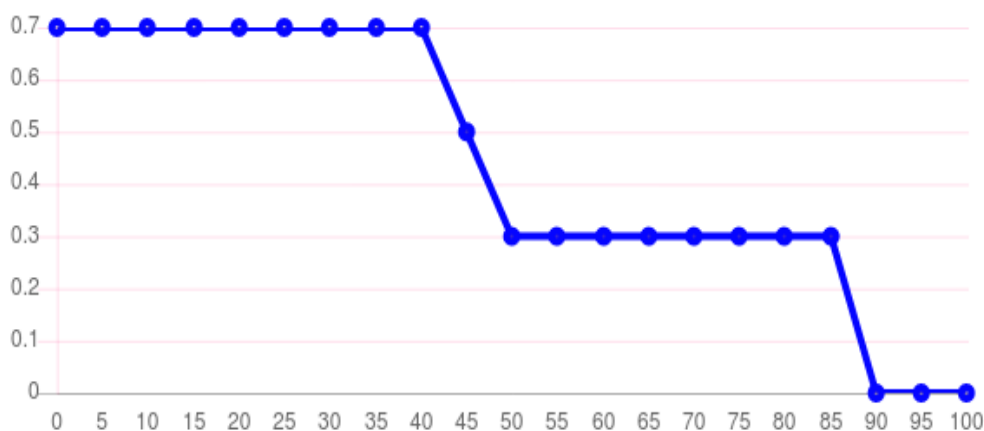


Рис. 3. График функции принадлежности фактического состояния второго базисного фактора

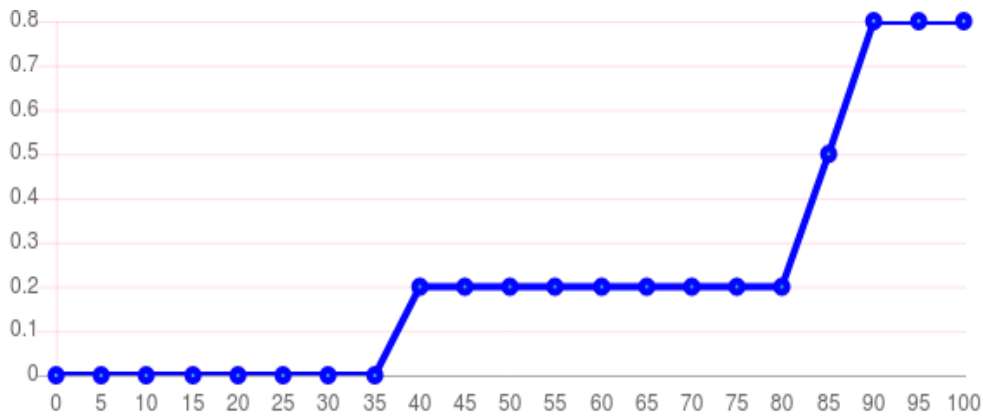


Рис. 4. График функции принадлежности фактического состояния третьего базисного фактора

Далее определяем функцию принадлежности нечеткому множеству интегральной оценки соответствия требованиям пожарной безопасности (рис. 5):

$$\mu(x) = \max(a_i \mu_i(x)).$$

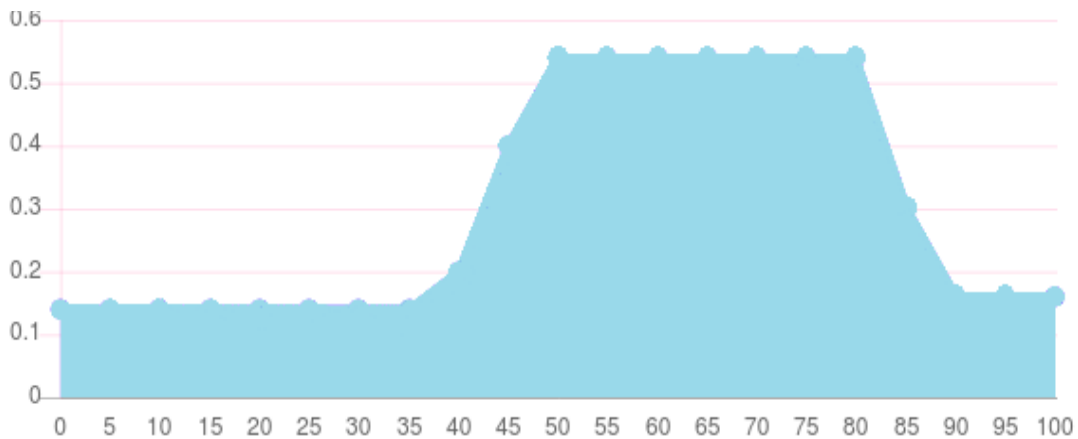


Рис. 5. Функция принадлежности интегрального показателя качества

На последнем этапе в результате дефазификации нечеткого множества интегрального показателя методом центра тяжести находится четкая характеристика состояния объекта:

$$V_{\text{ППС}} = \frac{\sum x_i \cdot \mu_i}{\sum \mu_i} = 57.7 \text{ .}$$

На основе количественных оценок противопожарного состояния (ППС) объектов может быть составлен рейтинг их пожарной безопасности, необходимый для организации системы мониторинга и планирования профилактической работы. Сравнение количественных оценок ППС объектов позволяет исследовать динамику изменения эффективности противопожарных мероприятий в результате изменения внешних условий и условий функционирования объектов.

Количественный анализ состояния объектов необходим также для планирования рационального расходования ограниченного резерва средств и ресурсов, направляемых на обеспечение пожарной безопасности объектов защиты.

Литература

1. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Правила противопожарного режима Российской Федерации (утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390). URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/postanovleniya-pravitelstva-rf/602> (дата обращения: 14.03.2020).
4. Об утверждении основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 г.: Указ Президента Рос. Федерации от 1 янв. 2018 г. № 2. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. О Федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 дек. 2004 г. № 820. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
6. Об утверждении форм проверочных листов, используемых должностными лицами федерального государственного пожарного надзора МЧС России при проведении плановых проверок по контролю за соблюдением требований пожарной безопасности: приказ МЧС России от 28 июня 2018 г. № 261. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
7. Кириллов Г.Н. Государственный пожарный надзор: учеб. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2006. 396 с.
8. СНиП 21–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.05.2015).
9. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2-х ч. М.: Ассоциация. Пожнаука. 2004. 357 + 378 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: НЦ ЭНАС, 2007. 304 с.
11. Костарев Н.П., Черкасов В.Н. Пожарная безопасность электроустановок. М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. 107 с.
12. Либерман А.Н. Техносферная безопасность. Человеческий фактор. СПб., 2006. 101 с.
13. Северин Н.Н., Шаптала В.В. Влияние человеческого фактора на пожарную безопасность образовательных учреждений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 155–159.
14. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические модели управления в ГПС и РСЧС. М.: АГПС: МЧС России, 2018. 250 с.
15. Harrington E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. 2015. V 61. № 32. P. 567–575.
16. Орлов А.И. Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 486 с.
17. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 264 с.
18. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества (основы квалиметрии). М.: Экономика, 1982. 256 с.
19. Смирнов А.С., Бирюков М.С. Диагностика и прогнозирование противопожарного состояния опасных производственных объектов в условиях динамического изменения параметров среды функционирования: монография / под ред. В.С. Артамонова. СПб.: СПб ун-т ГПС МЧС России, 2007.
20. Актуальные вопросы нормирования пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей / Ю.Е. Актерский [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов VI Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 3–6.
21. Смирнов А.С., Бирюков М.С. Методика получения интегрального показателя оценки ППС ОПО // Пожарная охрана Мира. Расширение функций и задач: материалы междунар. конф. КТИФ. СПб.: С.-Петерб. ин-т ГПС МЧС России, 2005.
22. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радиосвязь, 1982. 432 с.

23. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия. Телеком, 2012. 284 с.
24. Спесивцев А.В. Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПИИА РАН, 2019. 372 с.
25. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК [622.868:622.411.3]:[62-543.27.05]-519

МНОГОТОЧЕЧНЫЙ ПРОБООТБОРНИК ПОЖАРНЫХ ГАЗОВ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**В.В. Мамаев, доктор технических наук, старший научный сотрудник;
А.В. Агарков.**

**Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного
дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор»
МЧС Донецкой Народной Республики**

Выполнен анализ пожаров на горнодобывающих предприятиях и методики дистанционного контроля шахтной среды при ведении аварийно-спасательных работ. Выявлены недостатки, сказывающиеся на снижении и отсутствии достоверности проб пожарных газов, отобранных на значительном расстоянии. Обоснованы параметры многоточечного пробоотборника пожарных газов, предназначенного для повышения достоверности контроля шахтной среды в аварийных, в том числе изолированных пожарных участках. Полученные результаты будут служить основой для разработки конструкторской документации на усовершенствованную систему дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах.

Ключевые слова: угольная шахта, подземный пожар, аварийно-спасательные работы, горноспасательная служба, газовая обстановка, аэрогазодинамика

MULTIPOINT FIRE GAS SAMPLER FOR EMERGENCY RESCUE WORKS AT THE MINING ENTERPRISES

V.V. Mamaev; A.V. Agarkov.

The «Respirator» State scientific research institute of mine-rescue work, fire safety and civil protection of EMERCOM of the Donetsk People's Republic

The analysis of fires at the mining enterprises and the methodologies of remote monitoring of the mine environment during emergency rescue operations has been conducted. Deficiencies have been identified that affect the decrease and lack of reliability of the fire gas samples taken at the considerable distance. The parameters of a multipoint fire gas sampler designed to increase the reliability of monitoring the mine environment in emergency areas including the sealed fire sections have been substantiated. The obtained results will serve as the basis for the development of design documentation for the improved system for remote sampling and rapid analysis of fire gas samples during emergency rescue operations in coal mines.

Keywords: coal mine, underground fire, emergency rescue operations, mine rescue service, gas situation, gas dynamics

Горнодобывающая промышленность – одна из ведущих и основных отраслей мировой экономики, которая является гарантом социально-экономического развития общества [1]. При этом значительным препятствием на пути к эффективной работе горнодобывающих компаний путем достижения высоких показателей добычи полезных ископаемых являются подземные пожары, тушение которых представляет опасные условия для жизни и здоровья спасательных подразделений: горноспасателей и членов военизированных горноспасательных команд предприятий [2].

Наиболее опасными являются пожары в газовых шахтах, поскольку их ликвидация сопряжена со значительной долей вероятности взрыва метановоздушной смеси на участке действующего пожара [3, 4]. Поэтому постоянный контроль шахтной среды для получения данных о газовоздушной обстановке в пожарном участке в течение всего периода горноспасательных работ – одно из основных условий успешного и безопасного тушения подземного пожара.

Анализ газовой обстановки дает возможность определить стадию развития пожара или его затухания, вероятность взрыва газовоздушной смеси, установить границы заполнения пожарным газом горных выработок для выбора месторасположения подземных баз и определения зон работы горноспасателей без изолирующих дыхательных аппаратов, а также выполнить оценку эффективности принятых мер по проветриванию и инертзации аварийного, в том числе изолированного пожарного участка и прочее.

Разработке и совершенствованию систем дистанционного мониторинга и контроля шахтной среды при пожарах на горнодобывающих предприятиях посвящены научные работы ведущих ученых и инженеров: В.Г. Агеева, С.П. Грекова, И.Н. Зинченко, В.И. Ковальчука, А.Л. Романчука, В.С. Сергеева, Б.А. Сурначева, А.П. Федоровича, D. Adler, F. Burns, D. Chapman, B. Ciepiela, C. Fauconnier, Z. Fink, T. Golisz, A. Kukuczka, W. Marchewka, D. Mitchell, R. Morris, R. Zipf и др. [5]. В настоящее время применяется система контроля шахтной среды при пожарах дистанционным способом путем отбора проб пожарных газов по заранее проложенному гибкому трубопроводу с последующим их анализом в газоаналитической лаборатории.

На сегодняшний день данная система широко применяется при ведении горноспасательных работ по ликвидации пожаров на шахтах Российской Федерации. Согласно официальным данным [6] в 2016 г. при ликвидации последствий серии взрывов газа и угольной пыли, повлекших за собой пожар на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь», с целью безопасного контроля газовой обстановки были проложены линии дистанционного отбора проб пожарных газов, которые позволяли проводить анализ шахтной среды по содержанию горючих и взрывоопасных газов в аварийных выработках.

В 2008 г. при ликвидации пожара путем изоляции аварийного участка на шахте им. Ленина ОАО «Мечел» при помощи данной системы горноспасательные подразделения имели информацию о содержании пожарных газов (метана, окиси углерода и др.) в шахтной среде аварийного пожарного участка [7]. На шахте «Сибиргинская» ОАО «Мечел-Майнинг» в 2011 г. при тушении эндогенного пожара в изолированном участке с помощью линий дистанционного отбора проб горноспасатели оперативно получали информацию о содержании пожарных газов в отработанном пространстве лавы [8].

Однако применяемая на сегодняшний день система имеет ряд недостатков, влияющих на достоверность пожарных газов, отбираемых в аварийных участках и отдельных горных выработках, приведенных в работах [5, 9, 10], одним из которых является погрешность анализа газовой обстановки ввиду точечного отбора проб пожарных газов в аварийном участке с использованием гибкого трубопровода, прикрепленного на уровне 1/3 высоты горной выработки от кровли к элементам крепи.

Однако в случае изоляции пожарного участка для сокращения количества поступления кислорода в аварийный участок в сети горных выработок образуются местные и слоевые скопления метана и других вредных газов. Они представляют собой отдельные места и зоны с концентрациями газовоздушной смеси, превышающими средние в поперечном сечении.

Концентрации пожарных газов в этих местах могут достигать весьма взрывоопасных значений, в то время как среднее их газовое содержание в воздушной струе будет соответствовать норме.

Перемешивание газозвушной смеси при пожарах ухудшается также выделением более легких, чем шахтный воздух, газов (например метан и водород) из кровли горных выработок или газов тяжелее шахтного воздуха (например оксид и диоксид углерода) из почвы. В таких случаях скопления пожарных газов принимают форму слоев, распространяющихся, соответственно, у кровли, у охранных сооружений (при отработке выемочных участков сплошной системой разработки), а также у почвы горных выработок на значительные расстояния от источника газовой выделения [5].

Толщина таких слоев часто составляет более 0,5 ... 0,7 м, длина – более 300 ... 400 м. Поэтому при отборе проб пожарных газов точечным способом (в одной точке) возникают ситуации, когда забор пробы находится в зоне высоких или весьма низких концентраций. Такая проба пожарных газов будет не достаточно достоверной для оценки газозвушной обстановки в аварийном (пожарном) участке в целом.

Соответственно, актуальное направление и цель настоящей статьи – обоснование основных параметров многоточечного пробоотборника, который позволит выполнять одновременных отбор проб пожарных газов по высоте и сечению горной выработки аварийного, в том числе изолированного пожарного, участка. Настоящая работа выполнена в соответствии с годовым планом научно-исследовательских работ, утвержденным министром МЧС Донецкой Народной Республики, и индивидуальным планом аспиранта А.В. Агаркова.

На основании проведенных исследований и научно-технического анализа предлагается следующий комплект составных частей многоточечного пробоотборника (рис. 1): пробоотборные трубки из поливинилхлорида (труба НПВХ 100 SDR 13,6-16×1,5, техническая) с наружным номинальным диаметром 16 мм в соответствии с ГОСТ Р 51613–00 «Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида...», соединительные элементы (хомуты) для крепления пробоотборных трубок, коллектор с шестью выходами (штуцерами) под пробоотборные трубки и одним выходом (штуцером) на общую магистраль пробоотборного трубопровода, стойки телескопические с держателями для пробоотборных трубок. При этом в случае необходимости дистанционного отбора проб пожарных газов из горной выработки высотой более 3,5 м необходимо изготовить стойки телескопические другого типоразмера.

Конструкция многоточечного пробоотборника (рис. 1), основные технические характеристики которого приведены в таблице, обеспечивает одновременный отбор проб из шести точек по высоте и сечению горной выработки аварийного, в том числе изолированного пожарного, участка.

Таблица. Основные технические характеристики многоточечного пробоотборника

Наименование показателя	Значение показателя
Длина каждой пробоотборной трубки, м	3
Наружный номинальный диаметр каждой пробоотборной трубки, мм	16
Габаритные размеры, мм: – каждой стойки телескопической; – коллектора	3580×100×100 255×110×80
Высота раздвижки стоек телескопических, м	1,5–3,5
Масса многоточечного пробоотборника (общая), кг	11,5
Средний полный срок службы, лет, не менее	6

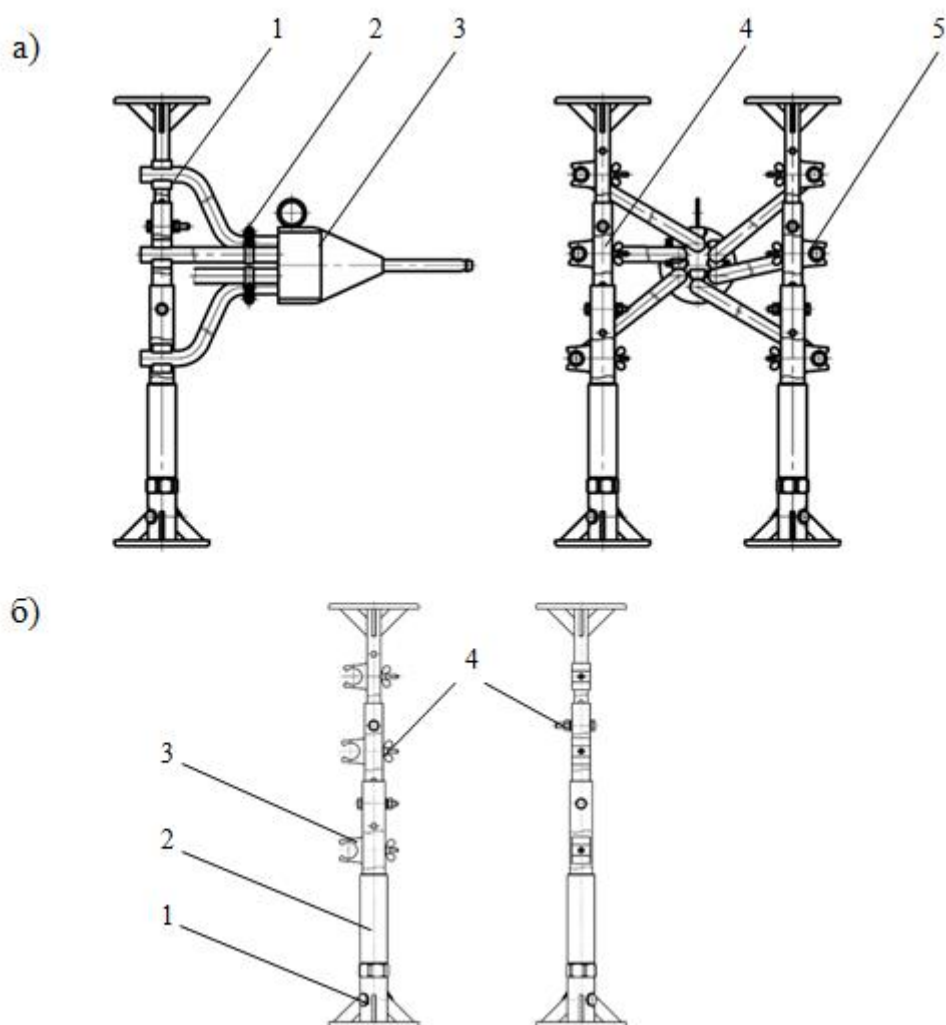


Рис. 1. Многоточечный пробоотборник:

- а) комплект: 1 – трубка; 2 – соединительные элементы (хомуты);
3 – коллектор; 4 – стойка телескопическая; 5 – держатель для пробоотборной трубки;**
**б) телескопические стойки: 1 – стойка; 2 – труба; 3 – держатель для трубки;
4 – соединительные элементы и элементы крепления**

В качестве материала пробоотборных трубок рекомендован поливинилхлорид согласно ранее проведенным исследованиям в работе [11] как наиболее оптимальный с точки зрения его срока службы, массы, газопроницаемости и сорбционной способности, устойчивости к перепадам температур, образования скручиваний и заломов, стоимости, а также других условий.

Многоточечный пробоотборник (рис. 1) рекомендовано применять в комплекте с разработанной в 2020 г. усовершенствованной системой дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах (рис. 2) [9, 10].

Данная система позволяет осуществлять мониторинг и контроль газовой обстановки в изолированных и неизолированных пожарных участках угольных шахт и изготовлена в климатическом исполнении УХЛ и категории размещения 5 по ГОСТ 15150–69 «Машины, приборы и другие технические изделия...», но для работы при температуре окружающей среды от плюс 5 °С до плюс 40 °С и относительной влажности до 95 % при температуре плюс 35 °С [10].

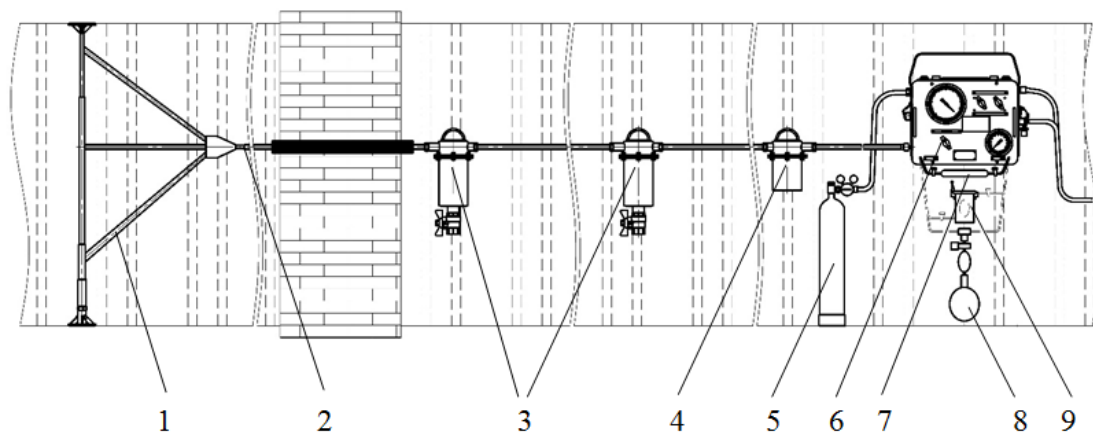


Рис. 2. Рабочий комплект усовершенствованной системы дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах [10]:

- 1 – многоточечный пробоотборник; 2 – пробоотборный трубопровод;**
3 – фильтры-влажнители; 4 – фильтр-осушитель; 5 – баллон (с редуктором) со сжатым воздухом; 6 – эжекторная установка; 7 – емкость для отбора проб пожарных газов;
8 – приспособление для набора проб пожарных газов в камеру без буферного резервуара;
9 – буферный резервуар для набора проб пожарных газов в камеру

Таким образом, в настоящей работе предложены основные параметры многоточечного пробоотборника пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ на горнодобывающих предприятиях. Результаты проведенного исследования будут служить основой для разработки конструкторской документации и изготовления опытного образца многоточечного пробоотборника пожарных газов.

Разработка и внедрение данного приспособления направлены на повышение достоверности контроля газовой обстановки при ликвидации пожаров с целью повышения безопасности и эффективности ведения аварийно-спасательных работ в шахтах, что позволит получить социальный эффект.

В дальнейшем планируется выполнить теоретические исследования нестационарного распределения пожарных газов по длине и сечению горных выработок угольных шахт при авариях (выполнить моделирование переноса тепла и влаги в горных выработках, исследовать слоевые и местные скопления метана и других газов). В условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа планируется провести экспериментальные исследования по дистанционному контролю шахтной среды при ликвидации условного пожара.

Литература

1. Плакиткина Л.С. Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, бывшего СССР и России в период до 2030 г.: монография. М.: Горная промышленность, 2013. 416 с.
2. Федоренко Е.И., Кобылкин С.С. Проблема подземных пожаров и их тушение на больших глубинах в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. 2011. № 8. С. 197–207.
3. Соболев Г.Г. Организация и ведение горноспасательных работ в шахтах: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988. 280 с.
4. Agarkov A. Analysis of the emergency at the mining enterprises and evaluation of the method of remote selection of samples of mine air when conducting mine-rescue work // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2019. № 2 (3). С. 10–20.

5. Мамаев В.В., Агарков А.В. Способы и технические средства дистанционного контроля шахтной среды при ведении аварийно-спасательных работ // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2019. № 3 (4). С. 109–119.

6. Горноспасатели проложили к аварийному участку шахты «Северная» линию дистанционного отбора проб воздуха. URL: <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/1426212> (дата обращения: 07.07.2020).

7. Горноспасатели изолируют аварийный участок на шахте Ленина в Кузбассе. URL: <https://regnum.ru/news/accidents/1034554.html> (дата обращения: 07.07.2020).

8. «Мечел» приостановил работу шахты «Сибиргинская». URL: <https://www.forbes.ru/news/69336-mechel-priostanovil-rabotu-shahty-sibirginskaya> (дата обращения: 07.07.2020).

9. Курбацкий Е.В., Агарков А.В. Совершенствование способа дистанционного контроля шахтной среды в изолированных пожарных участках при ведении аварийно-спасательных работ // Донбасс будущего глазами молодых ученых: науч.-техн. сб. 2019. С. 93–97.

10. Агарков А.В. Об исходных требованиях к усовершенствованной системе дистанционного отбора проб шахтного воздуха при ведении аварийно-спасательных работ // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 2 (6). С. 15–23.

11. Агарков А.В. Выбор трубопровода для дистанционного отбора газовых проб при ведении горноспасательных работ // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 1 (5). С. 33–39.

УДК 614.841.2

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ЭКСПЕРТНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ПОЖАРОВ (ВЗРЫВОВ) ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Т.П. Сысоева, кандидат технических наук;

Д.Ю. Минкин, доктор технических наук, профессор;

С.Н. Терехин, доктор технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Разработана и создана «База данных по пожарам» и размещена на сайте Исследовательского центра экспертизы пожаров. Данная база заполнена статистическими данными по пожарам (взрывам) паровоздушных смесей, собранных на базе архива Исследовательского центра экспертизы пожаров за период с 2009 по 2018 гг.

Ключевые слова: базы данных, система управления базами данных, государственный судебный эксперт, пожар, Исследовательский центр экспертизы пожаров, судебно-экспертное учреждение

CREATING A DATABASE FOR EXPERT RESEARCH OF FIRES (EXPLOSIONS) STEAM-AIR MIXTURES

T.P. Sysoeva; D.Yu. Minkin; S.N. Terehin.

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

A «fire database» has been developed and created and is available on the website of the fire expertise Research center. This database is filled with statistical data on fires (explosions) of steam-

air mixtures collected on the basis of the archive of The research center for fire expertise for the period from 2009 to 2018.

Keywords: databases, database management system, state forensic expert, fire, research center for fire expertise, forensic expert institution

За последние годы на территории Российской Федерации участились случаи взрывов как на предприятиях, так и в местах проживания граждан. Тема, о которой идет речь, как никогда актуальна для нашего времени, изучение ее поможет лучше понять, по какой причине произошел взрыв и что нужно сделать, чтобы таких взрывов случалось как можно меньше.

Статистические данные по взрывам являются важным источником информации для государства. Они позволят отследить количество и причины подобных трагедий в стране. Также можно использовать статистические данные, чтобы определить уровень эффективности профилактики взрывов на территории Российской Федерации и провести анализ новых способов предотвращения несчастных случаев, которые произошли по неосторожности, безразличию или преднамеренно.

Экспертное исследование взрывов паровоздушных смесей направлено на определение условий образования опасных концентраций легковоспламеняющихся веществ, возможности их воспламенения и последствий развития взрывоопасного события.

При экспертном исследовании пожара, сопряженного со вспышкой (взрывом), многое не соответствует классическим канонам пожарно-технической экспертизы. Очень трудно отвечать на вопрос об очаге пожара – очаговые признаки по месту инициирования взрыва не успевают сформироваться, горение после взрыва может возникнуть сразу в нескольких местах, а зону наибольших термических поражений никак нельзя автоматически отождествлять с очагом пожара – в подобных случаях такая зона, как правило, формируется по месту наибольшей (или наиболее легкогорючей) пожарной нагрузки, лучших условий воздухообмена и т.д.

Если инцидент произошел в закрытом помещении, то наибольшие разрушения также могут быть вовсе не в центре взрыва или центре помещения, а, наоборот, по периметру данного помещения. Многое зависит от геометрии помещения, заполненности его мебелью и оборудованием, наличия оконных и дверных проемов [1].

Здесь не применим стандартный экспертный подход, когда установление непосредственной причины пожара, по сути, заменяется поиском источника зажигания. Если взрыв не является следствием преднамеренных действий, то источник зажигания носит обычно случайный характер – это может быть искра электрическая, фрикционная, открытый огонь и т.д. В данном случае важнее разобраться со второй вершиной «треугольника пожара» – горючим веществом – объяснить, что это за вещество и откуда оно могло появиться. Не лишним будет показать, что вещество это могло не просто присутствовать в воздухе, а находиться во взрывоопасных концентрациях [2].

Все вышеперечисленное создает для эксперта определенные трудности, но трудности преодолимые при соответствующем уровне квалификации и творческом подходе к экспертному исследованию.

Как известно, воспламеняется не сама жидкость, а ее пары. Это могут быть пары над зеркалом жидкости в какой-нибудь емкости, технологическом аппарате и т.д. Но чаще загоранию жидкости предшествует аварийная ситуация, связанная с ее разливом. Поэтому от растекаемости горючих жидкостей при разливе зависит площадь испарения и формирование взрывоопасной концентрации.

Взрывы паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) периодически происходят при их хранении в различных стационарных емкостях (резервуарах), при транспортировке в автомобильных и железнодорожных цистернах, танках морских и речных судов, при сливе и заполнении указанных емкостей, перекачке ЛВЖ. Происходят подобные инциденты и при проведении ремонтных работ на резервуарах, трубопроводах. Заметим единственное: разбираясь в рамках экспертного исследования с тем, что послужило в данном случае

горючей средой и источником зажигания, желательнее обращать внимание не только на подробности самого инцидента, но и на обстоятельства ему предшествующие. В частности, на степень заполнения емкости ЛВЖ, а также на такие «мелочи», как чистота цистерны и возможность наличия в ней остатков иных жидкостей. В реальной жизни один и тот же бензовоз перевозит попеременно: то бензин, то дизельное топливо. То же происходит с железнодорожными цистернами. Дизельное топливо является хорошим поглотителем паров бензина и даже используется в качестве последнего в установках для удаления паров.

Существует также проблема «пустых емкостей из-под ЛВЖ», которые более взрывоопасны, чем заполненные.

Измерения концентрации паров в емкостях, где хранится или перевозится бензин, показали, что после его слива из емкости концентрация паров в ней зависит от температуры окружающей среды и находится в пределах от 15 до 50 % об. При операции слива бензина из емкости концентрация паров снижается в начальной стадии слива, но впоследствии, с течением времени, восстанавливается за счет сохранившихся остатков и пленки на стенках.

Если из емкости слили бензин и негерметично ее закрыли, то концентрация паров за счет диффузии и вентиляции постепенно снижается, достигая взрывоопасного значения [3].

Нужно заметить, что происхождение паров ЛВЖ может быть самое различное. Так, например, это могут быть пары растворителя краски, которой покрыли внутренние поверхности емкости.

Главная проблема, которая решается в ходе пожарно-технической экспертизы технологических взрывов, является определение возможности разрушения зданий, сооружений и гибели людей под воздействием ударной волны и огненного шара [2].

При разлинии горючих жидкостей и их испарении часто образуется облако паровоздушных смесей, переобогащенное топливом. Такое облако не детонирует, а интенсивно горит, образуя так называемый «огненный шар». Процесс этот более вероятен еще и потому, что для большинства углеводородов концентрационные пределы распространения пламени их газо-(паро)паровоздушных смесей шире, чем детонации. Аналогичные процессы происходят после взрыва газо-(паро)воздушных смесей, переобогащенных топливом. Продукты взрыва догорают в окружающем воздухе.

Составляя базу данных (БД) взрывов паровоздушной смеси, анализируя взрывы на базе архива Исследовательского центра экспертизы пожаров (ИЦЭП), произошедших за 10 лет, возможно не только понять причину этих взрывов, но и позволить экспертам обмениваться информацией.

Для создания электронной БД с учетом современных технических возможностей и научных разработок в этой области необходимо провести:

1. Сбор и обработку результатов исследований пожаров (взрывов) паровоздушных смесей, проведенных сотрудниками судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы (СЭУ ФПС).
2. Проектирование структуры БД.
3. Выбор системы управления БД для хранения информации о пожарах (взрывах) паровоздушных смесей.
4. Формирование электронной БД пожаров (взрывов) паровоздушных смесей [4].

В рамках повсеместной работы все СЭУ ФПС России присылают отчеты по статистическим данным и наиболее интересным пожарам (взрывам) паровоздушных смесей (и других пожаров), в расследовании которых принимали участие сотрудники СЭУ. Был проведен анализ результатов исследования пожаров (взрывов) паровоздушных смесей за период с 2009 по 2018 гг., содержащихся в отчетах СЭУ ФПС, хранящихся в архиве ИЦЭП. Из анализа исследований пожаров (взрывов) паровоздушных смесей выявлено, что при исследовании данных взрывов сотрудники СЭУ ФПС используют только лабораторные инструментальные методы исследования, а математическими расчетами никто не пользуется. Возможно, у сотрудников СЭУ ФПС возникают сложности в работе с математическими расчетами,

и требуется их дополнительное обучение в рамках ИЦЭП. Ниже приводится статистика по методам исследования пожаров (взрывов) паровоздушных смесей (рисунок).



Рис. Статистика по методам исследования пожаров (взрывов) паровоздушных смесей за период 2009–2018 гг.

Для получения опыта изучения пожаров (взрывов) паровоздушных смесей, на базе исследовательского архива был проведен сбор статистических данных за период с 2009 по 2018 гг. Все полученные сведения были проанализированы и внесены в разработанную таблицу, а далее – перенесены в электронную БД, которую можно найти на сайте ИЦЭП. Это сделано для того, чтобы в будущем сотрудники СЭУ ФПС могли обмениваться информацией и расширять свои знания в области изучения взрывов паровоздушных смесей.

Из анализа, проведенного на БД архива ИЦЭП, установлен перечень необходимых сведений об объектах, пострадавших от взрыва, при составлении карточек о пожарах (взрывах) паровоздушных смесей.

Для получения максимальной информации предлагается следующая структура БД по экспертному исследованию пожаров (взрывов) паровоздушных смесей:

1) СЭУ, эксперт.
2) Дата пожара.
3) Описание объекта пожара.
4) Место расположения очага пожара.
5) Причина пожара.
6) Применяемые инструментальные методы исследования.

Таким образом, БД будет состоять из карт пожаров (взрывов) паровоздушных смесей. В каждой вкладке пожара (взрыва) будут описаны объекты поиска, расположение очага, причина пожара, используемые методы инструментального исследования. Кроме того, карты содержат установочную часть (кем проводилось исследование, когда произошел пожар).

Существует большое количество систем управления БД (СУБД), предназначенных для обработки и хранения информации. СУБД состоит из БД и системы управления. БД представляет собой набор связанных данных, представленных таблицами. Данные обрабатываются с использованием стандартного языка структурированных запросов (SQL). SQL – это информативный логический язык, предназначенный для описания, редактирования и извлечения данных, хранящихся в БД [5].

К самым популярным СУБД относятся такие проекты, как dBase Derby, Firebird, Microsoft Access, Microsoft Jet, Microsoft SQL, Server Microsoft SQL и т.д. Все СУБД классифицируются по следующим параметрам: по модели хранения данных, по способу доступа к базе данных, по принципу распределения [6].

Для выполнения задач нам понадобится СУБД с определенной степенью локального распространения, а также клиент с методом доступа на стороне сервера. Это означает, что БД хранится локально на компьютере или на удаленном сервере, к которому имеют доступ только специалисты [7] СЭУ ФПС МЧС России с различных компьютеров, имеющих доступ в интернет. Также пользователи должны иметь возможность только искать необходимую информацию и возможность дополнять БД новыми карточками пожаров (взрывов) паровоздушных смесей, а сотрудники ИЦЭП должны иметь возможность поиска, добавления и корректировки информации.

Создавая БД для экспертов по поиску пожаров (взрывов) паровоздушных смесей, были запущены два приложения Windows: первое дает возможность администрирования существующей БД, а второе – возможность «удаленного» поиска по запросам информации. Для выполнения этой задачи была выбрана СУБД MySQL, которая является небольшой, но достаточно быстрой и многофункциональной, так как MySQL не участвует во всем языке SQL, а лишь малая его часть.

В целях сбора результатов исследования по пожарам (взрыва) паровоздушных смесей будут созданы личные кабинеты для каждого сотрудника СЭУ ФПС МЧС России. С помощью этой учетной записи сотрудники СЭУ смогут вносить необходимую информацию в БД по установленной форме. Кроме того, информация, включенная в базу, будет обрабатываться оператором (сотрудником ИЦЭП) и храниться в ней. БД расположена на сайте: <http://dbase.fire-expert.spb.ru/>.

В таблице представлен образец заполнения карточки пожара (взрыва) паровоздушной смеси.

Таблица

1) СЭУ, эксперт	ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Волгоградской области подполковник внутренней службы – А.А. Иванов
2) Дата пожара	26.12.2014 г.
3) Описание объекта пожара	Автомобиль Reno Logan, государственный регистрационный знак А000ОМ 134RUS
4) Место расположения очага	Зона очага пожара установлена в салоне автомобиля в его передней части
5) Причина пожара	Причиной возникновения пожара явилось воспламенение паров легковоспламеняющейся жидкости (бензина) с последующим воспламенением горючих материалов салона автомобиля, в результате искусственного инициирования горения. Источником зажигания мог послужить источник открытого огня (пламя спички, зажигалки). Вывод: категорический
6) Применяемые инструментальные методы исследования	Лабораторные исследования представленных объектов; анализ газовой фазы над исследуемым объектом с помощью газоанализатора «Колион-1»; исследование методом флуоресцентной спектроскопии

Сформирована единая электронная БД пожаров (взрывов) паровоздушных смесей. На данный момент в данной базе насчитывается около 100 карт пожаров (взрывов). Формирование и совершенствование электронной БД пожаров (взрывов) паровоздушных смесей в экспертных целях продолжается.

Литература

1. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2002. 330 с.

2. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: ООО «Береста», 2012.

3. Кобылкин Н.И., Гельфанд Б.Е. Анализ и экспериментальное исследование причин взрывов цистерн и резервуаров при перегрузке нефтепродуктами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 3 (11). С. 33–38.
4. Кузнецов С.Д. Основы баз данных. 2-е изд. М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 484 с.
5. Дунаев С. Доступ к базам данных и техника работы в сети. Практические приемы современного программирования. М., 2005.
6. Информатика. Базовый курс / С.В. Симонович [и др.]. СПб.: Изд-во «Питер», 2000. 640 с.
7. Информатика: учеб. пособие / под ред. В.Г. Кирия. Иркутск: ИрГТУ, 1998. Ч. 2. 382 с.

УДК 621.72:621.532.656.08

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ НА ГАЗОПРОВОДЕ

**В.Л. Мартынович, кандидат технических наук;
Л.Б. Хайруллина, кандидат технических наук;
Ю.В. Сивков, кандидат биологических наук.
Тюменский индустриальный университет**

Проведен анализ положений нормативной документации в части оценки воздействия поражающих факторов аварий на газопроводе, выявлены заниженные требования нормативных документов к условиям, при которых осуществляется оценка возможного ущерба, количество пострадавших. Предложены и обоснованы наиболее корректные условия оценки масштаба ущерба от возможной аварии.

Ключевые слова: авария, газопровод, природный газ, струевое горение, факельное горение

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DAMAGING FACTORS OF ACCIDENTS ON THE GAS PIPELINE

V.L. Martynovich; L.B. Khayrullina; Yu.V. Sivkov. Tyumen industrial university

The article analyzes the provisions of regulatory documentation in terms of assessing the impact of damaging factors of accidents on the gas pipeline, and reveals understated requirements of regulatory documents to the conditions under which possible damage is carried out, the number of victims. The conditions under which the assessment of the scale of damage from a possible accident is most reliable are proposed and justified.

Keywords: accident, gas pipeline, natural gas, jet burning, flare burning

В целях реализации программ ПАО «Газпром» по обеспечению регионов Российской Федерации природным газом проектными институтами осуществляется подготовка проектной документации строительства объектов магистрального транспорта, включая газопроводы-отводы, газораспределительные станции.

В соответствии с требованиями действующей нормативной документации [1–3] в рамках проектной документации осуществляется анализ опасностей и оценка риска возможных аварий, в том числе, оценка ущерба вследствие воздействия поражающих факторов

возможных аварий на оборудование, персонал, население, третьих лиц и окружающую природную среду.

Масштабы прогнозируемого ущерба напрямую зависят от корректности определения геометрических характеристик факельного (струевого) горения, а также границ и интенсивности воздействия поражающих факторов возможных аварий.

Корректное прогнозирование возможного ущерба, в том числе количества пострадавших в результате аварий на взрывопожароопасных объектах, остается актуальной задачей.

Согласно п. 5.5 «Методических указаний по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [2] и табл. 5.2 «Методики оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» [3] основными, наиболее опасными по последствиям сценариями аварий на магистральных газопроводах и газопроводах-отводах, являются:

«Пожар колонного типа» («Пожар в котловане»), характеризующийся:

Разрушением газопровода → образованием котлована в грунте (для нормальных «твердых» грунтов) → образованием первичной воздушной ударной волны при расширении сжатого газа в атмосфере → разлетом осколков трубопровода и фрагментов грунта → истечением газа из котлована в виде «колонного» шлейфа → воспламенением истекающего природного газа с образованием «столба» пламени цилиндрической формы → образованием вторичной, незначительной по поражающему воздействию воздушной волны сжатия (в случае воспламенении газа) → попаданием людей, зданий и сооружений, оборудования линейной части магистрального газопровода, транспорта, объектов окружающей природной среды в зону радиационного теплового воздействия от пожара → гибелью или получением людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм от воздействия воздушной ударной волны или воздушной волны сжатия, осколков; повреждением или уничтожением перечисленных выше объектов и элементов окружающей природной среды; загрязнением атмосферы продуктами сгорания.

«Струевое пламя», характеризующееся:

Разрушением газопровода → «вырыванием» плетей разрушенного трубопровода из грунта на поверхность (для «слабонесущих» грунтов) → образованием первичной воздушной ударной волны → разлетом осколков трубопровода и фрагментов грунта → истечением газа из газопровода в виде двух независимых высокоскоростных струй → воспламенением истекающего газа с образованием двух горизонтальных струй пламени → образованием вторичной, незначительной по поражающему воздействию, воздушной волны сжатия (в случае воспламенении газа) → попаданием людей, зданий и сооружений, оборудования линейной части магистрального газопровода, транспорта, объектов окружающей природной среды в зоны воздействия струй газа, прямого или радиационного теплового воздействия от пожара → гибелью или получением людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм от воздействия воздушной ударной волны или воздушной волны сжатия, осколков; повреждением или уничтожением перечисленных выше объектов и элементов окружающей природной среды; загрязнением атмосферы продуктами сгорания.

Геометрические параметры факельного горения (сценарий «Пожар в котловане») и струевого горения (сценарий «Струевое пламя»), а также границ зон термического воздействия от горящего пламени определяются в соответствии с приложением Е.4 [2], приложением 10 [3].

Анализ формул приложения Е.4 [2] и приложения 10 [3] свидетельствует о том, что основной величиной, оказывающей значительное влияние на геометрические параметры факельного и струевого горения, и, как следствие, границы зон термического воздействия от горящего пламени, является массовый расход природного газа.

Как известно, процесс истечения газа из поврежденного участка газопровода носит непостоянный характер: максимальный расход газа наблюдается в момент разрушения, в дальнейшем интенсивность истечения постепенно снижется преимущественно вследствие

падения давления в аварийном участке газопровода до значений, близких к атмосферному. Примеры изменения во времени интенсивности истечения газа из разрушенного газопровода приведены на рис. Г.2–Г.5 «Методических указаний по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [2].

Пунктами 5.8.6.4 [2] и 5.5.2.6.4 [3] рекомендовано проводить расчеты границ зон теплового излучения для постоянного (стабильного) значения интенсивности истечения, соответствующего некоему рекомендуемому моменту времени, прошедшему от момента разрушения газопровода. Рекомендуемые значения моментов времени $\tau_{рек}$, прошедших с момента разрушения газопровода для различных диаметров трубопроводов, приведены в табл. 5.9 [2], 5.9 [3].

Так, согласно табл. 5.9 [2], 5.9 [3] для магистральных газопроводов и газопроводов-отводов условным диаметром до 500 мм рекомендуемый момент времени составляет $\tau_{рек}=30$ с.

Оценим корректность рекомендуемых допущений.

Например, согласно расчету, выполненному в соответствии с приложением Г [2], приложением 7 [3], для газопровода $\varnothing 530 \times 10$ мм ($P_{раб}=5,4$ МПа, $T_{раб}=0^\circ\text{C}$) интенсивность сверхкритического истечения газа в момент разрушения составит порядка 1 570 кг/с. Учитывая скорость распространения волны падения давления, с большой вероятностью можно предположить, что через 30 с после момента разрушения давление в газопроводе будет близко к атмосферному, а интенсивность истечения газа составит порядка 30 кг/с.

Расчеты геометрических характеристик факельного (сценарий «Пожар в котловане») и струевого (сценарий «Струевое пламя») горения для сверхкритического истечения газа, а также истечения газа под давлением, близким к атмосферному, осуществлены в соответствии с положениями приложения Е.4 [2], приложения 10 [3].

Оценка границ термического воздействия, а также зон потенциального поражения осуществлена в соответствии с положениями приложения Ж [2], приложения 10 [3] с помощью модуля «Струевое горение газа» компьютерной программы «ТОХИ+Risk».

Результаты расчетов геометрических характеристик факельного и струевого горения, границ термического воздействия, а также зон потенциального поражения приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Результаты расчета геометрических характеристик и зон потенциального поражения для сценария «Пожар колонного типа» («Пожар в котловане»)

Сценарий аварии	Расход газа, кг/с	Геометрические характеристики пламени, м		Зона потенциального поражения, м	
		диаметр	высота	1 %	100 %
«Пожар в котловане»	1 570	110	219	413	288
	30	23	46	55	25

Таблица 2. Результаты расчета геометрических характеристик и зон потенциального поражения для сценария «Струевое пламя»

Сценарий аварии	Расход газа, кг/с	Геометрические характеристики струи, м			Зона потенциального поражения, м	
		длина	малый диаметр	большой диаметр	1 %	100 %
«Струевое пламя»	1 570	329	0,69	86	337	245
	30	65	0,69	17	–	–

Анализ данных табл. 1 и 2 свидетельствует о том, что геометрические характеристики факела (струи) и размеры зон потенциального поражения, в том числе со 100 % вероятностью гибели, для сверхкритического истечения газа в несколько раз превышают геометрические характеристики факела (струи) и размеры зон потенциального поражения, которые определены для случая истечения газа под давлением, близким к атмосферному.

Необходимо отметить, что согласно приложению Ж [2], приложению 10 [3] максимальное значение интенсивности теплового излучения от горящей струи или факела природного газа может составить до 200 кВт/м².

Даже непродолжительное тепловое воздействие подобного уровня способно нанести значительный ущерб здоровью и жизни человека, оказавшемуся в зоне действия поражающих факторов.

Для оценки степени поражения человека термическим воздействием в нормативной документации чаще всего встречается следующая таблица (табл. 3).

Таблица 3. Степень поражения человека термическим воздействием

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог I степени через 15–20 с Ожог II степени через 30–40 с	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог I степени через 6–8 с Ожог II степени через 12–16 с	10,5

Следует также отметить, что в приложении Г.1 [2] сделаны следующие предположения для выполнения расчета массового расхода газа из поврежденного газопровода:

– период времени, в течение которого принимается решение по перекрытию аварийного участка трубопровода после получения информации с приборов контроля, занимает у диспетчерской службы 2 мин;

– период времени автоматического перекрытия шаровых кранов составляет 1,5 мин.

Таким образом, достаточно продолжительное время газопровод будет продолжать работать в напорном режиме, что также значительно повлияет на геометрические характеристики факела (струи), а также размеры зон потенциального поражения.

На основании вышеизложенного, по мнению авторов, для более корректной оценки возможного ущерба при анализе риска аварии определение геометрических характеристик факельного и струевого горения, а также зон действия поражающих факторов следует осуществлять для условия сверхкритического истечения газа.

Литература

1. Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. Сер. 08. Вып. 20. 40 с.

2. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»: СТО Газпром 2-2.3-351–2009: (утв. распоряжением ОАО «Газпром» от 30 марта 2009 г. № 83; введ. в действие с 30 дек. 2009 г.). М.: ООО «Газпром-экспо», 2009. 377 с.

3. Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа: руководство по безопасности: (утв. приказом Ростехнадзора от 26 дек. 2018 г. № 647; введ. в действие 26 дек. 2018 г.) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 28.04.2020).

УДАЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА ЗАЩИТЫ

А.Е. Савенкова, кандидат технических наук;

Д.Е. Завьялов, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены преимущества раннего пожароизвещения, показана необходимость внедрения удаленного мониторинга систем противопожарной безопасности, проанализированы последние изменения в отечественном законодательстве в области пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, удаленный мониторинг, системы противопожарной безопасности, раннее пожароизвещение

REMOTE MONITORING SYSTEM FOR ENSURING FIRE SAFETY OF THE OBJECT OF PROTECTION

A.E. Savenkova; D.E. Zavyalov.

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

The article discusses the advantages of early fire detection, shows the need to implement remote monitoring of fire safety systems, analyzes the latest changes in domestic legislation in the field of fire safety.

Keywords: fire safety, remote monitoring, fire safety systems, early fire detection

Как показывает практика, скорость прибытия пожарных караулов к месту пожара является одним из важнейших факторов, позволяющих снизить количество людей, погибающих при пожарах. Система удаленного мониторинга пожарной безопасности – это, по сути, единственное решение в области технических средств безопасности, позволяющее в чрезвычайной ситуации передать информацию и вовремя получить помощь соответствующих экстренных служб.

В настоящее время в России на объектах защиты (как в нежилых и жилых помещениях, так и на производственных и административных объектах) установлено множество систем пожарной безопасности, но следует отметить, что большая часть из них автономны, то есть не обеспечивают достаточного уровня противопожарной защиты объектов. Автономные системы противопожарной защиты формально соответствуют требованиям законов и технических регламентов пожарной безопасности объектов, но не позволяют максимально оперативно передать информацию о пожаре в соответствующие экстренные службы. Таким образом, даже при хорошем техническом состоянии таких систем с момента возникновения пожара до сообщения информации о нем может пройти от 5 до 15 мин и более, а это наиболее критическое время для снижения ущерба, наносимого пожарами, и спасения человеческих жизней.

Помимо этого, автономные системы пожарной сигнализации на объектах защиты далеко не всегда находятся в исправном техническом состоянии, а потому зачастую не могут служить серьезной противопожарной защитой объектов недвижимости. Владельцы собственности в основном подходят к вопросам пожарной безопасности исключительно

формально, с целью лишь получить соответствующие разрешения, после чего выделяют на обеспечение пожарной безопасности минимальное количество средств.

Таким образом, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) данные системы либо не срабатывают, либо срабатывают поздно и некачественно, а о случаях раннего пожароизвещения в настоящее время можно говорить лишь на объектах социальной значимости, поскольку согласно последним изменениям в отечественном законодательстве только социально значимые объекты должны в обязательном порядке быть оборудованы системами раннего пожароизвещения с обязательным выводом сигналов о пожаре на пульт пожарной охраны напрямую в автоматическом режиме.

При этом удаленный мониторинг – это, по сути, единственное решение в области технических средств безопасности, позволяющее в ЧС передать информацию и вовремя получить помощь соответствующих экстренных служб.

Обеспечение условий для безопасности своих граждан является одной из функций государства. Обеспечение пожарной безопасности относится к одному из таких государственных приоритетов. Насколько важно именно предупреждение влекущих угрозы опасных и чрезвычайных ситуаций – трудно переоценить. Основными задачами пожарной безопасности являются две взаимосвязанные задачи – пожарная профилактика и противопожарная защита.

Целая система мероприятий, цель которых – предотвратить возгорание, включающая в себя в первую очередь противопожарную пропаганду, а также обучение населения в области противопожарной безопасности, есть суть пожарной профилактики. Противопожарная защита призвана минимизировать ущерб от пожара, а достичь этого возможно в первую очередь благодаря своевременному и оперативному пожароизвещению [1].

В настоящее время в Российской Федерации действует достаточно развитая система технического регулирования в области пожарной безопасности (рисунок).

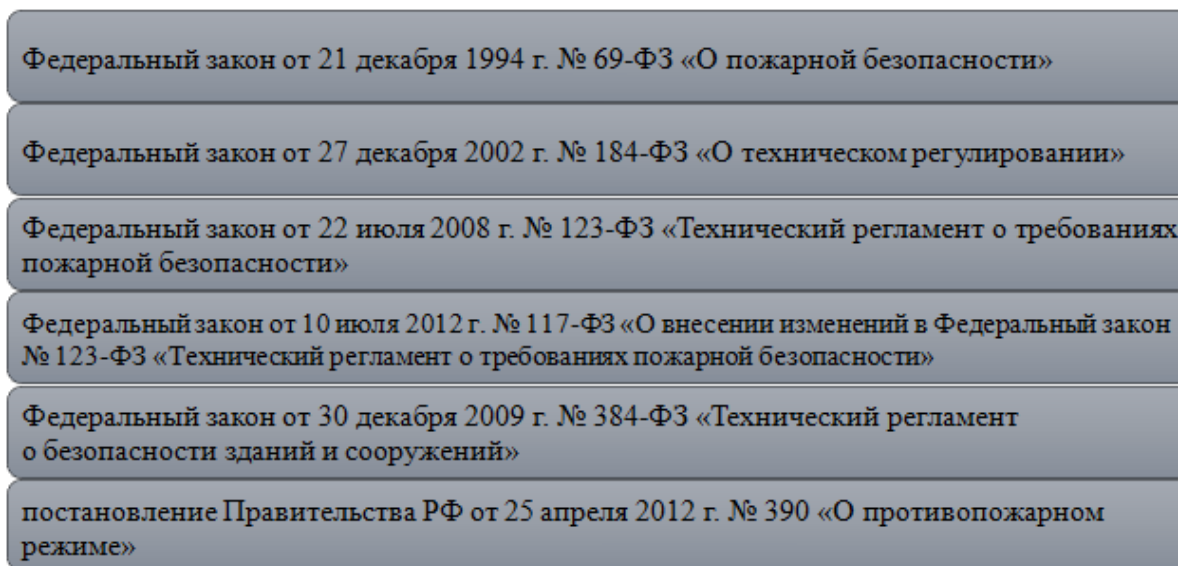


Рис. Основные нормативно-правовые акты, определяющие техническое регулирование в области требований противопожарной безопасности в России [2]

Помимо перечисленных, к числу документов, устанавливающих требования пожарной безопасности в Российской Федерации, относятся технические регламенты, своды правил и другие документы стандартизации, а также Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме» [3].

Действующие нормативно-правовые акты в сфере обеспечения пожарной безопасности [4–6] требуют от всех субъектов оснастить системой пожарной сигнализации эксплуатируемые ими здания и сооружения как производственные, так и общественные, и административные. На случай срабатывания системы пожарной сигнализации определен порядок действия для оказавшихся на объекте людей. Получив переданное посредством системы спецсвязи сообщение о пожаре, дежурный пожарного управления, оперативно приняв и обработав сигнал, направляет пожарных на место пожара. Профессионализм, оперативность и скорость реагирования огнеборцев на ситуацию имеет колоссальное значение, и все же решающим фактором успеха остается раннее пожарозвещение.

Согласно действующим нормативным документам в области пожарной безопасности [4–8] системой пожарной сигнализации оборудуются практически все общественные, производственные и административные здания и сооружения. Срабатывание системы пожарной сигнализации приводит к введению в действие регламентированной системы мероприятий. Система специальной связи обеспечивает передачу сообщений о пожаре персоналу пожарного управления. Пожарное управление должно принять и оперативно обработать сигнал.

Резонансные ЧС на объектах социальной сферы 2006–2009 гг. доказали актуальность систем раннего оповещения о пожарах. При этом удаленный мониторинг – это, по сути, единственное решение в области технических средств безопасности, позволяющее в ЧС передать информацию и вовремя получить помощь соответствующих экстренных служб [7].

После трагедий 2006–2009 гг. в ч. 7 ст. 83 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» было внесено изменение об обязательном выводе сигналов о пожаре на пульт пожарной охраны напрямую в автоматическом режиме, что позволяет в несколько раз сократить время прибытия пожарных расчетов на место пожара [6].

Тем не менее Федеральным законом № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» предписано в обязательном порядке применять автоматический вызов пожарных только на социально значимых объектах [6], освобождая при этом ряд объектов с массовым пребыванием людей от данной обязанности (в частности торговые и развлекательные центры, ночные клубы, жилые дома, офисные здания, музеи) [8]. На таких объектах главенствующим фактором является удаленный контроль обслуживающей организации за работоспособностью пожарной сигнализации, позволяющий своевременно и оперативно устранить возникающие ее неисправности. Удаленное наблюдение, осуществляющееся посредством системы пожарного мониторинга [9], активно используется только на социальных объектах, хотя регламентировано в ряде нормативных документов МЧС России.

В настоящее время законодательством установлена ответственность собственника за противопожарную безопасность на объектах [10]. Теперь именно владельцы помещений, в которых происходят пожары, несут ответственность за их последствия, так как именно они обязаны обеспечивать противопожарную безопасность. И здесь пока нет более эффективных решений, чем установка надежных противопожарных систем, их круглосуточный профессиональный мониторинг и страхование ответственности владельца [8].

Удаленный круглосуточный противопожарный мониторинг – это существенное увеличение эффективности использования различных противопожарных систем. Оперативное гарантированное получение проверенной и достоверной информации о возгорании и сокращение времени оповещения соответствующих чрезвычайных служб позволяет увеличить эффективность противопожарной защиты, существенно повысить качество и контролировать техническое состояние противопожарных систем, а также сократить стоимость их сервисного обслуживания. С другой стороны, использование мониторинговых сервисов в области противопожарной защиты позволяет сократить издержки и увеличить эффективность действий противопожарных служб. Такой эффект достигается не только за счет

сокращения количества ложной информации и, соответственно, ложных выездов, но и за счет предоставления более полной и точной информации в ЧС.

Таким образом, одной из важнейших задач обеспечения пожарной безопасности является оперативное гарантированное получение проверенной и достоверной информации о возгорании и сокращение времени оповещения соответствующих чрезвычайных служб. Оперативность прибытия противопожарных служб на место пожара на сегодняшний день в крупных городах находится на достаточно высоком уровне. Тем не менее этого нельзя сказать об оповещении.

Удаленный круглосуточный противопожарный мониторинг – это существенное увеличение эффективности использования различных противопожарных систем как в жилом секторе, так и на объектах коллективного пользования. Определенные позитивные изменения были заложены новыми нормативно-правовыми актами в области пожарной безопасности. Теперь именно владельцы помещений, в которых происходят пожары, несут ответственность за их последствия, так как именно они обязаны обеспечивать пожарную безопасность. Наиболее эффективными решениями в данном направлении является установка надежных противопожарных систем и их удаленный мониторинг.

Использование услуг противопожарного мониторинга позволяет существенно повысить качество и контролировать техническое состояние противопожарных систем, а также сократить стоимость их сервисного обслуживания.

Массовое внедрение и эффективное использование профессиональных мониторинговых сервисов в области противопожарной безопасности – это один из первых шагов, которые позволят серьезно изменить ситуацию в сфере пожарной безопасности в нашей стране.

Литература

1. Троценко А.А., Коновалова И.И., Курляндская И.П. Проблемы и перспективы профилактической работы по безопасности жизнедеятельности государственного пожарного надзора на территории Мурманской области // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 2 (68).

2. Башарина И.А., Кулагина О.Н., Догадаев П.А. Совершенствование системы мониторинга и контроля состояния пожарной безопасности // Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. С. 79–83.

3. О противопожарном режиме: постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

4. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. О техническом регулировании: Федер. закон от 27 дек. 2012 г. № 184-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Гессе Ж.Ф., Емелин В.Ю., Кокурин А.К. Мониторинг инновационных технологий в системах обеспечения пожарной безопасности. Иваново, 2016.

8. Кривошонок В.В. Мифы о пожарном мониторинге // Алгоритм безопасности. 2018. № 6. С. 36–39.

9. Гусева Е.С. Проблемные вопросы мониторинга эффективности применения норм и требований в области пожарной безопасности // Научные тенденции: юриспруденция. 2020. С. 10–14.

10. Дупленкова А.В. Система мониторинга пожарной безопасности на объектах энергетики // XLV Огаревские чтения: матер. науч. конф.: в 3-х ч. 2017. С. 541–544.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА НАСОСНО-РУКАВНОГО КОМПЛЕКСА С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 200 Л/С И ПОДАЧЕЙ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ НА РАССТОЯНИЕ 1200 М (НРК-200/1200)

А.А. Печурин, кандидат технических наук, доцент;

О.Е. Мельник, кандидат педагогических наук;

Ш.А. Османов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлена структура и состав насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1 200 м (НРК-200/1200), предложенная в результате анализа требований, предъявляемых МЧС России к разработке новых образцов пожарной техники и технических решений, представленных зарубежными производителями.

Ключевые слова: насосно-рукавный комплекс, технические решения, структура, состав, подача огнетушащих веществ на 1 200 м, производительность 200 л/с

DETERMINATION OF THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE PUMPING AND HOSE COMPLEX WITH A CAPACITY OF 200 LITERS PER SECOND AND THE SUPPLY OF FIRE EXTINGUISHING AGENTS AT A DISTANCE OF 1200 METERS (NRK-200/1200)

A.A. Pechurin; O.E. Melnik; Sh.A. Osmanov.

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

The article presents the structure and composition of a pumping and hose complex with a capacity of 200 liters per second and the supply of fire extinguishing agents at a distance of 1200 meters (NRK-200/1200), proposed as a result of an analysis of the requirements of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the development of new samples of fire equipment and technical solutions presented by foreign manufacturers.

Keywords: pumping and hose complex, technical solutions, structure, composition, supply of fire extinguishing agents at 1200 meters, capacity 200 liters per second

Совершенствование технических средств и методов подачи огнетушащих веществ, повышение эффективности средств тушения на объектах энергетики, а также в труднодоступных местах со слаборазвитой или разрушенной инфраструктурой является особенно актуальным. В связи с этим остро встает вопрос обоснования технологии применения рукавных систем большой пропускной способности, включающей в себя процесс прокладки рукавных линий, их работу, освобождение линий от остатков огнетушащих веществ и ее уборку.

В соответствии с распоряжением первого заместителя министра МЧС России генерал-полковника внутренней службы А.П. Чуприяна от 22 мая 2020 г. № 335 перед ведомственными научными и образовательными учреждениями пожарно-технического профиля поставлена задача по обоснованию облика и основных характеристик пожарной насосно-рукавной техники, обеспечивающей: осуществление забора огнетушащего вещества с высоты более 8 м; бесперебойную подачу огнетушащего вещества с расходом 200 л/с на расстояние более 1 200 м (НРК-200/1200) [1, 2].

В соответствии с основными задачами по обоснованию облика и основных характеристик пожарной насосно-рукавной техники, комплекс НРК-200/1200 предназначен для проведения пожарно-спасательных работ в условиях слаборазвитой или разрушенной инфраструктуры [1, 2].

Основное назначение насосно-рукавного комплекса НРК-200/1200:

- доставка к месту работ боевого расчета, пожарно-технического и аварийно-спасательного оборудования, инструмента, средств связи в условиях труднопроходимой местности;
- забор воды из открытых источников с отметки минус 15 м по вертикали относительно расположения насосного модуля или по горизонтали на расстояние 60 м от насосного модуля до погружного насоса;
- подача воды на расстояние до 1,5 км от насосного модуля с расходом не менее 200 л/с;
- осуществление забора воды как из оборудованных (приспособленных), так и необорудованных (неприспособленных) водоемов, имеющих обрывистые берега, а также с мостов, эстакад, причальных сооружений и т.д.;
- прокладка на большие расстояния рукавных линий со скоростью до 20 км/ч;
- откачка больших объемов водяной смеси при чрезвычайных ситуациях природного характера;
- механизированный подъем и укладка рукавов при сворачивании комплекса.

Для обоснования облика и основных характеристик НРК 200/1200 был проведен анализ требований к пожарно-техническому вооружению [2–5] и существующих технических решений зарубежных производителей: W. Ruberg AB, Швеция (<http://www.ruberg.se>) [6, 7]; Johstadt, Германия (<https://www.johstadt.com>) [8]; Rosenbauer, Австрия (<https://www.rosenbauer.com>); Ziegler GmbH, Германия (<https://www.ziegler.de>) [9]; MariFlex [10]; Darley, США (<https://www.darley.com>) [11]; FRAMO, Норвегия (www.framo.com) [12, 13]; US Fire Pump (www.usfirepump.com) [14].

В числе зарубежных производителей насосов на 200 л/с можно выделить несколько насосов, обеспечивающих выполнение поставленных задач: насос E100 шведского производителя RUBERG [6]; Насос NP10000 немецкой компании JOHSTADT [8]; Насосы ZSD 2500-3000 американской компании DARLEY [11]; насосы производителей ZIEGLER [9] и FRAMO [12, 13]. Илососы и прочие непожарные погружные насосы в исследование не были включены.

Лучшие показатели по коэффициенту полезного действия (к.п.д.) у насоса E100 на 200 л/с у шведского RUBERG E100 [6]. Насос NP10000 производителя JOHSTADT, способный выходить на подачу 200 л/с, выходит на схожие показатели как шведский. Немецкий ZIEGLER и австрийский ROSENBAUER имеют насосы, схожие по характеристикам с NP10000 насосами [8].

Высота всасывания пожарных центробежных насосов ограничена высотой атмосферного столба и кавитационной нагрузкой. Помимо уменьшения показателей подачи при увеличении геометрической высоты всасывания, ее выход на 8 м и более требует применения погружных насосов. Погружные насосы с электроприводом конструктивно требуют размещения электродвигателя непосредственно на самом насосе, то есть конструкции-моноблока, что при требуемых показателях производительности и массово-габаритных делает такие насосы неприемлемыми. Ключевым мировым производителем подобных насосов является FRAMO (Норвегия).

Производство пожарных погружных насосов с гидравлическим приводом организовано в Швеции (RUBERG). Подходящих для решения задач МЧС России всего две модели: HS100SUB [6] и H150SUB [7].

Устройства для автоматизированного сворачивания рукавных линий в силу конструктивного устройства могут не справляться с рукавами, внешняя поверхность которых недостаточно шероховата для обеспечения сцепления с элементами устройства либо масса

длины (части длины) сворачиваемого рукава, создающей нагрузку на конструктивные элементы устройства, будет приводить к проскальзыванию рукава.

Основным мировым производителем роликовых устройств, конструктивно более подверженных риску проскальзывания рукава, является голландский HYTRANS FIRE SYSTEM. Более габаритные, но и более надежные устройства – ленточно-роликовые. Основной мировой производитель – US FIRE PUMP. В России подобное устройство тоже разработано нижегородским предприятием ООО ТПП «ПЕЛЕНГ» (www.peleng.info).

Ленточное устройство с длиной транспортера 1,5–2,0 м обеспечивает устойчивое сцепление с рукавами, выполненными из любого материала, тогда как для роликовых устройств без особых проблем при сворачивании в полевых условиях подходят лишь каучуковые рукава (полиуретан на роликах проскальзывает).

В результате анализа технических решений зарубежных производителей пришли к следующим выводам:

– Пожарные центробежные насосы на 200 л/с с учетом потери мощности на привод (коробка отбора мощности – КОМ и др.) отберут у устанавливаемых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) все 100 % мощности. При этом в режиме самовсасывания показатели Q-P (л/с-м) составят при акценте на более высокий напор 170–120 и при акценте на более высокую подачу 200–80;

– Целесообразно рассматривать погружные насосы от RUBERG и MARIFLEX. По производительности на 200 л/с из двух шведских погружных насосов целесообразно использовать H150SUB. При такой подаче потребляемая мощность с учетом потерь в гидросистеме и КОМ составит около 140 кВт и будет гарантирован выход на напор в 30 м;

– Пожарный погружной насос MSP300 (Голландия). Работает в трех основных режимах Q-P (л/с-м) 35–80, 65–45, 85–30, что открывает широкий спектр возможностей при варьировании режимами. Потребляемая мощность с учетом потерь в гидросистеме и КОМ составит около 260 кВт;

– Рукава ДУ150 в тандеме с ПНС-100 и ПНС-110 и по сей день являются оптимальным решением для пожарной охраны. Если же задача состоит в том, чтобы минимизировать силы и средства для обеспечения подачи огнетушащих веществ (ОТВ) от места забора на максимальное расстояние без подключения дожимных насосов, то выход на рукава ДУ200 и ДУ200+ – это оптимальное решение. В рамках поставленной задачи целесообразно применять рукав на ДУ200, возможно даже ДУ225.

Единственный российский производитель рукавов большого диаметра – петербургская фирма ООО «БАЛТИКФЛЕКС».

Исходя из назначения и требований к проектируемому комплексу НРК-200/1200 [1, 2], в составе комплекса должны быть включены следующие модули и элементы:

1. Два специальных автомобиля для перевозки сменных модулей с технологическим оборудованием типа «мультилифт» МПР-20П.58 на базовых шасси с колесной формулой 6х6.
2. Основной насосный модуль высокой производительности.
3. Рукавный модуль с механизмом для механизированной сборки рукавов и пожарно-технического вооружения.

Включение в состав комплекса двух специальных автомобилей под перевозку основного насосного модуля и рукавного модуля позволят значительно сократить время развертывания комплекса за счет параллельного развертывания этих модулей при прибытии на место предназначения.

Возможен вариант, когда в составе НРК-200/1200 один автомобиль с системой «мультилифт» и прицепа (рис. 1). В данном случае на автомобиль устанавливается насосный модуль, а на прицепе – рукавный модуль, который при раскладывании рукавной линии перегружается с помощью системы «мультилифт» на автомобиль. Автомобилями комплекса могут доставляться дополнительные рукавные модули для прокладки рукавных линий на большие расстояния.



Рис. 1. Мультилифт ММР-3 (ММР-20П.58)

Мультилифт ММР-3 (МАС-20, АС-22, ММР-20П.58 и аналоги) – крюковая система, представляющая собой погрузочно-разгрузочный механизм с гидравлическим приводом и крюковым захватным устройством. Система устанавливается на автомобильное шасси и применяется для перевозки различных грузов.

Данная система значительно упрощает и ускоряет работу, сокращая время загрузки и разгрузки, и является универсальной: на одном автомобиле могут перевозиться кузова различного назначения (контейнер, цистерна, бортовая платформа, платформа, бытовка, мобильные компакторы и другое специализированное оборудование). Основные технические характеристики представлены в таблице.

Таблица. Мультилифт ММР-3. Технические характеристики

Технические характеристики	ММР-3
Назначение	Мусоровоз контейнерный с системой «Мультилифт»
Шасси	КАМАЗ-65802
Колесная формула	6x6
Двигатель, лс	КАМАЗ 740.73-400/ 740.632-400, 400 л/с
Объем кузова, м.куб.	20–32
Масса вывозимого мусора, кг	20 000
Грузоподъемность оборудования, кг	20 000
Конструкция стрелы	складная
Варианты комплектации	Управление ручное из кабины (тросовое)

Принципиальная схема структуры, забора и подачи воды НРК-200/1200 на большие расстояния представлены на рис. 2, 3.

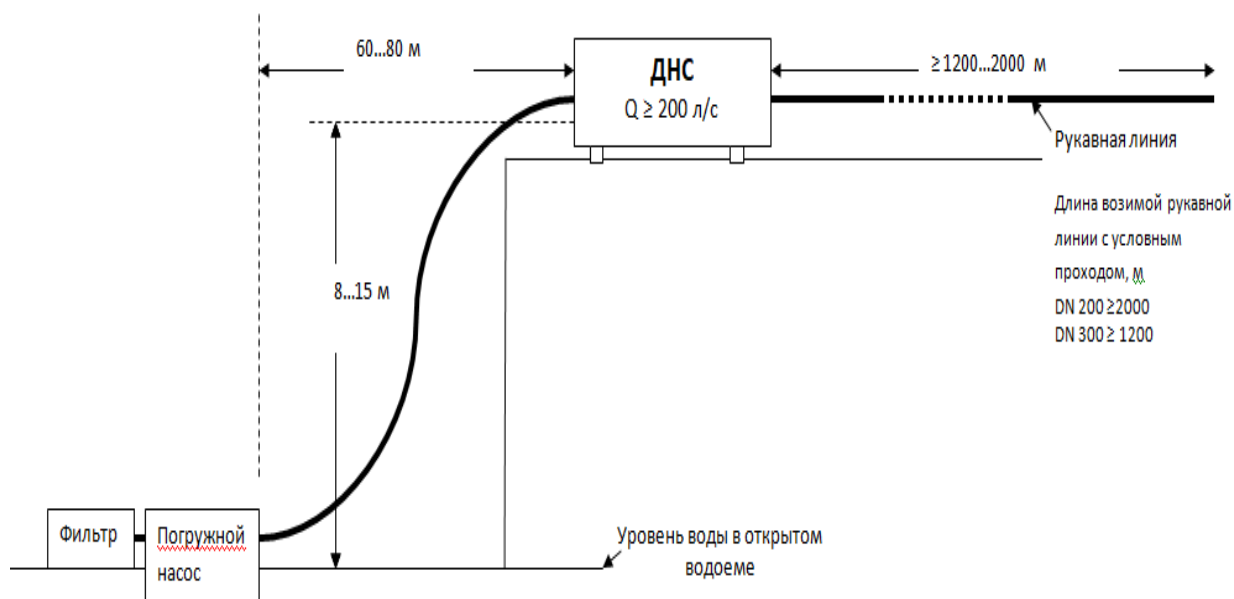


Рис. 2. Принципиальная схема работы НРК-200/1200 по забору и подачи воды из открытых водоемчиков:
ДНС – дизель-насосная станция

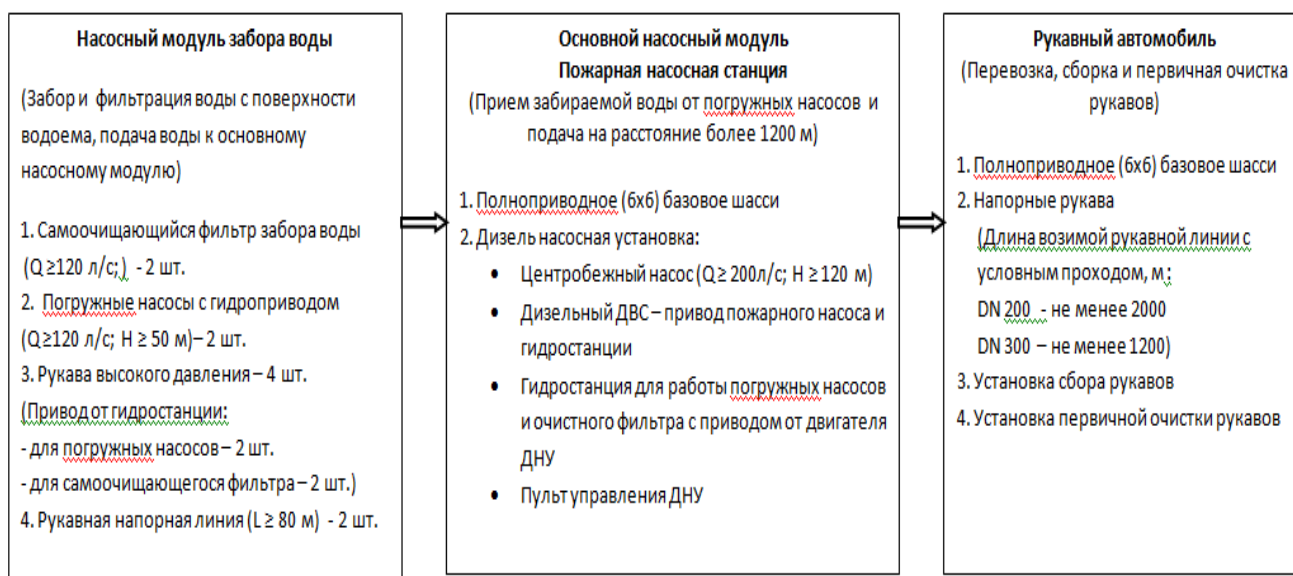


Рис. 3. Принципиальная схема структуры НРК с забором и подачей воды от открытых водоемов с производительностью не менее 200 л/с на расстояние более 1 200 м:
ДНУ – дизель-насосная установка

Основным и необходимым решением является включение в состав комплекса НРК-200/1200:

1. Дизель-насосной станции (центробежный насос с приводом от дизельного двигателя) с производительностью не менее 200 л/с и напором не менее 120 м.
2. Погружных насосов с гидравлическим приводом для забора и подачи воды к дизель-насосной станции.

Включение в состав комплекса погружных насосов обосновывается особенностями характеристик применяемых центробежных насосов – ограничением высоты всасывания (теоретически не более 10,3 м, с учетом сопротивлений всасывающей линии и других факторов – не более 6 ... 7,5 м).

Основными требованиями к техническим характеристикам погружных насосов являются:

1. Суммарная производительность не менее производительности основного центробежного насоса на всех режимах работы ДНС.
2. Напор не менее 60 м.
3. Масса конструкции насоса, включающая легкий трубчатый каркас и удерживающий на поверхности воды поплавков, должна быть перевозима расчетом на транспортной тележке (как вариант, конструкция снабжена колесами) и иметь запас плавучести.
4. Иметь гидроприводную конструкцию (гидромотор с питанием от гидростанции).

Предложенная структура и состав комплекса (рис. 2, 3) при соответствующих технических характеристиках составных частей (дизель-насосной станции, погружных насосов, рукавной линии и др.) позволят решить основные задачи комплекса:

– забор воды из открытых источников с отметки до минус 15 м по вертикали относительно расположения насосного модуля или по горизонтали на расстояние 60 м от насосного модуля до погружного насоса;

– подача воды на расстояние до 1,5 км от насосного модуля с расходом не менее 200 л/с;

– осуществление забора воды как из оборудованных (приспособленных), так и необорудованных (неприспособленных) водоемов, имеющих обрывистые берега, а также с мостов, эстакад, причальных сооружений и т.д.

Предложенная структура НРК-200/1200 будет иметь следующие преимущества:

– отсутствуют всасывающие рукава и не требуются системы вакуумирования;

– полностью исключается возможность появления воздушных пробок; снимается проблема «негерметичности всасывающих рукавов» и тем самым обеспечивается непрерывность подачи воды;

– простота эксплуатации и управления; простота устройства и обслуживания; надежность и долговечность элементов комплекса, что снижает затраты на ремонт и сервисное обслуживание;

– гидравлический мотор погружного насоса охлаждается водой, поэтому практически исключена возможность перегрева при длительной работе;

– возможность работы в кавитационном режиме или «всухую».

В результате проведенного анализа технических решений, представленных зарубежными производителями и требований, предъявляемых МЧС России к разработке новых образцов пожарной техники, предложена структура и состав насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей ОТВ на расстояние 1 200 м (НРК-200/1200) [15]. По результатам анализа патентов в области пожарной насосно-рукавной техники и технологий подтверждена патентная чистота предлагаемых технических решений НРК-200/1200.

Литература

1. Об организации разработки современных образцов пожарно-спасательной техники и технологий: распоряжение МЧС России от 22 мая 2020 г. № 335.

2. Проведение научных исследований по разработке исходных данных и проекта технического задания на опытно-конструкторскую работу по разработке и созданию новых образцов пожарных рукавов, пожарной техники, оборудования и испытательной базы к ним с улучшенными характеристиками и применением современных материалов» (НИР «Перспектива-ПТВ»): частное техн. задание на составную часть науч.-исслед. работы (п. 26 раздела III плана науч.-исслед. и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2020 г. и плановый период 2021 и 2022 гг., утв. приказом МЧС России от 29 апр. 2020 г. № 274). М.: ФГБОУ ВО С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, ФГБОУ «Всероссийский знак Почета» ВНИИПО МЧС России, 2020. 9 с.

3. ГОСТ Р 53248–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

4. ГОСТ Р 58714–2019. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубопроводы из гибких плоскостворачиваемых рукавов. Общие технические условия // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

5. ГОСТ Р 53277–2009. Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

6. Pump performance curve E 100SUB. 2017-01-09 // W.Ruberg. AB. 1p.

7. Pump performance curve E 150SUB. 2015-11-27 // W.Ruberg. AB. 1p.

8. Fahrzeugeinbaupumpe NP10000 // PF Pumpen und Feuerlöschtechnik GmbH. 4p.

9. Ziegler Pumps and Turrets // ZIEGLER. URL: <https://www.ziegler.de/en/products/pumps-pump-components> (accepted: 31.08.2020).

10. MariFlex MSP-300. Сверхлегкий погружной пожарный насос // MariFlex Group. 4 p.

11. ZSD 2500-3000 // Darley. URL: <https://darley.com/pump-solutions/product/zsd-2500-3000> (accepted: 31.08.2020).

12. Technical description: High-capacity systems for firefighting. Framo diesel-electric fire water pumps // Framo Oil and Gas Pumping Systems. 12 p.

13. Technical description: Rapid response pumping systems for firefighting. Framo diesel-hydraulic fire water pumps // Framo Oil and Gas Pumping Systems. 12 p.

14. Hose Recovery // US Fire Pump. URL: <http://usfirepump.com/products/hose-recovery-vehicle> (accepted: 31.08.2020).

15. Структура и состав насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1200 м (НРК-200/1200): конкурсная работа по обоснованию перспективного облика и основных характеристик пожарной насосно-рукавной техники и технологий / А.А. Печурин [и др.]. СПб.: ФГБОУ ВО С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 70 с.

УДК 614.8

ФОРМИРОВАНИЕ КОМИССИИ МЧС РОССИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУДЕБНЫХ ЭКСПЕРТИЗ ПО ДЕЛАМ, СВЯЗАННЫМ С ПОЖАРОМ

А.К. Черных, доктор технических наук, доцент;

Е.Е. Горшкова.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

В.Б. Вилков, кандидат физико-математических наук, доцент.

Военная академия материально-технического обеспечения

им. генерала армии А.В. Хрулева

Рассмотрена задача по формированию оптимального состава комиссии МЧС России, предназначенной для выполнения эффективной экспертизы пожара на особо важном объекте. При этом учитывается уровень компетентности экспертов формируемой комиссии и финансовые затраты на комплектование комиссии экспертами и специальным

оборудованием. Поскольку уровень компетентности каждого эксперта, командированного для выполнения экспертизы, не всегда удается указать однозначно, то с целью задания указанного уровня необходимо использовать нечеткие числа в рамках теории нечетких множеств. Решение задачи базируется на модели задачи о ранце и теории нечетких множеств. Для решения задачи применен разработанный алгоритм, осуществляющий ее приближенное решение, легко реализуемый с использованием компьютерной программы. Алгоритм иллюстрируется содержательным примером.

Ключевые слова: задача формирования комиссии экспертов, оптимальный состав комиссии для экспертизы пожара, задача о ранце, нечеткие множества, нечеткая логика, нечеткое число, динамическое программирование

FORMATION OF A COMMITTEE OF EMERCOM OF RUSSIA FOR THE PRODUCTION OF FORENSIC EXAMINATIONS IN CASES OF FIRE

A.K. Chernykh; E.E. Gorshkova.

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

V.B. Vilkov. Military academy of logistics behalf of the army general A.V. Khrulev

The task of forming the optimal composition of the Commission of the EMERCOM of Russia, designed to perform an effective examination of a fire at a particularly important object, is considered. This takes into account the level of competence of experts formed by the Commission and the financial costs of completing the Commission with experts and special equipment. Since it is not always possible to specify the level of competence of each expert sent to perform the examination unambiguously, it is necessary to use fuzzy numbers in the framework of fuzzy set theory in order to set the specified level. The solution of the problem is based on the model of the satchel problem and the theory of fuzzy sets. To solve the problem, a developed algorithm is used that provides an approximate solution, which is easily implemented using a computer program. The algorithm is illustrated with a meaningful example.

Keywords: task of forming a Commission of experts, optimal composition of the Commission for fire examination, problem of the satchel, fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy number, dynamic programming

Известно, что формальная логика не дает обоснованных решений задач пожарной экспертизы в условиях неполной информации, поэтому для решения подобных задач необходимо применение теории нечетких множеств и нечеткой логики, основные понятия которой приведены в работе [1].

Необходимые для изложения предлагаемого алгоритма понятия: нечеткое множество, функция принадлежности нечеткого множества, степень принадлежности элемента к нечеткому множеству, пересечение нечетких множеств, нечеткая величина, нечеткое число – приведены, например, в публикациях [2–6].

Отметим, что нечеткое множество \hat{C} является пересечением нечетких множеств \hat{A} и \hat{B} (рис. 1), если имеет место соотношение:

$$F_{\hat{C}}(u) = \min \{F_{\hat{A}}(u), F_{\hat{B}}(u)\}.$$

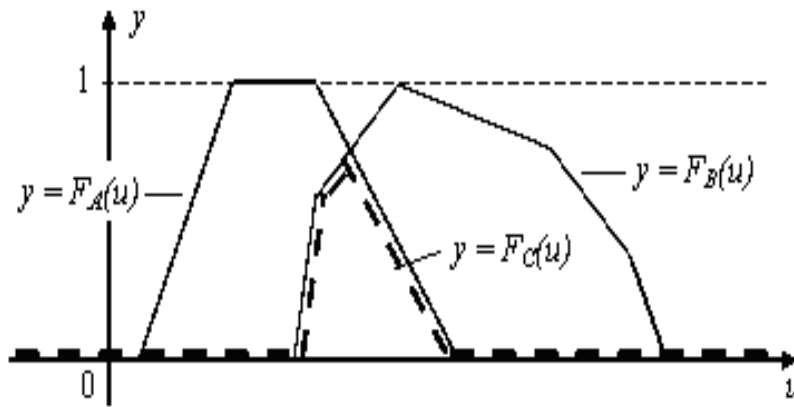


Рис. 1. Пересечение нечетких множеств \hat{A} и \hat{B} (обозначено пунктиром)

Необходимые понятия нечеткой логики приведены в публикациях [7–9].

Так, степень истинности конъюнкции нечетких высказываний \tilde{A} и \tilde{B} обозначим через $\mathfrak{R}_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}}$ и, следовательно, согласно (1) имеем:

$$\mathfrak{R}_{\tilde{A} \wedge \tilde{B}} = \min \{ \mathfrak{R}_{\tilde{A}}, \mathfrak{R}_{\tilde{B}} \}, \quad (1)$$

где $\mathfrak{R}_{\tilde{A}}$ и $\mathfrak{R}_{\tilde{B}}$ – степени истинности нечетких высказываний \tilde{A} и \tilde{B} .

Определив математический аппарат, который необходимо использовать при решении задачи формирования оптимального состава комиссии МЧС России, предназначенной для производства судебных экспертиз по делам, связанным с пожаром на особо важном объекте (в дальнейшем – комиссия), дадим вербальную постановку этой задачи.

Необходимо сформировать комиссию экспертов в количестве m экспертов с максимальной компетентностью, при том, что расходы на формирование этой комиссии ограничивались бы заданной величиной T . Компетентности претендентов, которых планируется включить в состав комиссии, предполагается оценивать долями задач, измеряемыми в процентах, которые они способны решать на требуемом качественном уровне. В качестве указанных оценок будем использовать нечеткие числа. Присвоим претендентам в составе комиссии порядковые номера и обозначим через нечеткое число ν_i оценку компетентности эксперта имеющего номер i , $i = 1, 2, \dots, m$. Для нечеткого числа ν_i функцию принадлежности обозначим через $\mu_i(u)$, $u \in [0; 100]$. $\mu_i(u)$, как и в работе [5], является степенью уверенности должностного лица, формирующего комиссию в том, что оценка компетентности претендента с i порядковым номером, принимает значение u . Иными словами, с результативностью u процентов претендент с i порядковым номером справится с решением всех поставленных задач. Пример графического представления функций принадлежности оценки компетентности приведен на рис. 2.

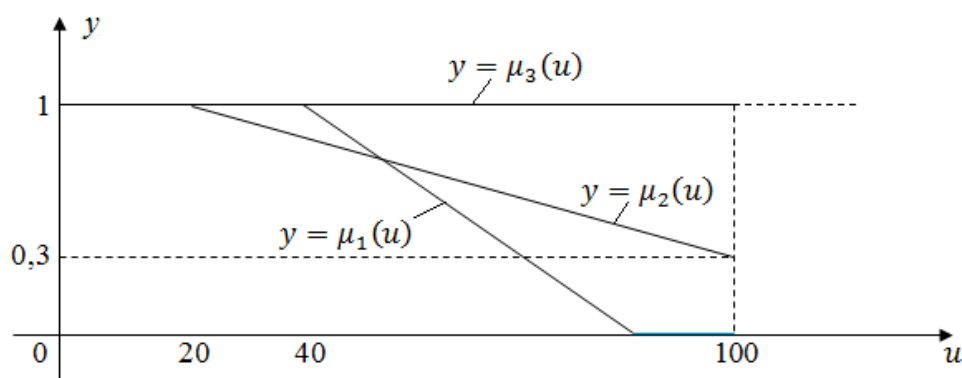


Рис. 2. Графические представления функций принадлежности

В табл. 1 приведем необходимые обозначения.

Таблица 1. Обозначения, необходимые для описания алгоритма задачи

Обозначение переменной	Значение переменной
S	состав комиссии
$I = \{1, 2, \dots, n\}$	совокупность всех претендентов на включение в состав комиссии
t_i	значение, соответствующее нечеткому числу V_i
$T(S)$	совокупность чисел $t_i (i \in S)$ – значения оценок компетентности экспертов из комиссии S

Введем теперь основные понятия, необходимые для изложения алгоритма задачи формирования оптимального состава комиссии МЧС России, предназначенной для выполнения эффективной экспертизы пожара на особо важном объекте.

Для рассматриваемого набора значений оценок компетентности экспертов, оценкой эффективности комиссии будем считать ее близость к комиссии, компетентность которой равна 100 %.

Если для каждого из экспертов комиссии оценка компетентности не меньше значения γ , а хотя бы для одного из экспертов она равна γ , то оценка компетентности комиссии полагается равной значению γ .

Качество комиссии предлагается оценивать, базируясь на степень истинности конъюнкции нечетких высказываний: «оценка эффективности комиссии равна γ » и «оценка компетентности комиссии не ниже γ ».

Под степенью истинности высказывания «оценка эффективности комиссии равна γ », следуя публикации [10], будем использовать нормированное значение этой оценки:

$$\frac{\text{текущее значение минус минимально } e}{\text{максимальное значение минус минимально } e} = \frac{\gamma - 0}{100 - 0} = \frac{\gamma}{100},$$

где 100 – максимум; 0 – минимум значения оценки эффективности комиссии.

Согласно формуле (1) под степенью истинности конъюнкции двух приведенных выше высказываний будем понимать минимум из их степеней истинности. Цель решения задачи формирования оптимального состава комиссии МЧС России, предназначенной для выполнения эффективной экспертизы пожара на особо важном объекте, заключается в поиске такого варианта комиссии, для которого этот минимум максимален.

Несложно доказать (в рамках статьи это доказательство не приводится), что для оценки качества формируемой комиссии можно использовать степень истинности конъюнкции следующих двух нечетких высказываний: «оценка эффективности комиссии равна γ » и «оценка компетентности комиссии равна γ ».

Определив основные понятия, необходимые для формулирования алгоритма решаемой задачи, приступим к характеристике и изложению этого алгоритма.

В алгоритме принят шаг изменения оценки компетентности равный h .

Алгоритм является приближенным.

Алгоритм является итерационным.

Каждая итерация состоит из четырех этапов.

Рассмотрим k итерацию, $k = 0, 1, \dots, N$, $N = \lceil 100/h \rceil$ и ее этапы:

1. Для данного этапа определяем kh – оценку компетентности комиссии.

2. Определяем $e_i = \mu_i(kh)$, $i \in I$ – степени истинности (функций принадлежности) нечетких высказываний «оценка компетентностей i экспертов равна kh ».

3. Обозначив через c_i , $i = 1, 2, \dots, n$ – финансовые расходы на привлечение i претендента в состав комиссии, решаем задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \{e_1 x_1, e_2 x_2, \dots, e_n x_n\} \rightarrow \max, \\ \text{при ограничениях :} \\ c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \leq T, \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = m, \\ x_i \in [0; 1], i = 1, 2, \dots, n. \end{array} \right. \quad (2)$$

Решением задачи (2) являются переменные x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, имеющие следующие значения:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если претендент с номером } i \text{ привлекается в группу,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Замечание: согласно работе [11] целевая функция и ограничения (2) представляют собой модификацию задачи о ранце, которая решается с использованием математического аппарата динамического программирования, представленного, например, в работе [12] и в большом количестве других источников.

Для того чтобы претендент с номером i принадлежал комиссии S_k , необходимо и достаточно, чтобы α_k было максимумом показателя критерия задачи (2) и $x_i = 1$.

Замечание: отметим, что α_k равно степени истинности (функции принадлежности) нечеткого высказывания « S_k компетентна».

4. Вычисляем показатель качества варианта для комиссии S_k с оценкой степени эффективности kh – степень истинности переменной β_k , являющейся конъюнкцией двух нечетких высказываний: «оценка эффективности комиссии S_k равна kh » и «оценка компетентности комиссии S_k равна kh », $\beta_k = \min\{\alpha_k, kh/100\}$.

Выполнив расчеты этапов 1–4 для всех итераций, найдем k_0 , для которого $\beta_{k_0} = \max_{0 \leq k \leq N-1} \beta_k$, и, следовательно, решением задачи является комиссия S_{k_0} .

Пример. Необходимо выбрать из шести претендентов ($I = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$) трех экспертов в состав комиссии (S). Финансовые расходы c_i ($i = \overline{1, 6}$) на привлечение i претендента в состав комиссии, а также функции принадлежности $\mu_i(u)$, $i = \overline{1, 6}$, указаны в табл. 2. Предполагается, что суммарные расходы по привлечению в комиссию экспертов не должны превышать 10 условных единиц.

Таблица 2. Значения функции принадлежности и расходов ($h=20$)

№ претендента	Доля решаемых задач $kh/100$, доли ед.						Расходы (c_i), усл. ед.
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	
1	1	1,00	1,00	1	1	1	6
2	1	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	4
3	1	0,94	0,88	0,60	0,30	0,00	3
4	1	0,90	0,80	0,55	0,00	0,00	2
5	1	0,88	0,76	0,64	0,60	0,40	1
6	1	0,86	0,72	0,58	0,52	0,30	1

В табл. 3 приведены результаты проведенных вычислений.

Таблица 3. Результаты расчетов для третьего и четвертого этапов алгоритма ($h=20$)

Итерация (k)	Доля решаемых задач ($kh/100$)	Претенденты на включение в состав комиссии						α_k , доли ед.	β_k , доли ед.
		1	2	3	4	5	6		
0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	0,2	0	1	1	1	0	0	0,9	0,2
2	0,4	0	1	1	1	0	0	0,8	0,4
3	0,6	0	1	1	0	1	0	0,6	0,6
4	0,8	0	1	0	0	1	1	0,52	0,52
5	1,0	0	1	0	0	1	1	0,30	0,30

В качестве пояснения к табл. 3 отметим:

Значение 0(1) на пересечении k итерации и выбранного претендента свидетельствует, что этот претендент не входит (входит) в состав комиссии в рамках этой итерации.

Результаты проведенных вычислений показали, что в рамках третьей итерации оптимальный состав имеют две комиссии (компетентности их совпадают), включающие как 1, 3 и 5 претендентов, так и 2, 3 и 5 претендентов.

В строке табл. 3, соответствующей третьей итерации алгоритма, указана комиссия, включающая 2, 3 и 5 претендентов, поскольку ее формирование экономически эффективнее, чем формирование комиссии, состоящей из 1, 3 и 5 претендентов.

Таким образом, предложен эффективный и достаточно простой, в части, касающейся разработки компьютерной программы, алгоритм приближенного решения задачи формирования оптимального состава комиссии экспертов МЧС России, предназначенной для производства

судебных экспертиз по делам, связанным с пожаром на особо важном объекте [13–17], легко реализуемый на средствах вычислительной техники.

Литература

1. Zadeh L. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. № 8. P. 338–353.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
3. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином, 2006.
4. Вилков В.Б., Флегонтов А.В., Черных А.К. Математическая модель задачи о распределении в условиях неопределенности // *Дифференциальные уравнения и процессы управления*. 2018. № 2. С. 180–191.
5. Черных А.К., Вилков В.Б. Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 25. № 9. С. 52–59.
6. Вилков В.Б., Черных А.К., Флегонтов А.В. Теория и практика оптимизации решений на основе нечетких множеств и нечеткой логики. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2017.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
8. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001.
9. Черных А.К., Козлова И.В., Вилков В.Б. Вопросы прогнозирования материально-технического обеспечения с использованием нечетких математических моделей // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2015. № 4 (36). С. 107–117.
10. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Мир, 1981.
11. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974.
12. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: ИЛ, 1960.
13. Буданов Д.С., Горшкова Е.Е. Техническая безопасность газотранспортных объектов // *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Всерос. науч.-практ. конф.* 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 19–21.
14. Использование специальных знаний при расследовании преступлений: учеб. пособие / Д.В. Алехин [и др.]. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017.
15. Экспертиза пожаров: учеб. / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2014.
16. Расследование пожаров: учеб. / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2014.
17. Тапалова Р.Б. Судебная экспертиза: монография. Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2015. 150 с.



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

УДК 699.816, 614.849

ОБ ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА ПРИ ВОЗМОЖНОМ ПОЖАРЕ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

О.А. Зыбина, доктор технических наук, доцент;

Р.А. Дербенев;

О.П. Савошинский.

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

Рассмотрены вопросы оценки индивидуального пожарного риска в вузе на основе компьютерного моделирования развития опасных факторов пожара и эвакуации студентов и преподавателей. Показана определяющая значимость своевременного начала эвакуации на безопасность людей в вузе. Рассмотрены особенности оценки пожарного риска на примере Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого. Даны рекомендации по снижению риска воздействия опасных факторов пожара на студентов, преподавателей и персонала, находящихся в вузе.

Ключевые слова: высшие учебные заведения, пожар, эвакуация, риск

ABOUT THE ASSESSMENT OF INDIVIDUAL RISK IN CASE OF A POSSIBLE FIRE AT PETER THE GREAT SAINT-PETERSBURG STATE POLYTECHNIC UNIVERSITY

O.A. Zyбина; R.A. Derbenev; O.P. Savoshinsky.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university

The article deals with the assessment of individual fire risk in higher Education institutions based on computer modeling of the development of fire hazards and evacuation of students and teachers. It shows the determining significance of the timely start of evacuation for the safety of people at the University. Features of fire risk assessment are considered on the example of Peter the Great Saint-Petersburg state polytechnic university. Recommendations are given to reduce the risk of exposure to fire hazards on students, teachers and staff who are at the university.

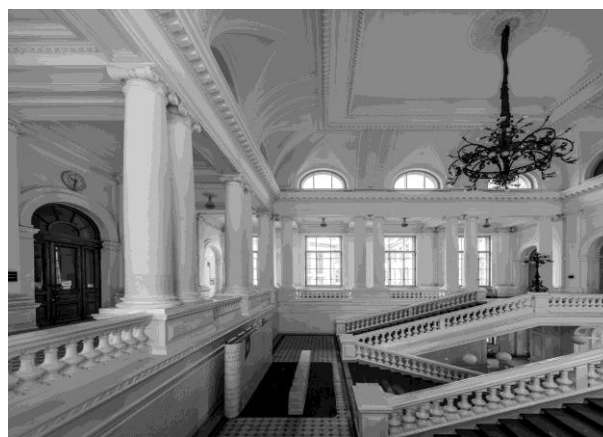
Keywords: higher education institutions, fire, evacuation, risk

Среди высших учебных заведений (вузов) России/СССР видное место исторически занимал и занимает Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого (рис. 1). Он основан в 1899 г. по поручению министра финансов Российской Империи С.Ю. Витте и получил название Императорский Санкт-Петербургский политехнический институт. Затем неоднократно менял названия: с 1922 г. – Первый Петроградский политехнический институт им. М.И. Калинина; с 1924 г. – Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина; с 1934 г. – Ленинградский индустриальный институт; с 1940 г. – Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина; с 1990 г. – Ленинградский государственный технический университет; с 1991 г. – Санкт-Петербургский государственный технический университет; с 2002 г. – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; с 2015 г. носит нынешнее название. Он имеет статус Национального исследовательского университета, в его состав входят 11 институтов, обучение по очной форме проходят более 32 тыс. студентов, магистрантов и аспирантов.

Как раньше, так и в настоящее время для отечественных и зарубежных вузов, в том числе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) Петра Великого, актуальной является проблема обеспечения безопасности студентов, преподавателей и персонала, в частности, пожарной безопасности [1–3]. Одной из важных составляющих решения этой проблемы для вузов как объектов с массовым пребыванием людей является оценка индивидуального пожарного риска [3].



а



б

Рис. 1. СПбГПУ Петра Великого:
а – вид на главный корпус; б – внутренняя лестница

Основные положения порядка оценки индивидуального пожарного риска для вузов

В соответствии с методикой [4], индивидуальный пожарный риск Q_B воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на человека определяется как наибольший из N возможных сценариев пожара:

$$Q_B = \max(Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{BN}), \quad (1)$$

а риск Q_{Bi} для каждого i -го сценария – по выражению:

$$Q_{Bi} = Q_{Pi}(1 - P_{AУPi})P_{Li}(1 - P_{Эi})(1 - P_{ПЗi}), \quad (2)$$

где Q_{Pi} – вероятность пожара в здании в течение года, год⁻¹; $P_{AУPi}$ – вероятность эффективного срабатывания автоматических установок пожаротушения (АУП) при пожаре; P_{Li} – вероятность наличия людей в здании на момент пожара; $P_{Эi}$ – вероятность эвакуации

людей; $P_{ППЗi}$ – вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты (ППЗ), здесь и далее индекс i соответствует сценарию пожара.

Применительно к вузам ввиду ограниченности статистики следует полагать [4] $Q_{Пi}=0,04$ год⁻¹, ввиду отсутствия АУП [5] в аудиториях $P_{АУПi}=0$, ввиду отсутствия противодымной вентиляции [6] ППЗ в здании обеспечивается только системой оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ):

$$P_{ППЗi}=R_{обн,i}R_{СОУЭi}, \quad (3)$$

где $R_{обн,i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие автоматической пожарной сигнализации (АПС) [5] требованиям нормативных документов (то есть АПС при i -м сценарии пожара эффективно обнаружит пожар); $R_{СОУЭi}$ – коэффициент, учитывающий соответствие СОУЭ [7] требованиям нормативных документов по пожарной безопасности (то есть СОУЭ при i -м сценарии пожара также сработает эффективно).

Поскольку, согласно методике [4], $R_{обн,i}=R_{СОУЭi}=0,8$, выражение (3) упрощается: $P_{ППЗi}=0,64$. Вероятность наличия людей в здании на момент пожара $P_{Ли}$ определяется соотношением:

$$P_{Ли}=t_{\phi i}/24,$$

где $t_{\phi i}$ – время нахождения людей в здании вуза, ч, а с учетом восьмичасового рабочего дня: $P_{Ли}=0,333$. Вероятность $P_{Эi}$ при отсутствии наружных лестниц обуславливается соотношением времени блокирования $t_{бл}$ эвакуационных путей [8] ОФП, времени начала эвакуации $t_{нэ}$ и расчетного времени эвакуации t_p [4]:

$$P_{Эi} = \begin{cases} (0,8t_{бл} - t_p)/t_{нэ}, & \text{если } t_p < 0,8t_{бл} < t_p + t_{нэ}, \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{бл}, \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин}, \end{cases} \quad (4)$$

где $t_{ск}$ – продолжительность существования скопления людей, когда плотность D их потока (отношение общей проекционной площади людей к площади участка эвакуационного пути, где они находятся) на путях эвакуации $D > 0,5$ м²/м².

Время $t_{нэ}$ обуславливается техническими возможностями АПС и СОУЭ, время $t_{бл}$ блокирования эвакуационных путей можно оценить на основе анализа динамики ОФП [3, 4] (повышенной температуры, теплового потока, потери видимости, опасной концентрации продуктов горения и пониженной концентрации O_2) с использованием полевой модели пожара [9] как наиболее точно отражающей процессы тепломассообмена. Времена t_p и $t_{ск}$ можно оценить методами, приведенными в методике [4].

В итоге выражение (2) применительно к учебному зданию вуза может быть приведено к виду:

$$Q_{Ви} \approx 8,53 \cdot 10^{-3} (1 - P_{Эi}), \quad i=1, \dots, N.$$

В дальнейшем представляется возможным проиллюстрировать изложенный подход на примере главного корпуса СПбГПУ Петра Великого.

Оценка индивидуального пожарного риска на примере СПбГПУ Петра Великого

Здание главного корпуса является образцом архитектуры конца XIX – начала XX вв., включено в список объектов культурного наследия, представляющего историческую,

художественную, научную и иную культурную ценность. Здание четырехэтажное, нежилое, имеет три надземных и один цокольный этаж, в нем размещены учебные и поточные аудитории, кабинеты, лаборатории, библиотека, мастерские, кладовые, бытовые и подсобные помещения. Степень огнестойкости III, класс конструктивной пожарной опасности С1, класс функциональной пожарной опасности [3] Ф4.2.

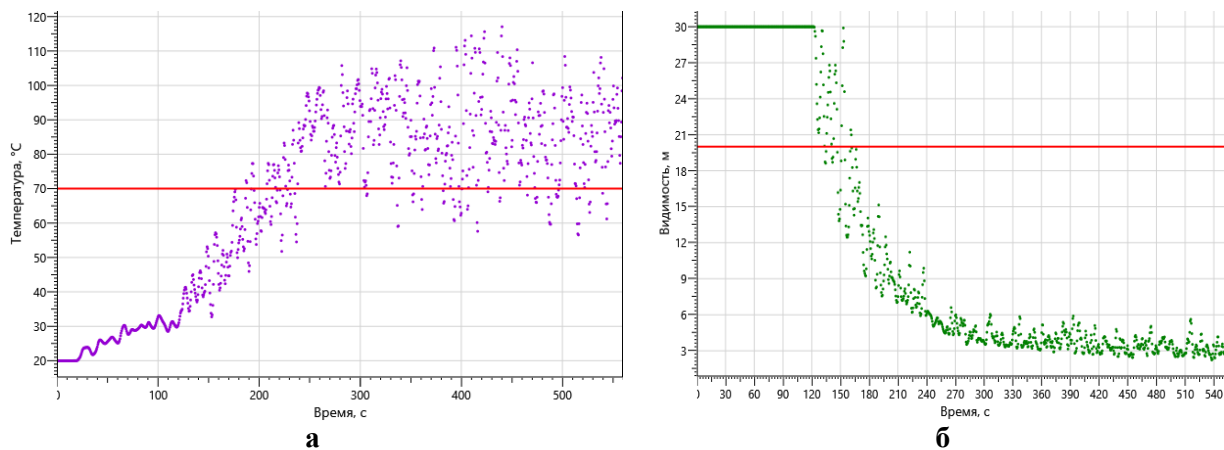
Для обеспечения безопасности студентов, преподавателей и персонала (группа мобильности М1) в случае пожара и в соответствии со Сводом правил (СП) [5] главный корпус оборудован АПС на базе системы «Стрелец» (извещатели дымовые ИП 212-10-3, ИП 212-10-4 и ручные ИП 513-10-1). В соответствии с СП [7] в здании имеется СОУЭ III типа (оповещатели речевые «Орфей» и световые «Блик-С12», «Табло-Р»).

Учитывая значимость такого известного вуза, как СПбГПУ Петра Великого, была проведена оценка индивидуального пожарного риска для студентов, преподавателей и персонала по трем ($N=3$) сценариям пожара в главном корпусе и в рамках работы над магистерской диссертацией подготовлен соответствующий отчет [10]. Ввиду большого объема полученного материала и ограниченного объема статьи, далее будут приведены результаты оценки Q_B для наиболее опасного сценария пожара в главном корпусе СПбГПУ Петра Великого.

Исходные данные: аудитории максимально заполнены в ходе проведения занятий (1 этаж – 74 помещения, 953 чел.; 2 этаж – 70 помещений, 1481 чел.; 3 этаж – 17 помещений, 274 чел., итого 2 708 студентов, преподавателей и персонала), пожар класса А произошел в административном помещении № 110 на втором этаже (пожарная нагрузка: низшая теплота сгорания ≈ 14 МДж/кг; линейная скорость распространения пламени 0,0045 м/с; удельная массовая скорость выгорания 0,0137 кг/(м²с); коэффициент полноты сгорания 0,93; удельная мощность 178,4 кВт/м²; дымообразующая способность 47,7 Нп·м²/кг; потребление O₂ 1,369 кг/кг; выделение CO₂ 1,478 кг/кг; выделение CO 0,03 кг/кг; выделение хлористого водорода 0,0058 кг/кг). Параметры воздуха: температура 20 °С, давление 0,1013 МПа, относительная влажность 40 %. Поэтажные планы здания главного корпуса задавались с точностью до 10 см.

Моделирование динамики развития ОФП проводилось по полевой модели пожара с помощью программы FDS (Fire Dynamic Simulator), разработанной Национальным институтом стандартов и технологии НИСТ/NIST США.

В результате моделирования развития пожара была получена динамика ОФП в характерных 75 контрольных точках здания – выходы из помещений и коридоров на высоте 1,7 м, лестницы. Для примера на рис. 2 показана расчетная динамика ОФП в контрольной точке «Дверь_246_1». В целом установлено, что наиболее опасным фактором из всех является потеря видимости.



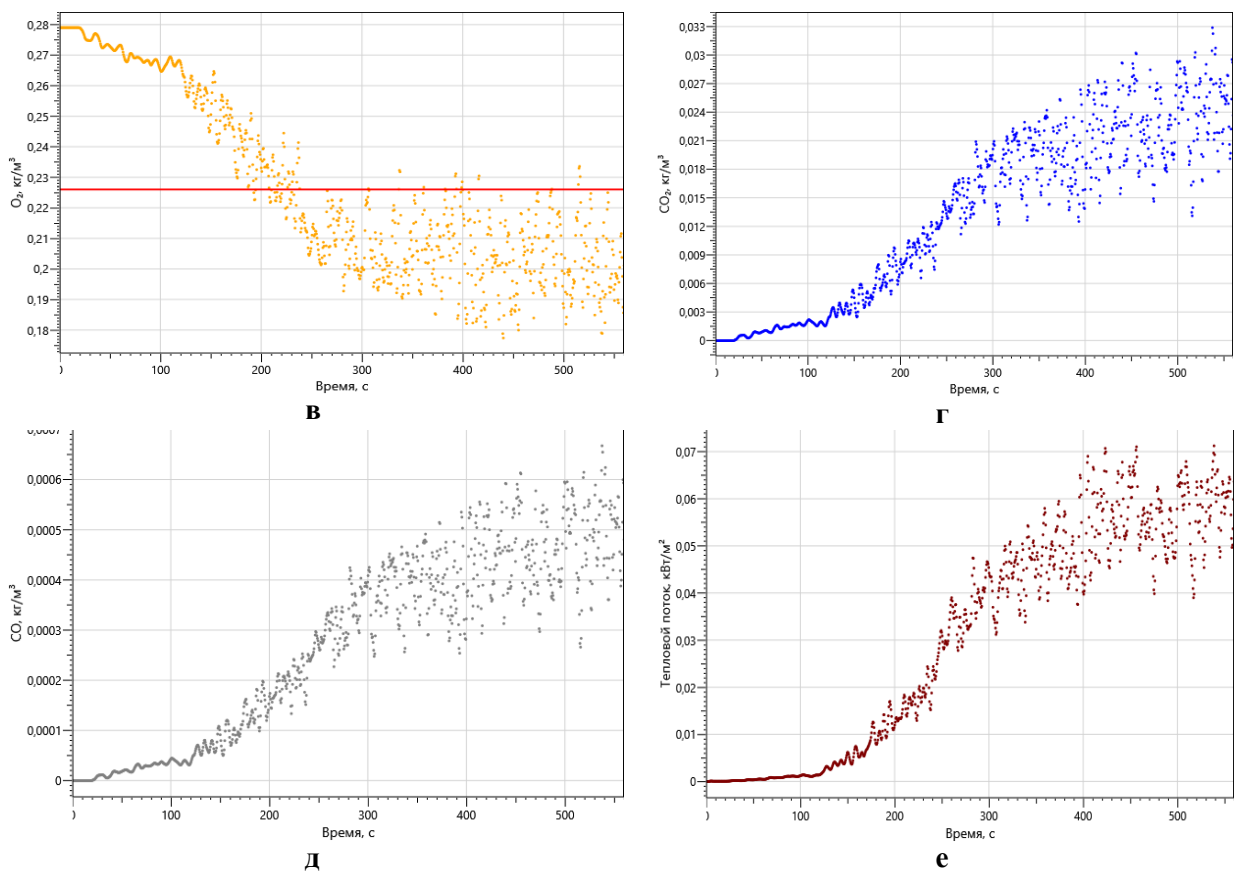


Рис. 2. Пример динамики ОФП в одной из контрольных точек главного корпуса:
 а – температура; б – видимость; в – концентрация O_2 ; г – концентрация CO_2 ;
 д – концентрация CO ; е – тепловой поток

Моделирование эвакуации проводилось по индивидуально-поточной модели движения людей с помощью программного комплекса Fenix+ 2 Academy (Заключение Академии ГПС МЧС России № 34/25-2013 от 1 апреля 2013 г.). В качестве иллюстрации на рис. 3 показаны расчетные траектории движения людских потоков при эвакуации со второго этажа. Подобные траектории построены и для остальных этажей корпуса – цокольного, первого и третьего.

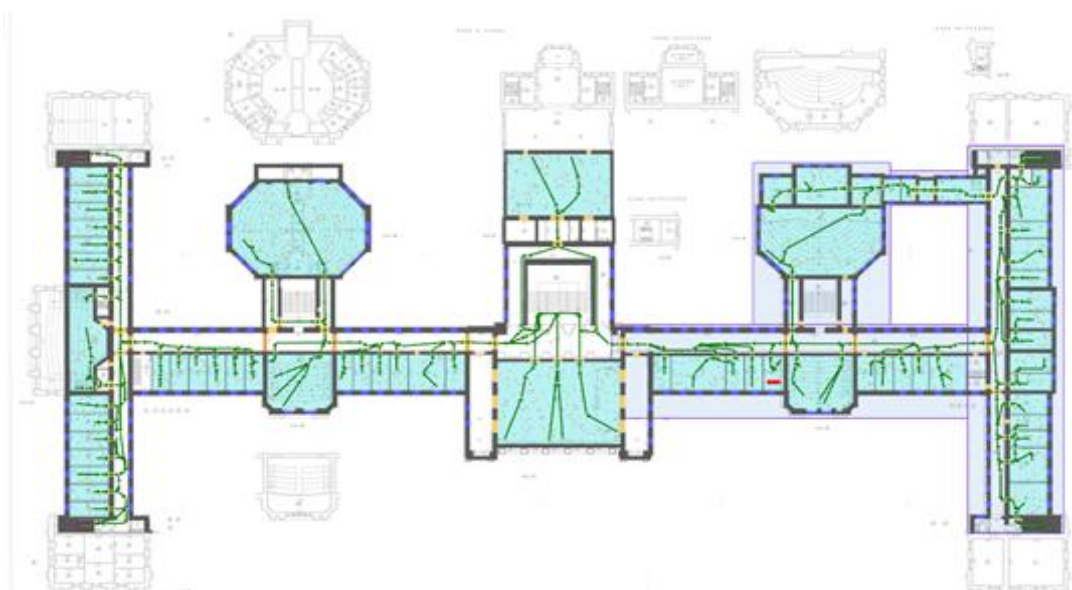


Рис. 3. Расчетные траектории людских потоков (показаны зеленым) при эвакуации со второго этажа главного корпуса (голубой цвет – учебные аудитории и кабинеты)

Одной из важных задач, поставленной перед исследованием процесса эвакуации людей при пожаре в вузе, является оценка влияния времени начала эвакуации $t_{нэ}$ на величину риска Q_B . Для этого, задаваясь значениями $t_{нэ}$, по выражению (4) оценивалась вероятность $P_Э$ при величинах $t_{бл}$ и t_p , полученных по результатам моделирования динамики ОФП и эвакуации людей, а затем по выражениям (1) и (2) рассчитывалась величина Q_B . Полученные результаты применительно к рассмотренному сценарию пожара в главном корпусе СПбГПУ приведены в таблице.

Таблица. Влияние времени начала эвакуации $t_{нэ}$ на вероятность $P_Э$ и риска Q_B при возможном пожаре в главном корпусе СПбГПУ (по результатам моделирования)

$t_{нэ}, c$	10	20	30	40	50	60	>100
$P_Э$	0,999	0,999	0,863	0,754	0,264	0,158	~0
$Q_B, год^{-1}$	$8,53 \cdot 10^{-6}$	$8,53 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$2,10 \cdot 10^{-3}$	$6,51 \cdot 10^{-3}$	$7,18 \cdot 10^{-3}$	$8,53 \cdot 10^{-3}$

Из результатов компьютерного моделирования пожара в главном корпусе СПбГПУ очевидна значимость времени начала эвакуации $t_{нэ}$ студентов и преподавателей. Если она будет начата с запозданием, то индивидуальный пожарный риск Q_B в пределе может возрасти до величины риска возникновения пожара в здании вуза $Q_{П}$ и вероятности нахождения там людей: $Q_B=0,04P_{Л}, год^{-1}$, что значительно превышает нормативную величину [2, 3] $10^{-6} год^{-1}$.

Таким образом, пожар в главном корпусе СПбГПУ Петра Великого в случае задержки с эвакуацией может привести к риску воздействия опасных факторов на студентов, преподавателей и персонала. При этом даже повышение типа СОУЭ вряд ли решит проблему – нормативное время $t_{нэ}$ для СОУЭ III–IV типов составляет 1,5 мин=90 с.

Для обеспечения своевременной эвакуации при пожаре можно предложить следующее. На время проведения занятий, когда заполняемость аудиторий максимальна, ввести дежурство хотя бы по одному человеку на этаже. В обязанности дежурного вменить необходимость следить за соблюдением правил пожарной безопасности, немедленного оповещения всех аудиторий при появлении признаков пожара и сообщения о пожаре дежурному по университету.

Кроме того, желательно усилить профилактическую работу с целью снижения вероятности возникновения пожара, проводить противопожарные учения и другие мероприятия, в том числе с участием представителей Государственной противопожарной службы МЧС России. Основная задача учений – проведение своевременной и организованной эвакуации студентов, преподавателей и персонала при том или ином сценарии пожара.

Также рассмотреть возможность оборудования корпуса системой противодымной вентиляции, хотя с учетом архитектурных и исторических особенностей здания это может вызвать определенные проблемы.

Литература

1. О пожарной безопасности (с изм.): Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изм.): Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).
4. Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС от 30 июня 2009 г. № 382. Прил. 5. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с изм.

и доп.) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

6. СП 7.13130.2009. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

7. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

8. СП 1.13130.2019. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.04.2020).

9. Снегирев А.Ю. Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГПУ, 2004. 270 с.

10. Отчет по оценке пожарного риска на объекте «Главное здание СПбГПУ». СПб., 2020. 199 с.

УДК 678.019

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗА ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДА ПО ПАРАМЕТРУ «ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ»

А.Ю. Андриюшкин, кандидат технических наук, доцент.

**Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова.**

Е.Н. Кадочникова, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Долговечность стальных трубопроводов для транспортировки углеводородов обеспечивается изоляционными покрытиями, защищающими сталь от контакта с окружающей средой. Качество изоляционного покрытия характеризуется совокупностью параметров, ключевым из которых является водопоглощение. Водопоглощение изолирующего покрытия определяется размерами дефектов, возникающих при его формировании. Предложена модель для оценки влияния размера дефекта на вероятность возникновения отказа изоляционного покрытия по параметру «водопоглощение».

Ключевые слова: вероятность отказа, дефект, водопоглощение, изоляционное покрытие, трубопровод

MODEL OF THE EFFECT OF THE DEFECT SIZE ON THE PROBABILITY OF FAILURE OF THE PIPELINE INSULATION COATING IN THE WATER ABSORPTION PARAMETER

A.Yu. Andryushkin, Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ustinov.

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

The durability of steel pipelines for transporting hydrocarbons is ensured by insulating coatings that protect the steel from contact with the environment. The quality of the insulation coating is characterized by a set of parameters, the key of which is water absorption. The water absorption of the insulating coating is determined by the size of the defects that occur during

its formation. A model is proposed to assess the effect of the defect size on the probability of failure of the insulation coating by the water absorption parameter.

Keywords: probability of failure, defect, water absorption, insulation coating, pipeline

Высокие требования безопасности к современным системам транспортировки углеводородов вызывают необходимость существенного улучшения технологии формирования изоляционных покрытий (ИП), в частности снижения их дефектности.

Чаще всего современные ИП представляют собой многослойную систему, состоящую из функциональных слоев, которые совместно обеспечивают защиту стальной основы трубопровода от коррозии в течение длительного времени. В настоящее время за счет применения ИП долговечность трубопроводов для транспортировки углеводородов составляет 25 лет и более.

Традиционным технологиям формирования ИП свойственны недостатки, существенно снижающие срок эксплуатации трубопровода. Сложность состава ИП, различные технологии изготовления и нанесения ИП, технологические отклонения от оптимальных технологических режимов, воздействие внешних условий обуславливают многообразие получаемых производственных дефектов ИП. Наличие производственных дефектов (пор, трещин, расслоений) в ИП при эксплуатации трубопровода приводит к его высокой повреждаемости, снижающей качество ИП. В частности, увеличение размеров внутренних дефектов ИП при эксплуатации приводит к росту водопоглощения, которое является одним из основных параметров качества ИП. Из-за высокого водопоглощения при значительном перепаде суточных и сезонных температур ИП интенсивно разрушается, долговечность ИП снижается в несколько раз. После отказа ИП корродирует стальная основа трубопровода, в результате коррозии происходит разгерметизация трубопровода, приводящая к аварийному разливу или выбросу углеводородов в окружающую среду.

Поэтому актуальна задача оценки влияния размера дефекта на вероятность возникновения отказа ИП трубопровода по параметру «водопоглощение» [1–6].

Разработаем линейную модель влияния размера дефекта на вероятность возникновения отказа изоляционного покрытия трубопровода по параметру «водопоглощение» (рис.) [7, 8].

Допустим, что размер дефекта x влияет на водопоглощение ИП W по линейному закону ($u_W = \text{const}$) (рис.):

$$W = W_{\text{нач}} + u_W \cdot x, \quad (1)$$

где $W_{\text{нач}}$ – начальное значение водопоглощения ИП, %; u_W – показатель, учитывающий изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта, %/м; x – размер дефекта, м.

Если водопоглощение бездефектного ИП характеризуется величиной $W_{\text{нач}}$, лежащей в диапазоне между W_{min} и W_{max} , и некоторым показателем u_W , то из выражения (1) можно определить размер дефекта $x = X_{\text{отк}}$, при котором происходит отказ ИП, так как достигается максимальное водопоглощение $W = W_{\text{max}}$:

$$X_{\text{отк}} = \frac{W_{\text{max}} - W_{\text{нач}}}{u_W}, \quad (2)$$

где W_{max} – максимальное значение водопоглощения ИП, %; $X_{\text{отк}}$ – размер дефекта, приводящий к отказу ИП по водопоглощению, м.

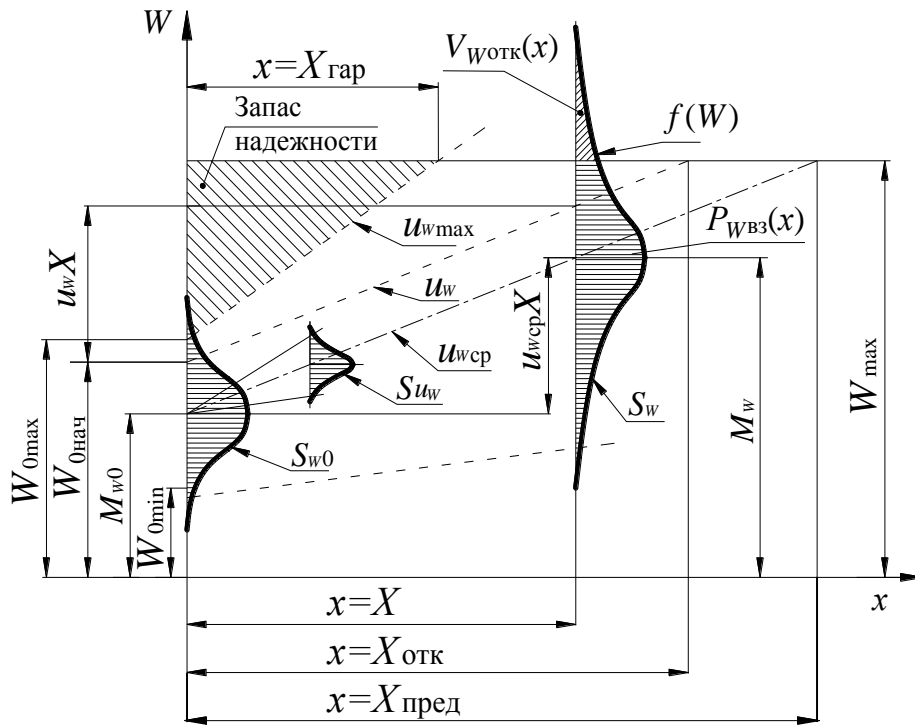


Рис. 1. Линейная модель влияния размера дефекта на вероятность возникновения отказа ИП по параметру водопоглощение: $W_{0нач}$ – начальное значение водопоглощения бездефектного ИП; u_w – показатель, учитывающий изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта; x – размер дефекта; $X_{отк}$ – размер дефекта, приводящий к отказу ИП по водопоглощению; $X_{пред}$ – предельное значение размера дефекта, при показателе u_{wcp} , M ; W_{max} – максимальное значение водопоглощения ИП; W_{0max} – максимальное значение водопоглощения бездефектного ИП; M_W – математическое ожидание водопоглощения ИП; M_{W0} – математическое ожидание водопоглощения бездефектного ИП; u_{wcp} – математическое ожидание показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта; u_{wmax} – максимальное значение показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта; S_W – среднее квадратическое отклонение водопоглощения ИП; S_{W0} – среднее квадратическое отклонение водопоглощения бездефектного ИП; S_{u_w} – среднее квадратическое отклонение показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта; $V_{Wотк}(x)$ – вероятность отказа ИП по параметру водопоглощение; $P_{Wвз}(x)$ – вероятность работоспособного состояния ИП по параметру водопоглощение

Допустим, что водопоглощение ИП распределено по нормальному закону. Значение размера дефекта x является функцией двух случайных аргументов W и u_w , которые при нормальном законе распределения характеризуются математическим ожиданием (M_W и u_{wcp}) и средним квадратическим отклонением (S_W и S_{u_w}). В этом случае для каждого фиксированного значения $x=X$ параметр водопоглощения W также будет распределен по нормальному закону $f(W)$ с характеристиками:

– математическое ожидание:

$$M_W = M_{W0} + u_{wcp} \cdot x, \quad (3)$$

где M_{W0} – математическое ожидание водопоглощения бездефектного ИП, %; M_W – математическое ожидание водопоглощения ИП, %; u_{wcp} – математическое ожидание показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта, %/м;

– среднее квадратическое отклонение:

$$S_W = \left(S_{W0}^2 + (S_{uW} \cdot x)^2 \right)^{0,5}, \quad (4)$$

где S_{W0} – среднее квадратическое отклонение водопоглощения бездефектного ИП, %; S_W – среднее квадратическое отклонение водопоглощения ИП, %; S_{uW} – среднее квадратическое отклонение показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта, %/м.

Полученные зависимости (3) и (4) для M_W и S_W определяют область работоспособного состояния и отказа ИП по водопоглощению W в зависимости от размера дефекта x .

Максимальное значение водопоглощения ИП W_{\max} является границей работоспособности ИП по параметру водопоглощение. Если $M_W = W_{\max}$, то $V_{\text{отк}}(x=X_{\text{пред}}) = P_{\text{свз}}(x=X_{\text{пред}}) = 0,5$, при этом размер дефекта считается предельным $x = X_{\text{пред}}$.

При некотором размере дефекта $x = X$ вероятность отказа ИП по водопоглощению $V_{\text{отк}}(x=X)$ определяется вероятностью выхода водопоглощения ИП W за предел W_{\max} (площадь под кривой $f(W)$, расположенная выше предела работоспособности ИП W_{\max}), а вероятность выполнения задания по параметру водопоглощения ИП $P_{\text{ввз}}(x)$ численно равна площади под кривой $f(W)$, находящейся ниже предела работоспособности ИП W_{\max} :

$$P_{\text{ввз}}(x=X) = P_{\text{ввз}}(W \leq W_{\max}) = \Phi \left(\frac{W_{\max} - (M_{W0} + u_{wcp} \cdot x)}{\left(S_{W0}^2 + (S_{uW} \cdot x)^2 \right)^{0,5}} \right),$$

где $\Phi(z)$ – функция нормального распределения (функция Лапласа $0,5 \leq \Phi(z) \leq 1$); $P_{\text{ввз}}(x)$ – вероятность работоспособного состояния ИП по параметру водопоглощение при размере дефекта x .

Вероятность отказа ИП по водопоглощению $V_{\text{отк}}(x)$:

$$V_{\text{отк}}(x) = 1 - P_{\text{ввз}}(x)$$

где $V_{\text{отк}}(x)$ – вероятность отказа ИП по параметру водопоглощение при размере дефекта x .

Аналогично выражению (2), зная значение показателя u_{wcp} , можно найти предельное значение размера дефекта $x = X_{\text{пред}}$, при котором вероятность отказа ИП по водопоглощению $V_{\text{отк}}(x = X_{\text{пред}}) = 0,5$:

$$X_{\text{пред}} = \frac{W_{\max} - M_{W0}}{u_{wcp}},$$

где $X_{\text{пред}}$ – предельное значение размера дефекта при показателе u_{wcp} , м.

Рассмотрим наилучший вариант, когда значение водопоглощения бездефектного ИП $W_{0\max}$ максимально и показатель $u_{w\max}$ максимален. При этих условиях можно рассчитать запас надежности ИП по выражению:

$$K_H = \frac{W_{0\max} + u_{w\max} \cdot x}{W_{\max}}, \quad (5)$$

где K_n – коэффициент запаса надежности; W_{0max} – максимальное значение водопоглощения бездефектного ИП, %; u_{Wmax} – максимальное значение показателя, учитывающего изменение водопоглощения ИП в зависимости от размера дефекта, %/м.

Запас надежности уменьшается по мере увеличения размера дефекта, и не влияющий на водопоглощение ИП максимальный размер дефекта $x=X_{гар}$ может быть рассчитан из формулы (5) при условии $K_n=1$:

$$X_{гар} = \frac{W_{max} - W_{0max}}{u_{Wmax}},$$

где $X_{гар}$ – максимальный размер дефекта, не влияющий на водопоглощение ИП, м.

Таким образом, предложенная модель позволяет оценить влияние размера дефекта на вероятность отказа ИП по параметру «водопоглощение». Водопоглощение ИП стального трубопровода является одним из основных параметров, характеризующих качество ИП. На водопоглощение ИП влияют количество и размеры дефектов, образующихся при формировании ИП. Для оценки влияния размера дефекта на работоспособность ИП по параметру «водопоглощение» предложена модель, по которой можно определить вероятность отказа ИП по водопоглощению, а также следующие характерные размеры дефекта: $X_{отк}$ – размер дефекта, приводящий к отказу ИП; $X_{гар}$ – максимальный размер дефекта, не влияющий на водопоглощение ИП; $X_{пред}$ – предельное значение размера дефекта, при котором вероятность отказа ИП $V_{отк}(x=X_{пред})=0,5$.

Таким образом, предложенная модель позволяет оценить опасность возникновения аварийных отказов ИП по параметру «водопоглощение» с учетом размеров дефектов ИП.

Литература

1. Борисов Б.И. Защитная способность изоляционных покрытий подземных трубопроводов. М.: Недра, 1987. 123 с.
2. Протасов В.Н. Полимерные покрытия в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1985.
3. Филатов И.С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. М.: Наука, 1983. 216 с.
4. Санжаровский А.Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1975. 264 с.
5. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Химия, 1992. 320 с.
6. Ярцев В.П., Киселева О.А. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 124 с.
7. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. Надежность технических систем: справ. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
8. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Изд-во «Мир», 1980. 604 с.

ПРОГНОЗ РИСКА ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С НЕОТАПЛИВАЕМЫМИ ЧЕРДАЧНЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ

А.Н. Миргородский, кандидат технических наук;

В.М. Моторин, кандидат технических наук, доцент;

Д.Н. Гула, кандидат технических наук.

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского.

Разрушение строительных конструкций, вызванное обледенением кровель, является следствием нарушения тепло-влажностного режима чердачных помещений. Прогноз риска повреждения рассчитывается на основе превышения критической разности температур чердачного помещения и наружного воздуха, исходя из фактических данных о техническом состоянии ограждающих конструкций, теплоизоляции, теплоступлениях, кратности воздухообмена и т.п., получаемых в ходе инструментального и тепловизионного обследования. Полученные зависимости позволяют определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на образование наледи, а также рассчитать критическую толщину снежного покрова.

Ключевые слова: обледенение кровель, теплотехническое обследование, тепло-влажностный режим, повреждение строительных конструкций, чердачные помещения, прогноз обледенения, снежный покров, тепловой баланс, теплоступления, теплоизоляция, риск повреждения

FORECAST OF THE RISK OF DAMAGE TO BUILDING STRUCTURES OF BUILDINGS AND STRUCTURES WITH UNHEATED ATTIC SPACES

A.N. Mirgorodsky; V.M. Motorin; D.N. Gula. Military-space academy name after A.F. Mozhaysky

Destruction of building structures caused by icing of roofs is a consequence of violation of the heat-humidity regime of attic rooms. The damage risk forecast is calculated on the basis of exceeding the critical temperature difference between the attic and the outside air based on actual data on the technical condition of the building envelope, thermal insulation, heat supply, air exchange rates, etc., obtained during instrumental and thermal imaging examinations. The obtained dependences make it possible to determine the factors that have the greatest influence on the formation of ice, as well as to calculate the critical thickness of the snow cover.

Keywords: roof icing, heat engineering inspection, heat and humidity regime, damage to building structures, attics, icing forecast, snow cover, heat balance, heat gain, insulation, risk of damage

В настоящее время большинство зданий и сооружений, предназначенных для размещения производственного и технологического оборудования, рабочих мест персонала, эксплуатирующего данное оборудование, а также инженерных систем, обеспечивающих их функционирование, как правило, соответствуют современным требованиям по обеспечению безопасной эксплуатации оборудования и нормативных условий труда.

Однако значительное количество зданий и сооружений, построенных до 90-х гг. XX в., включая здания, построенные в XIX в., в силу своих конструктивных особенностей

не всегда соответствуют данным требованиям. Отличительной особенностью подобных зданий является наличие неотапливаемых чердачных помещений.

В процессе длительной, а местами и неправильной эксплуатации данных зданий и сооружений, в ограждающих и несущих конструкциях, внутренних строительных элементах появляются повреждения, снижающие прочность и эксплуатационные характеристики зданий и сооружений (рис. 1, 2).

Откалывающиеся в результате разрушения строительных конструкций обломки способны повредить технологическое оборудование, трубопроводы, инженерные коммуникации, сосуды под давлением, что может спровоцировать техногенную аварию или катастрофу и привести к человеческим жертвам.

Как правило, причиной повреждения строительных конструкций является просачивание воды в поры материалов, приводящее к их переувлажнению, расслоению и потере прочности. Особенно интенсивно процесс разрушения происходит при понижении температуры ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за расширения замерзшей воды (рис. 1, 2).

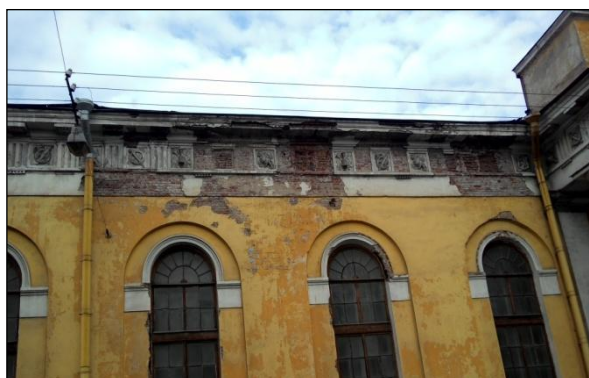


Рис. 1. Разрушение ограждающих конструкций зданий



Рис. 2. Разрушение внутренних строительных элементов зданий

Определение причин и условий повреждения и разрушения строительных конструкций

Как показали обследования нескольких зданий в Петроградском районе Санкт-Петербурга, причинами повышенного увлажнения строительных конструкций является нарушение организованного водостока с крыши из-за образования наледи и сосулек на свесах кровли и водосточных трубах в результате снеготаяния на кровле (рис. 3) [1].



Рис. 3. Обледенение свесов и водосточных труб

Для выявления условий, при которых на кровлях зданий и сооружений происходит снеготаяние с последующим обледенением свесов и водосточных труб, ведущих к повреждению и разрушению строительных конструкций, был проанализирован процесс образования наледи.

При относительно небольших значениях отрицательной температуры воздуха на поверхности кровли над чердачным помещением под слоем снега 1 образуются талые воды 3, которые, попадая на поверхность свесов кровли, примерзают, образуя наледь 2, из которой при дальнейшем таянии снега образуются сосульки 4 (рис. 4).

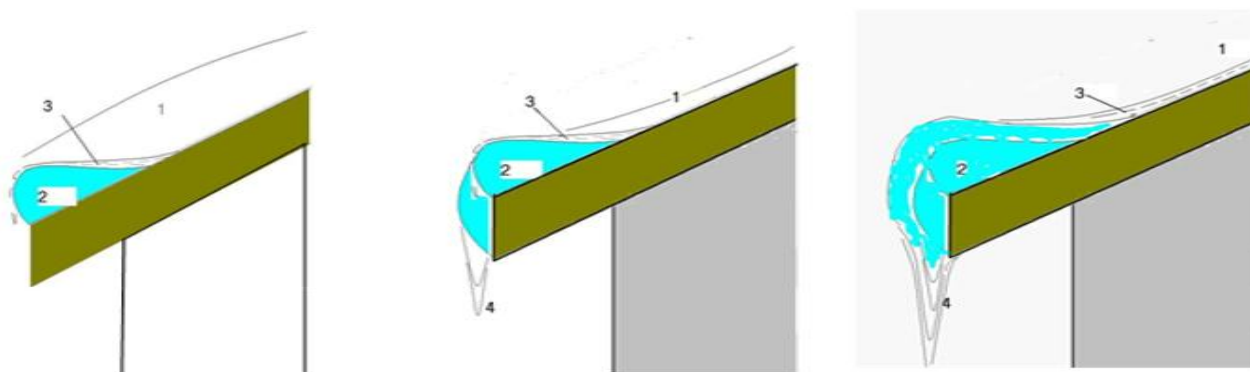


Рис. 4. Образование наледи на кровле

Большая масса льда приводит к деформации кровли с образованием трещин и щелей, способствующих проникновению талых вод в строительные конструкции и подкровельное пространство.

Накопление на кровле льда, как правило, сопровождается следующими негативными явлениями:

- протеканием кровли через трещины, щели и стыки вследствие возникающего подпора талых вод;
- появлением неорганизованного водостока с крыши, вызывающего увлажнение и последующее разрушение фасадов;
- массовым разрушением водосточных труб при падении ледяных пробок в период их таяния;
- намоканием, гниением с последующим разрушением стропильной системы;
- обрушением льда со свесов кровли (что создает реальную опасность для пешеходов и наружных инженерных коммуникаций);
- обрушением обломков строительных конструкций как внутри здания, так и снаружи, что не соответствует требованиям безопасной эксплуатации.

Особенно активно процесс обледенения происходит при небольших морозах (до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) вследствие нагрева прилегающего к кровле слоя снега избыточной теплотой воздуха чердачного помещения [2].

Условия нормализации температурно-влажностного режима чердачных помещений

В целях недопущения возникновения наледи на кровле температура воздуха в помещении холодного чердака должна быть не более чем на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ больше температуры наружного воздуха [3]. Аналитически данное условие может быть выражено в следующем виде:

$$t_{\text{int}}^{\text{ч}} - t_{\text{ext}} \leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1)$$

где $t_{\text{int}}^{\text{ч}}$ – температура воздуха в чердачном помещении; t_{ext} – температура наружного воздуха.

Из данного условия видно, что все тепlopоступления в чердачное помещение должны своевременно ассимилироваться либо быть сведены к минимуму. Основными источниками тепlopоступлений в чердачное помещение являются трубопроводы системы отопления с запорно-регулирующей арматурой и расширительными емкостями, вентиляционные

каналы и стояки вентиляции канализации, перекрытия верхнего этажа, входы в чердачное помещение с отапливаемых лестничных маршей, инсоляция и т.п.

Учет данных факторов позволяет составить уравнение теплового баланса чердачного помещения [4]:

$$(t_{\text{int}} - t_{\text{int}}^{\text{ч}}) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{R_i} \right) + \sum_{j=1}^m (q_{pj} \cdot l_{pj}) = (t_{\text{int}}^{\text{ч}} - t_{\text{ext}}) \cdot \sum_{k=1}^h \left(\frac{S_k}{R_k} \right) + 0,28 \cdot V_{\text{ч}} \cdot n_a \cdot t_{\text{ext}} \quad (2)$$

где t_{int} – температура внутреннего воздуха в помещениях верхнего этажа здания; S_i, R_i – соответственно площадь, м^2 и сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, i -го участка ограждения между отапливаемыми в здании помещениями и помещениями холодного чердака; q_{pj} – линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящаяся на 1 п.м. длины трубопровода j -го диаметра с учетом теплопотерь через изолированные опоры, фланцевые соединения и арматуру, $\text{Вт} / \text{м}$; l_{pj} – длина трубопровода j -го диаметра, м ; S_k, R_k – соответственно, площадь, м^2 , приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, k -го участка наружных ограждающих конструкций чердачных помещений; $V_{\text{ч}}$ – объем воздуха чердачных помещений, м^3 ; n_a – кратность воздухообмена в помещениях холодного чердака, ч^{-1} , принимается согласно рекомендациям [3].

В уравнении (2) в левой части находятся суммарные тепlopоступления в помещения холодного чердака, в правой части – суммарные теплопотери через наружные ограждающие конструкции чердака, а также за счет ассимиляции теплоты при вентиляции помещений чердака наружным воздухом.

Из практики известно, что выполнение условия (1) достаточно для недопущения образования наледи, так как в подавляющем большинстве случаев разности температур в 2–4 °C в помещениях чердака недостаточно для разогрева нижнего слоя снежного покрова, лежащего на кровельном покрытии.

Однако, как показывает опыт эксплуатации зданий с холодными чердачными помещениями, проблема обледенения кровель с последующим разрушением ограждающих конструкций, приводящим к аварийным, а также трагическим последствиям актуальна для всех регионов России.

Определение условий нарушения теплового баланса неотапливаемых чердачных помещений

Для выявления факторов, влияющих на нарушение теплового баланса в помещениях неотапливаемых чердаков, специалистами Военно-космической академии (ВКА) им. А.Ф. Можайского начиная с 2010 г. проводились тепловизионные обследования ряда жилых и общественных зданий с неотапливаемыми чердачными помещениями в Петроградском районе Санкт-Петербурга [1].

Обследование показало, что основные тепlopоступления в помещения чердака происходят от трубопроводов отопления, запорно-регулирующей арматуры, воздухоборников, вентиляционных каналов (рис. 5–10). Как видно из представленных термограмм, даже наличие теплоизоляции на трубопроводах отопления не предохраняет от избыточных тепlopоступлений в помещения чердака, а в случае ее нарушения тепловые потоки значительно возрастают. Так же к значительным теплоизбыткам приводят разрушение конструкций вентиляционных каналов и организация выпуска вентиляции в помещения чердака. Учитывая, что во многих зданиях на момент проектирования центрального отопления не существовало и прокладка трубопроводов системы отопления в чердачных помещениях не предполагалась, а были проложены после реконструкции, то наличие требуемой исправной теплоизоляции является основополагающим фактором.

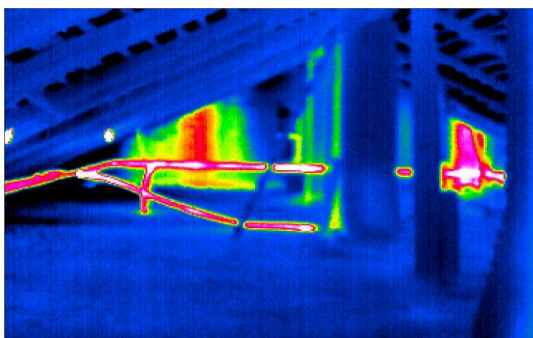


Рис. 5. Термограмма чердачного помещения

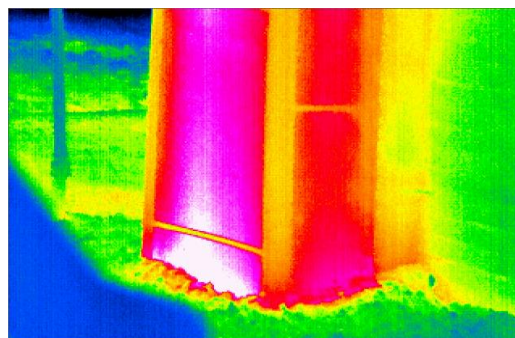


Рис. 6. Термограмма вентиляционного канала

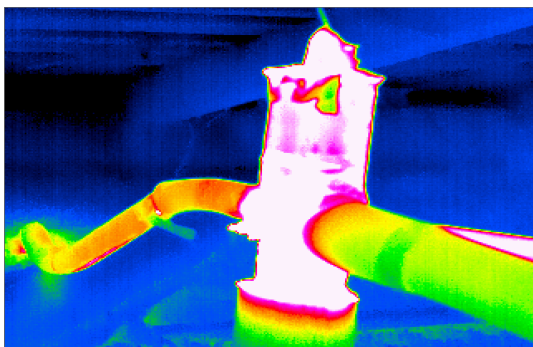


Рис. 7. Термограмма воздухоборника отопления

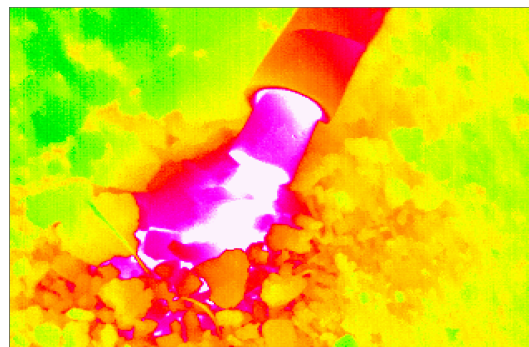


Рис. 8. Проход трубопровода отопления через перекрытие

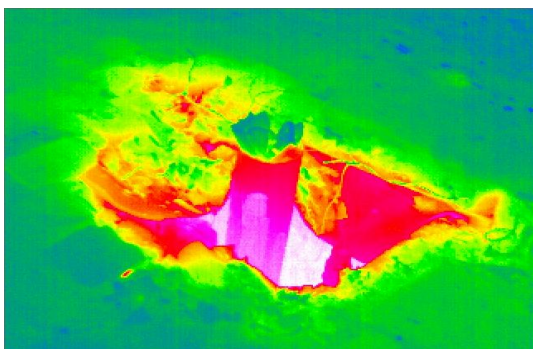


Рис. 9. Термограмма открытого вентканала

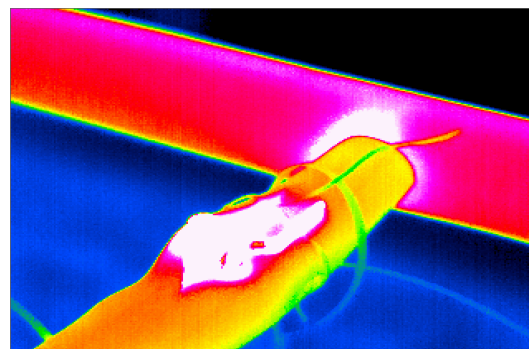


Рис. 10. Термограмма дефектов теплоизоляции

В результате обследований было выявлено, что наиболее благоприятные условия для образования наледи создаются при суточных колебаниях температуры воздуха с амплитудой около $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $+3\dots+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ днем и $-6\dots-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ночью. Весной к ним можно добавить излучение солнца (инсоляцию). Хотя поверхности снега и льда отражают большую часть падающего на них излучения, но даже небольшой налет грязи резко увеличивает коэффициент поглощения. Кроме того, быстро нагреваются оголившиеся участки кровли, и таяние с внутренней стороны слоя интенсифицируется. Поэтому на большее образование наледи происходит чаще весной, чем осенью.

Прогноз нарушения теплового баланса неотапливаемых чердачных помещений

Невыполнение условия (1) позволяет спрогнозировать образование наледи на кровле и, чем выше разность температур между воздухом чердачного помещения и наружным воздухом, тем выше вероятность возникновения наледи с последующими негативными явлениями, приведенными выше.

Для определения выполнения условия (1) необходимо рассчитать фактические теплоступления в чердачные помещения для наиболее критического диапазона температуры наружного воздуха (до -10°C). Получить фактические данные для определения теплоступлений можно при помощи «Программы обследования и энергоаудита холодных чердаков зданий» [1], разработанной специалистами кафедры «Систем жизнеобеспечения объектов наземной космической инфраструктуры» ВКА им. А.Ф. Можайского.

Температуру воздуха чердачного помещения можно определить из уравнения теплового баланса (2). Для этого линейную плотность теплового потока изолированного трубопровода q_p^{iz} , зависящую от температуры воздуха чердачного помещения, необходимо записать в аналитическом виде [5]:

$$q_p^{iz} = \frac{(t_t - t_{int}^a) \cdot b}{R_{вн} + R_{cm} + R_{из} + R_{н}}, \quad (3)$$

где t_t – температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$; b – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор; $R_{вн}$ – сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$; R_{cm} – термическое сопротивление стенки трубопровода, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$; $R_{из}$ – линейное термическое сопротивление теплопередаче цилиндрического теплоизоляционного слоя, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$; $R_{н}$ – сопротивление теплоотдаче от наружной поверхности теплоизоляционной конструкции к окружающему воздуху, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$.

С учетом выражения (3) температура в чердачном помещении составит:

$$t_{int}^a = \frac{t_{int} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{R_i} \right) + t_{ext} \cdot \sum_{k=1}^h \left(\frac{S_k}{R_k} \right) - 0,28 \cdot V_v \cdot n_a \cdot t_{ext} + t_t \cdot b \cdot \sum_{j=1}^m \frac{l_{pj}}{R_{внj} + R_{стj} + R_{изj} + R_{нj}}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{R_i} \right) + \sum_{k=1}^h \left(\frac{S_k}{R_k} \right) + b \cdot \sum_{j=1}^m \frac{l_{pj}}{R_{внj} + R_{стj} + R_{изj} + R_{нj}}} \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что основными независимыми переменными, которые могут в значительном диапазоне менять свои параметры в течение суток, являются температура теплоносителя t_t и температура наружного воздуха t_{ext} . Остальные параметры либо неизменны, либо являются функциями от независимых переменных.

Зависимость расчетных значений температуры чердачного помещения для одного из зданий соответствующих диапазону температуры теплоносителя $50 \leq t_t \leq 85^{\circ}\text{C}$ и диапазону температуры наружного воздуха $0 \leq t_{ext} \leq -10^{\circ}\text{C}$ приведены на рис. 11.

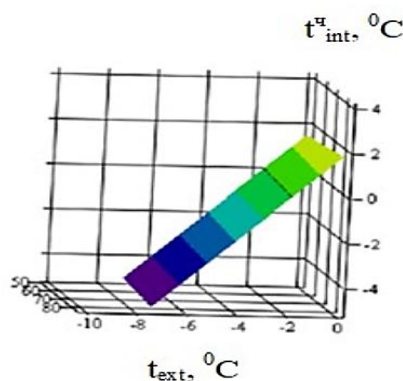


Рис. 11. Зависимость расчетных значений температуры чердачного помещения от температур теплоносителя t_t и наружного воздуха t_{ext}

Прогноз образования наледи должен проводиться исходя из фактического состояния теплоизоляции трубопроводов, вентиляционных каналов, теплоизоляции перекрытий верхнего этажа, кратности воздухообмена и т.п. Эти данные получают в ходе инструментальных и тепловизионных обследований [1, 2, 6]. Учитывая, что система теплоснабжения обладает значительной инерционностью, а в большинстве зданий регулирование температуры теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте элеваторное, допускающее значительный перерасход тепловой энергии [7], особенно при температурах наружного воздуха близким к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть наиболее критичным [1, 2], то расчеты должны проводиться для всего диапазона температуры теплоносителя.

В ходе обследований так же было выявлено, что до половины трубопроводов отопления имеют повреждения либо полное отсутствие теплоизоляции. Повреждение, уплотнение либо отсутствие теплоизоляции покрытия чердачного перекрытия составляет примерно 20 %. Результаты расчетов на основе полученных при обследовании данных представлены на рис. 12, 13.

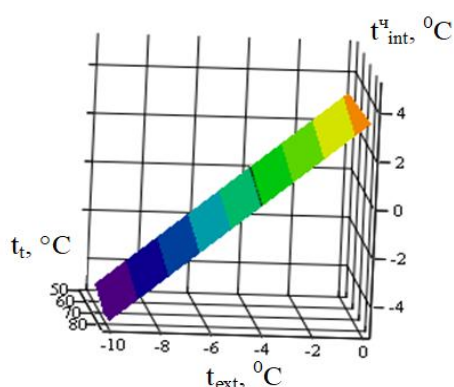


Рис. 12. Зависимость температуры чердачного помещения от температур теплоносителя t_t и наружного воздуха t_{ext}

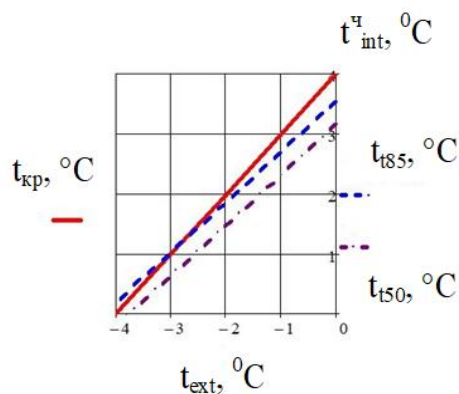


Рис. 13. Зависимости температуры чердачного помещения от температур теплоносителя t_t и наружного воздуха t_{ext}

Как видно из графиков, расчетные значения температуры воздуха чердачного помещения при фактическом состоянии теплоизоляции трубопроводов отопления и теплоизоляции чердачного перекрытия близки к критической разности температур $t_{кр}$ (на рис. 13 показана сплошной линией), определяемой условием (1).

Существенное влияние на температуру воздуха чердачных помещений оказывает толщина и плотность снежного покрова, являющегося теплоизолятором и снижающим теплоотдачу чердачных помещений в окружающую среду. Для всех вышеприведенных расчетов толщина снежного покрова составляла 0,05 м. Однако увеличение толщины снежного покрова до величины 0,2 м приводит к значительному повышению температуры чердачного помещения. Поэтому даже в случае исправной и неповрежденной теплоизоляции трубопроводов, вентиляционных каналов, перекрытий условие (1) либо не выполняется, либо разность температур близка к критической (рис. 14, 15).

Полученные в ходе исследований зависимости были использованы для расчета температур воздуха чердачных помещений и прогнозирования образования наледи. В процессе эксплуатации зданий Петроградского района Санкт-Петербурга расчетные значения температур и образование наледи получили экспериментальное подтверждение [1].

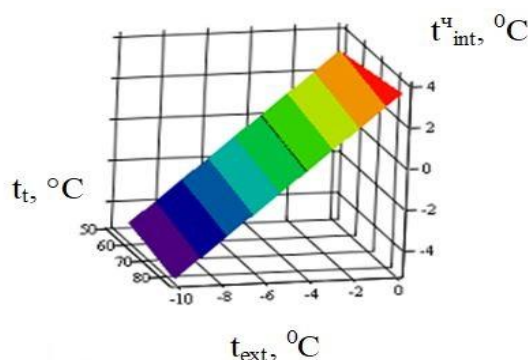


Рис. 14. Зависимость температуры чердачного помещения от температур теплоносителя t_t и наружного воздуха t_{ext}

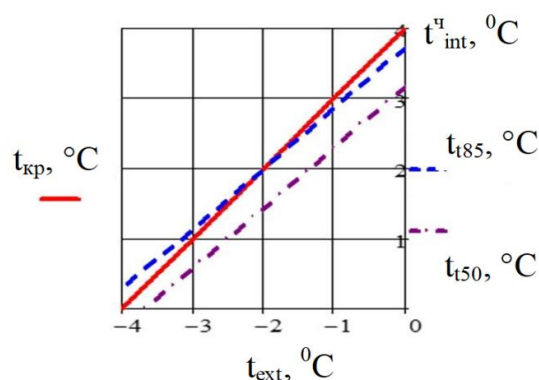


Рис. 15. Зависимости температуры чердачного помещения от температур теплоносителя t_t и наружного воздуха t_{ext}

Как показали выполненные натурные обследования и теоретические исследования, несоблюдение температурно-влажностного режима в чердачном помещении приводит к риску возникновения наледи на кровле, приводящей к последующим повреждениям и разрушениям строительных конструкций и обрушению наледи. Наиболее значительными факторами, влияющими на температурно-влажностный режим, является наличие и состояние теплоизоляции на трубопроводах и запорно-регулирующей арматуре системы отопления, на чердачных перекрытиях, а также минимизация всех теплопоступлений.

Для прогноза возникновения наледи необходимо провести тепловизионное и инструментальное обследование чердачного помещения, выявить все фактические теплопоступления, техническое состояние ограждающих конструкций, теплоизоляции, определить кратность воздухообмена. На основании полученных данных проводится расчет температуры воздуха чердачного помещения и делается вывод о выполнении условия (1). Чем больше разность температур воздуха чердачного помещения и наружного воздуха, тем выше риск возникновения наледи. Факторами, способствующими повышению риска возникновения наледи, является увеличение толщины снежного покрова и инсоляция. Так же полученные расчеты позволяют определить для каждого здания критическую толщину снежного покрова, что позволит отранжировать здания по риску возникновения наледи и, при обильных снегопадах, удалять снег в первую очередь с наиболее критичных.

Литература

1. Теплотехническое обследование состояния и измерение параметров температурно-влажностного режима чердачных помещений жилых домов / В.М. Моторин [и др.]. СПб.: ЦСИФ МО РФ, 2013.
2. Проблемы эксплуатации зданий с двускатными кровлями в зимний период / В.М. Моторин [и др.] // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013. № 641. С. 175–178.
3. РМД 23-27–2017. Рекомендации по нормализации температурно-влажностного режима неотапливаемых чердачных помещений (введ. 31 окт. 2017 г.). СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2017. 50 с.
4. Горшков А.С. Причины образования ледяных дамб // Кровельные и изоляционные материалы. 2014. № 6. С. 34–37.
5. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (введ. 1 янв. 2013 г.). М.: Минрегион России, 2012. 56 с.
6. МДС 13-20.2004. Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий (введ. 1 апр. 2004 г.). М.: ОАО «ЦНИИПромзданий»; ФГУП ЦПП, 2004. 98 с.

7. Оптимизация параметров функционирования системы отопления и теплозащиты зданий и сооружений на основе термoeкономического метода / Д.А. Авсюкевич [и др.] // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. 2016. № 651. С. 7–13.

УДК 656.1:504.064.36

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В.Н. Ложкин, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
Б.В. Гавкалюк, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Излагается оригинальный метод расчета стратегически значимых показателей токсичности и топливной экономичности эксплуатации силовых установок автомобилей специального назначения по составу отработавших газов. Показано, что бортовые средства технического диагностирования расхода воздуха, концентрации CO_2 и O_2 позволяют через воздушно-топливное соотношение оценивать, с приемлемой для практики точностью, путевой расход топлива, связанный с энергетической безопасностью.

Ключевые слова: автомобиль специального назначения, силовая установка, отработавшие газы, топливные показатели

IMPROVING METHODS OF ENSURING SAFETY IN THE OPERATION OF SPECIAL PURPOSE VEHICLES

V.N. Lozhkin; B.V. Gavkalyuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The original calculation method is described of environmentally significant indicators of toxicity and fuel efficiency of operation of power plants of special-purpose vehicles based on the composition of exhaust gases are proposed. It is shown that on-Board technical diagnostics of air consumption, CO_2 and O_2 concentrations allow estimating the vehicle's fuel consumption using the air-fuel ratio with an accuracy acceptable for practice.

Keywords: special purpose vehicle, power plant, exhaust gas composition, fuel consumption

Состав отработавших газов (ОГ) силовых установок транспортных средств, в частности пожарных и аварийно-спасательных автомобилей, является источником информации об их техническом состоянии [1] и, следовательно, безопасности для водителей и населения. Известно из научной и специальной литературы [1, 2], что на состав ОГ организованных процессов горения углеводородов существенное влияние оказывают коэффициент избытка воздуха и конструкция топливной аппаратуры [3], степень износа ее сопрягаемых элементов и уровень качества проведенного ремонта и регулировок технических систем двигателя [1, 4]. Следовательно, определение закономерностей, устанавливающих связь между химическими компонентами ОГ и отмеченными показателями конструктивной безопасности силовых установок пожарной и специальной техники при стандартных процедурах контроля ее технического состояния [5, 6] повысит эффективность системы контроля безопасности в условиях эксплуатации.

Методические основы и расчетные соотношения

Согласно действующим стандартам: «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки» (ГОСТ 33997–2016) [5] и «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 1. Измерение выбросов газов и частиц на испытательных стендах» (ГОСТ ISO 8178-1–2013) [6] при оценке технического состояния силовых установок транспорта предписано, одновременно с контролем поллютантов (CO , C_nH_m , NO_x , PM , SO_2 , дымность ОГ и др.), измерять объемные концентрации кислорода (O_2), диоксида углерода (CO_2), расхода воздуха на впуске и расхода ОГ на выпуске. Контроль состава ОГ необходим для расчета воздушно-топливного соотношения (α), которое характеризует химические условия воспламенения и последующего горения моторного топлива в камере сгорания поршневого двигателя.

Применение для расчета α высокоточных газоанализаторов непрерывного действия позволило автору работы [1] предложить методику оценки расхода топлива на основе законов термодинамики. На основании анализа приведенных в данной работе термодинамических соотношений и их преобразований, с учетом связи воздушно-топливного соотношения (α) с составом ОГ [7, 8], можно записать выражения для расчета топливных показателей.

Подача двигателем топлива за рабочий цикл определяется уравнением [1, 6]:

$$g_{\text{ц},\alpha} = 120 \cdot 10^3 [(G_{\text{в}} \cdot m) / (i \cdot n \cdot \alpha \cdot L_0)], \text{ мг / ц},$$

где $G_{\text{в}}$ – потребление воздуха двигателем; г/с; m – коэффициент учета «тактности» двигателя; i – количество цилиндров двигателя; n – «частота» вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ; α – воздушно-топливное соотношение; L_0 – теоретически потребное массовое количество воздуха для полного сжигания 1 кг моторного топлива, кг воздуха / кг топлива.

Для выполнения сравнения двигателей разной размерности и количества цилиндров удобно перейти к понятию и математическому выражению «удельной подачи двигателем топлива за рабочий цикл» (из расчета на 1 л рабочего объема всех цилиндров) $g'_{\text{ц}}$, мг/ц. л, которое определяется при испытаниях поршневых двигателей на основе измерения среднего значения потребления топлива за один час $G_{\text{т}}$, кг / ч [1, 6]:

$$g'_{\text{ц}} = \frac{1,2G_{\text{т}} \cdot 10^5}{iV_h n}, \text{ мг/ц. л}, \quad (1)$$

где V_h – рабочий объем цилиндра двигателя, л.

Аналогично (1), удельная (из расчета на 1 литр рабочего объема всех цилиндров) подача двигателем топлива за рабочий цикл, определяемая по измеренным значениям потребления воздуха двигателем и объемной концентрации кислорода (2) или диоксида углерода (3) в составе ОГ, согласно [1, 6]:

$$g'_{\text{ц}, \text{O}_2} = \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot G_{\text{в}}}{i \cdot V_h \cdot n \cdot \rho_{\text{окр}} \cdot L_0} \cdot \frac{1}{\frac{79+\mu}{100+\mu} \cdot \frac{21}{21-\text{O}_2} + \frac{21}{100+\mu}}, \text{ мг/ц. л.}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{окр}}$ – плотность воздуха, кг/м^3 ; μ – показатель состава химических элементов моторного топлива, который включает водород, окисляющийся при горении до паров воды [7]; O_2 – концентрация кислорода в составе ОГ двигателя, об. %.

$$g'_{\text{ц}, \text{CO}_2} = \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot G_{\text{в}}}{i \cdot V_h \cdot n \cdot \rho_{\text{окр}} \cdot L_0} \cdot \frac{1}{\frac{21}{100+\mu} \left(\frac{79+\mu}{1+\beta} \cdot \frac{1}{\text{CO}_2} + 1 \right)}, \text{ мг / ц. л.}, \quad (3)$$

где β – химическая (теоретическая) характеристика сгорания моторного топлива [8]; CO_2 – концентрация диоксида углерода в составе ОГ двигателя, об. %.

По расчетным значениям $g_{ц,\alpha}$ ($g'_{ц,O_2}$, или $g'_{ц,CO_2}$) можно оценить и другие характеристики расходования моторного топлива, а именно: его среднее значение за час работы двигателя (G_T , кг/ч) [1, 8]:

$$G_T = (g'_{ц,\alpha} \cdot i \cdot V_h \cdot n) / (0.6 \cdot 10^5), \text{ кг/ч,}$$

где $g'_{ц,\alpha}$ – удельная подача двигателем топлива за рабочий цикл, мг/цикл; и удельное значение, отнесенное к величине полезной работы, совершенной двигателем (g_e , г/кВт·ч) [1, 8]:

$$g_e = (3.6 \cdot 10^3 \cdot G_T) / N_e, \text{ г/кВт·ч,}$$

где N_e – полезная (эффективная) мощность поршневого двигателя, кВт.

Эксперимент по оценке адекватности метода контроля топливных показателей по составу ОГ выполнялся на поршневых дизельных двигателях 4Ч 11/12,5 и 4ЧН 11/12,5 Унитарного предприятия «Минский моторный завод» (УП «ММЗ»).

Двигатели испытывались на стенде по нагрузочным (на частотах коленчатого вала $n=1$ 700 мин⁻¹, $n=2$ 200 мин⁻¹) и скоростным (внешняя – 100 % нагрузки; частичная – 80 % нагрузки от полной) характеристикам. Двигатель с турбонаддувом 4ЧН 11/12,5 в модификации Д-245.12С-143 (ЗиЛ-5301 «Бычок») УП «ММЗ» применяется на пожарной автоцистерне АЦ-0,8-40/2.

Для определения концентрации диоксида углерода, оксида углерода, углеводородов и окислов азота в ОГ силовой установки испытательный стенд был оснащен комплексной газоаналитической системой АСГА-Т. Для измерения СО и СО₂ она имела автоматические газоанализаторы оптико-акустического принципа измерений.

Для определения содержания свободного кислорода в ОГ испытательный стенд был оснащен автоматическим термомагнитным газоанализатором типа МН. Принцип работы газоанализатора основан на использовании магнитных свойств газа, которые определяются величиной магнитной проницаемости. Последняя характеризует интенсивность намагничивания газа при определенной напряженности магнитного поля.

Определение оптической плотности (дымности) ОГ производилось с помощью дымомера МК-3 английской фирмы «Lesli Hartridge». Работа прибора основана на турбидиметрическом методе контроля оптической плотности аэрозолей.

В табл. 1 приведены результаты оценки погрешностей расчета удельных цикловых подач моторного топлива $g'_{ц,\alpha}$ с использованием анализа состава ОГ (O₂, CO₂) и измерения расхода воздуха (G_B) по разработанной методике (по нагрузочным и скоростным характеристикам) для дизельного двигателя Д-245.12С-143 (4ЧН 11/12,5) производства УП «ММЗ», устанавливаемого на пожарную автоцистерну модели АЦ-0,8-40/2. Модель топливного насоса высокого давления (ТНВД): 4МТНМ; модель форсунок: ФД-22; установочный угол опережения впрыскивания топлива: $\theta_{впр.}=26$ град. п. к. в. до верхней мертвой точки (ВМТ).

Таблица 1. Средние значения оценок погрешности расчета $g'_{ц,\alpha}$

Расчетная зависимость	Значение погрешности $\delta_{отн.ср.}$, %, при расчете по	
	кислороду O ₂	диоксиду углерода CO ₂
Зависимости (3) и (4)	1,99	2,23

В качестве примера, в табл. 2 приведены значения рабочих параметров дизеля 4ЧН 11/12,5 на контролируемых режимах, результаты анализа состава ОГ, расчетов значений удельных цикловых подач топлива и их сопоставления с данными непосредственных измерений концентраций при помощи газоанализаторов.

Таблица 2. Результаты испытаний и расчета погрешностей оценки показателей потребления моторного топлива двигателем с использованием данных состава ОГ по нагрузочной характеристике

№ п/п	P_e	G_T	G_B	O_2	CO_2	$g'_{ц}$ изм.	Оценка $g'_{ц,\alpha}$ по O_2			Оценка $g'_{ц,\alpha}$ по CO_2		
							$g'_{ц, O_2}$	$\delta_{абс.}$	$\delta_{отн.}$	$g'_{ц, CO_2}$	$\delta_{абс.}$	$\delta_{отн.}$
							МПа	г/с	г/с	% об.	% об.	мг/ц. л.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,125	1,41	89,4	16,5	3,1	16,186	16,276	0,09	0,56	15,695	-0,49	3,03
2	0,210	1,82	93,1	15,5	3,9	20,703	20,618	-0,08	0,41	20,309	-0,39	1,90
3	0,423	2,74	101,9	13,5	5,4	31,458	30,829	-0,03	2,00	30,753	-0,71	2,24
4	0,533	3,80	112,4	11,5	6,9	43,571	42,803	-0,77	1,76	43,098	-0,47	1,08
5	0,843	5,12	125,2	9,4	8,6	53,775	57,337	-1,44	2,45	58,760	-0,01	0,03
6	0,433	3,79	112,4	11,5	7,0	43,576	42,571	-1,01	2,31	43,224	-0,35	0,81
7	0,210	2,78	101,5	13,3	5,5	31,758	31,335	-0,45	1,41	31,149	-0,64	2,00
8	0,125	1,78	94,1	15,7	3,8	20,475	20,151	-0,32	1,58	20,010	-0,46	2,27
9	0,125	1,42	90,4	16,6	3,1	16,285	16,055	-0,23	1,41	15,708	-0,58	3,54
Нагрузочная характеристика				$n = 2200 \text{ мин}^{-1}$			$\delta_{отн.ср.}^{O_2} = 1,60 \%$			$\delta_{отн.ср.}^{CO_2} = 2,55$		

Модель двигателя Д-245.12С-143; модель топливного насоса высокого давления: 4МТНМ; модель форсунок: ФД-22; установочный угол опережения впрыскивания топлива: $\theta_{впр.} = 26$ град. п. к. в. до верхней мертвой точки (ВМТ)

Выводы

1. Погрешности оценки топливных показателей $g'_{ц,α}$ с использованием анализа состава ОГ (табл. 1) следует считать близкими к достоверным при значительном объеме диагностической информации по составу ОГ и потреблению воздуха двигателем. В этом случае они приближаются к «идеальным» оценкам по детерминированным термохимическим законам горения моторного топлива.

2. Анализ результатов исследований при работе двигателя по нагрузочной характеристике (табл. 1) позволяет сделать заключение о том, что: расчеты топливных показателей с использованием измерения O_2 дают более точные результаты в диапазоне малых нагрузок, а с использованием измерения CO_2 дают более точные результаты в диапазоне высоких нагрузок.

Литература

1. Ложкин В.Н. Теория и практика безразборной диагностики и каталитической нейтрализации отработавших газов дизелей: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1995. 530 с.
2. SAE J 244:1992. Measurement of intake air or exhaust gas flow of diesel engines.
3. Ждановский Н.С, Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. Л.: Колос, 1981. 295 с.
4. Tomeczek J., Bialik W. Influence of liquid fuel combustion conditions on pollutants emission // Journal of the Energy Institute. 2003. 76(507):54-61. June.
5. ГОСТ 33997–2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64811/> (дата обращения: 18.03.2020).
6. ГОСТ ISO 8178-1–2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 1. Измерение выбросов газов и частиц на испытательных стендах. М.: Стандартиформ, 2015. 107 с.
7. Кнорре Г.Ф. Тепловые расчеты по газовому анализу. М.: Госэнергоиздат, 1947.
8. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский [и др.]. М.: Машиностроение, 1972. 368 с.

УДК 521.11

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ КОМПЛЕКСНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**С.Н. Терехин, доктор технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.
В.П. Сугак, доктор военных наук, профессор;
С.А. Власов, кандидат технических наук, доцент;
А.В. Кульвиц, кандидат технических наук, доцент.
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского**

Приводятся алгоритмы и результаты расчета параметров систем космических аппаратов для комплексного наблюдения всей поверхности Земли при решении задачи предупреждения чрезвычайных ситуаций с учетом обзорного и детального наблюдения. Рассматриваются варианты орбитального построения и параметры орбит таких систем

космических аппаратов с учетом дополнительных требований и ограничений, обусловленных целевой задачей.

Ключевые слова: космический аппарат, квазисинхронные орбиты, кинематически правильные системы космических аппаратов, изомаршрутные системы космических аппаратов, глобальный непрерывный обзор, обзор с разрывом в наблюдении

CONSTRUCTION OF SYSTEMS OF SMALL SPACECRAFT INTEGRATED OBSERVATION OF THE EARTH'S SURFACE FOR EMERGENCY MONITORING

S.N. Terehin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

V.P. Sugak; S.A. Vlasov; A.V. Kollwitz.

Military space academy named after A.F. Mozhaysky

Algorithms and results of calculation of parameters of Spacecraft systems for complex observation of the entire Earth surface in solving the problem of emergency prevention taking into account the survey and detailed observation are presented. Variants of orbital construction and parameters of orbits of such Spacecraft systems are considered, taking into account additional requirements and limitations caused by the target task.

Keywords: spacecraft, quasi-synchronous orbits, kinematically correct Spacecraft systems, isomarsrutnye Spacecraft systems, global continuous review, review with a gap in observation

В настоящее время накоплен большой практический опыт выявления и предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с помощью систем малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли [1]. Космический мониторинг заключается в непрерывном многократном получении информации о качественных и количественных характеристиках природных и антропогенных объектов и процессов с точной географической привязкой за счет обработки данных, получаемых со спутников ДЗЗ [2]. Космический мониторинг позволяет получать однородную и сравнимую по качеству информацию одновременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых наземных обследованиях. Исходя из этого определения, можно выделить ряд принципиальных требований к космическому мониторингу: возможность наблюдения за большими площадями и протяженными объектами; высокое пространственное разрешение (до 50 см) и точность.

Для обеспечения данных требований необходимо обеспечить комплексное наблюдение поверхности Земли с помощью системы малых космических аппаратов (КА), которые должны обладать определенной орбитальной структурой [3, 4].

Под комплексным наблюдением будем понимать наблюдение с помощью различной аппаратуры, установленной на борту КА и имеющей отличающиеся характеристики наблюдения. Например, одна аппаратура может использоваться для непрерывного обзорного наблюдения всей поверхности Земли, другая – для детального периодического (с заданным временным интервалом) наблюдения поверхности Земли.

Постановка задачи комплексного наблюдения поверхности Земли

Для согласования различных видов наблюдения в одной системе КА проведем анализ вариантов построения систем КА различного назначения.

Способы построения непрерывных и периодических (с заданным временным разрывом в наблюдении) систем наблюдения существенно отличаются. Связано это с величиной зоны обзора на поверхности Земли – мгновенной области на поверхности Земли, наблюдаемой с помощью аппаратуры, установленной на борту КА. Для непрерывного наблюдения желательно иметь достаточно большие зоны обзора.

Для построения систем КА непрерывного глобального (всей поверхности Земли) наблюдения используют, например, кинематически правильные системы КА [3], которые позволяют при достаточных по величине зонах обзора обеспечивать глобальный непрерывный обзор при количестве КА в системе от пяти.

Для систем КА периодического наблюдения необходимо согласовывать движение КА относительно вращающейся Земли. Для этого используются, например, изомаршрутные (одномаршрутные) системы КА, в которых КА следуют друг за другом по одной трассе полета [3, 4].

Пусть на борту КА имеется аппаратура для обзорного и детального наблюдения поверхности Земли с заданными характеристиками. Необходимо обосновать структуру системы, способную успешно осуществлять и непрерывное обзорное наблюдение, и детальное периодическое наблюдение всей поверхности Земли.

Решение задачи комплексного наблюдения земной поверхности

Для построения системы используем круговые орбиты одинаковых радиусов и наклонений.

Пусть условия обзора задаются минимальным углом возвышения над горизонтом точки наблюдения δ . Тогда величина круговой зоны обзора определяется [5] по формуле:

$$\varphi_3 = \arccos\left(\frac{R}{r} \cos \delta\right) - \delta,$$

где $R = 6371$ км – радиус шарообразной Земли; r – радиус орбит КА.

Предположим, что аппаратура для обзорного наблюдения имеет зону обзора φ_{3_1} , а для детального наблюдения – φ_{3_2} .

Структура кинематически правильных (относительное расположение КА системе) на круговых орбитах может быть задана следующими соотношениями [4]:

$$\begin{aligned} \Omega_j &= \Omega_{j-1} + 2\pi k/N, \\ u_j &= u_{j-1} + 2\pi l/N, \\ i_j &= i, \\ r_j &= r \\ j &= 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \tag{1}$$

где N – число КА в системе; Ω_j – прямое восхождение восходящего узла j -го КА; u_j – аргумент широты j -го КА; i – наклонение орбит КА; k, l – целые числа, задающие расположение восходящих узлов и КА.

Для перехода к периодическому наблюдению необходимо подобрать такие орбиты КА, которые удовлетворяют условиям (1) и пригодны для эффективного периодического наблюдения.

Для построения систем периодического наблюдения используются изомаршрутные системы на квазисинхронных орбитах.

Рассмотрим изомаршрутную систему КА для случая, когда орбита квазисинхронная. Для квазисинхронной орбиты выполняется условие:

$$\frac{T_{\text{эф}}}{T_{\Omega}} = \frac{p}{q},$$

где p, q – взаимно простые целые числа; $T_{\text{эф}}$ – эффективные сутки, время полного оборота

Земли относительно восходящего узла орбиты, $T_{\text{эф}} = \frac{2\pi}{\omega_3 - \dot{\Omega}}$; ω_3 – угловая скорость

вращения Земли, $\omega_3 = 7.29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$; $\dot{\Omega}$ – угловая скорость прецессии восходящего узла орбиты, обусловленная влиянием нецентральности гравитационного поля Земли, которая

приближенно может быть определена по формуле $\dot{\Omega} = \frac{3\pi}{T_{\Omega}} \frac{\pi_2}{\mu r^2} \cos i$,

$$\mu = 398600.44 \text{ км}^3 / \text{с}^2, \quad \pi_2 = -1.7555 \cdot 10^{10} \text{ км}^5 / \text{с}^2.$$

У квазисинхронных орбит трасса полета замыкается через промежуток времени $\Delta t_1 = pT_{\Omega} = qT_{\text{эф}}$.

Для обеспечения глобальности наблюдения наклонение орбит должно выбираться из следующего диапазона:

$$i \in (\pi/2 - \varphi_{3_2}, \pi/2 + \varphi_{3_2}).$$

Таким образом, при малых величинах зоны обзора φ_{3_2} орбиты должны быть близкими к полярным орбитам. Для таких орбит условия наблюдения определяются [6] шириной полосы обзора на экваторе $\Delta\lambda_3$, которая определяется по формуле:

$$\Delta\lambda_3 = 2 \arcsin \left(\frac{\sin \varphi_{3_2}}{\sin i} \right).$$

Если ширина полосы обзора КА на экваторе находится в пределах $\Delta\lambda_3 \in [\Delta\lambda, 2\Delta\lambda)$, где наибольшее расстояние между узлами орбиты:

$$\Delta\lambda = \begin{cases} \frac{2\pi}{p}, & \text{если } q \cdot p - \text{нечетно,} \\ \frac{\pi}{p}, & \text{если } q \cdot p - \text{четно,} \end{cases}$$

то время разрыва в наблюдении всей поверхности Земли вычисляется по формулам:

$$\Delta t_1 = \begin{cases} \frac{p+1}{2} T_{\Omega}, & \text{если } q \cdot p - \text{нечетно,} \\ p T_{\Omega}, & \text{если } q \cdot p - \text{четно.} \end{cases}$$

Для построения изомаршрутной системы периодического наблюдения на участке трассы полета КА, образуемого за время Δt_1 , нужно равномерно разместить N КА. Тогда наибольший разрыв в наблюдении будет равен $\Delta t_N = \frac{pT_\Omega}{N}$.

Положение КА в изомаршрутной системе можно определить [6] следующим образом:

$$\begin{aligned}\Omega_i &= \Omega_{i-1} + \frac{2\pi}{N}q, \\ u_i &= u_{i-1} - \frac{2\pi}{N}p, \\ i &= 1, 2, \dots, N.\end{aligned}\tag{2}$$

Рассмотрим возможность построения кинематически правильных систем КА, обеспечивающих глобальный непрерывный обзор поверхности Земли, на квазисинхронных орбитах, обеспечивающих одновременно возможность изомаршрутного наблюдения поверхности Земли с разрывом в наблюдении.

Перейдем в формуле (2) для u_i от знака «-» к знаку «+», тогда:

$$\begin{aligned}\Omega_i &= \Omega_{i-1} + \frac{2\pi}{N}q, \\ u_i &= u_{i-1} + (LN - p)\frac{2\pi}{N},\end{aligned}\tag{3}$$

где L – целое число, для которого $\Delta u = L2\pi - p\frac{2\pi}{N} > 0$.

Положив в полученных формулах (2) $q = q'k$, $LN - p = q'l$.

$$\begin{aligned}\Omega_i &= \Omega_{i-1} + kq'\frac{2\pi}{N}, \\ u_i &= u_{i-1} + lq'\frac{2\pi}{N}.\end{aligned}\tag{4}$$

С учетом равномерного расположения восходящих узлов орбит на экваторе, а КА в плоскостях для получения структуры, задаваемой соотношениями (4), идентичной кинематически правильной системе, задаваемой соотношениями (1), необходимо чтобы минимальные интервалы между восходящими узлами и между КА в обеих системах были одинаковы. В системе (1) минимальные интервалы между узлами равны $k\frac{2\pi}{N}$, где $\frac{N}{k}$ – целое число, между КА – $l'\frac{2\pi}{N}$, где l' – наибольший общий делитель чисел N, l . Для того чтобы

в системе (3) интервалы были такими же, числа N, q' должны быть взаимно простыми целыми числами. В этом случае получаем структуру, соответствующую кинематически правильной системе, задаваемую соотношениями (1), но с другой нумерацией КА.

Таким образом, в случае когда изомаршрутная система строится на квазисинхронных орбитах с числами p, q , то структура такой системы может полностью соответствовать кинематически правильной системе.

Для получения взаимно простых целых чисел p, q , задающих параметры квазисинхронных орбит, соответствующих заданной кинематически правильной системе с параметрами N, k, l , можно использовать следующий алгоритм:

1. Организуется перебор чисел $q' = 1, 2, \dots$ с учетом того, что N, q' – взаимно простые целые числа до получения заданного числа q , соответствующему числу суток замыкания трассы полета КА, и для каждого значения q' вычисляется число $q = kq'$.

2. При каждом значении числа q' организуется перебор чисел $L = 1, 2, \dots$ и определяются все возможные значения числа p , $p = LN - q'l$, при этом числа p, q – взаимно простые целые числа.

В табл. 1 приведены варианты q – суточных квазисинхронных орбит для значений $q \in [1, 6]$, при использовании которых изомаршрутные системы совпадают с оптимальными кинематически правильными системами с числом КА 5, 6 и 7.

Таблица 1. Варианты q – суточных квазисинхронных орбит для кинематически правильных систем КА

N	k	l	q	p
5	1	1	1	4, 9, 14
			2	3, 13, 23, 33
			3	7, 17, 22, 32, 37, 47
			4	11, 21, 31, 41, 51, 61
			6	19, 29, 49, 59, 79, 89
			6	2, 8, 14
6	1	4	1	16, 22, 28, 34, 46, 52, 58, 64
			5	2, 9, 16
			2	11, 25, 39
			3	13, 20, 34, 41
			4	15, 29, 43, 57
7	1	5	1	17, 24, 31, 38, 52, 59, 66, 73
			2	
			3	
			4	

Таким образом, как следует из приведенных результатов, можно подобрать достаточное число изомаршрутных систем КА на квазисинхронных орбитах, структура которых совпадает с кинематически правильной системой. В результате, можно обеспечить комплексный обзор околоземного космического пространства (ОКП) и поверхности Земли с использованием различной аппаратуры, что позволит в решать задачу по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Пример решение задачи построения системы комплексного наблюдения

Величина зоны обзора КА для обеспечения глобальности непрерывности обзора Земли определяется из условия:

$$\varphi_{3_1} = \max_{\psi, \lambda, u_1} \min_{j=1 \dots N} \varphi_j(\psi, \lambda, u_1),$$

где φ_j – угловое расстояние от j -го КА до точки с геоцентрической широтой ψ и долготой λ , $\psi \in [-\pi/2, \pi/2]$, $\lambda \in [0, 2\pi]$; $u_1 \in [0, \delta u]$ – аргумент широты первого КА; $\delta u = 2\pi l' / 4N$ – интервал, через который повторяется структура системы; l' – наибольший общий делитель чисел N, l ; $j = 1, 2, \dots, N$ – номер КА.

Угол φ_j в выражении (4) определяется из формулы:

$$\cos \varphi_j = \sin \psi_j \sin \psi + \cos \psi_j \cos \psi \cos(\lambda_j - \lambda).$$

На рисунке приведены зависимости минимальных зон обзора Φ_{3_1} , обеспечивающих глобальный непрерывный обзор, от наклонений орбит для кинематически правильных систем, рассмотренных в табл. 1.

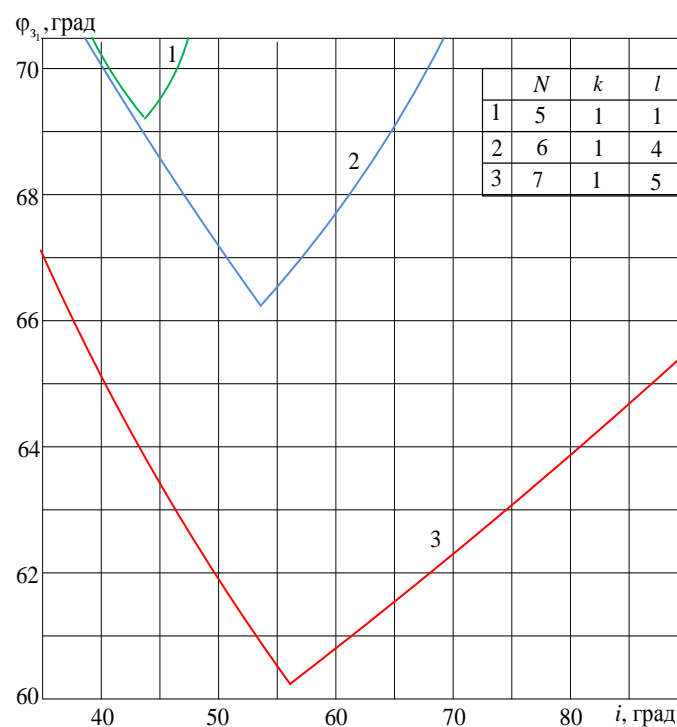


Рис. Зоны обзора КА для глобального непрерывного обзора в кинематически правильных системах

В табл. 2 приведены оптимальные значения наклонений i_{opt} и минимально возможные зоны обзора КА $\Phi_{3_{1min}}$, обеспечивающие глобальный непрерывный обзор для этих же систем.

Таблица 2. Оптимальные характеристики кинематически правильных систем глобального непрерывного обзора поверхности Земли

N	k	l	i_{opt}	$\Phi_{3_{1min}}$
5	1	1	43°39'	69°09'
6	1	4	53°09'	66°25'
7	1	5	55°42'	60°16'

Рассмотрим кинематически правильную систему с параметрами $N=7, k=1, l=5$ на квазисинхронной орбите с параметрами $p=13, q=6$. При наклонении $i=83^\circ$ эта система может обеспечить глобальный непрерывный обзор ОКП с круговой зоной обзора КА около $\varphi_{3_1} = 64^\circ$ и одновременно обеспечить глобальный обзор поверхности Земли с наибольшим разрывом в наблюдении около 21 ч с круговой зоной обзора КА $\varphi_{3_2} = 7^\circ$.

Таким образом, кинематически правильные системы, которые успешно применяются для непрерывного наблюдения всей поверхности Земли, при размещении КА на квазисинхронных орбитах могут обеспечить периодический обзор с меньшей зоной обзора. Это позволяет использовать кинематически правильные системы для комплексного наблюдения поверхности Земли разной аппаратурой, размещаемой на борту КА.

Литература

1. Минаков Е.П., Чичкова Е.Ф. Мониторинг чрезвычайных ситуаций с использованием дистанционного зондирования земли // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 4. С. 54–61.
2. Голованев И.Н. Федеральная система мониторинга объектов и ресурсов. Основы построения и техническая реализация. М.: СИП РИА, 2006. 252 с.
3. Можаяев Г.В. Синтез орбитальных структур спутниковых систем: Теоретико-групповой подход. М.: Машиностроение, 1989. 303 с.
4. Баллистические основы проектирования ракет-носителей и спутниковых систем / Н.Ф. Аверкиев [и др.]. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. 302 с.
5. Власов С.А., Кубасов И.Ю., Селин В.А. Выбор баллистической структуры системы космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. 2010. Вып. 625. С. 76–80.
6. Власов С.А., Кульвиц А.В., Киселев В.В. Алгоритм расчета характеристик применения космических аппаратов для наблюдения объектов в околоземном космическом пространстве // Труды ВКА. 2014. № 645. С. 88–92.



ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.843.6

ОБРАЗ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУКАВНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ НАСОСНО-РУКАВНОГО КОМПЛЕКСА С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 200 Л/С И ПОДАЧЕЙ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ НА РАССТОЯНИЕ 1200 М (НРК-200/1200)

А.А. Печурин, кандидат технических наук, доцент;

О.Е. Мельник, кандидат педагогических наук;

Ш.А. Османов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлен образ и основные характеристики рукавного модуля с устройством для механизированной сборки рукавов насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1 200 м (НРК-200/1200).

Ключевые слова: рукавный модуль, насосно-рукавный комплекс, пожарные рукава, конструктивные особенности, механизированное устройство, соединительные головки

IMAGE AND MAIN CHARACTERISTICS OF THE HOSE MODULE FOR THE PUMPING AND HOSE COMPLEX WITH A CAPACITY OF 200 LITERS PER SECOND AND THE SUPPLY OF FIRE EXTINGUISHING AGENTS AT A DISTANCE OF 1200 METERS (NRK-200/1200)

A.A. Pechurin; O.E. Melnik; Sh.A. Osmanov.

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

The article presents the image and the main characteristics of a hose module with a device for mechanism for mechanized assembly of hoses and fire-technical equipment for a pump-hose complex with a capacity of 200 liters per second and supply of fire extinguishing agents at a distance of 1200 meters (NRK-200/1200).

Keywords: hose module, pumping and hose complex, fire hoses, design features, mechanized device, connecting heads

В соответствии с распоряжением первого заместителя министра МЧС России генерал-полковника внутренней службы А.П. Чуприяна от 22 мая 2020 г. № 335 перед ведомственными научными и образовательными учреждениями пожарно-технического профиля поставлена задача по обоснованию облика и основных характеристик пожарной насосно-рукавной техники высокой производительности для решения следующих задач:

– осуществление забора огнетушащего вещества с высоты более 8 м;

– бесперебойная подача огнетушащего вещества с расходом 200 л/с на расстояние более 1 200 м (НРК-200/1200) [1, 2].

С целью обоснования облика и основных характеристик насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1 200 м (НРК-200/1200) проведен анализ:

– требований к пожарно-техническому вооружению, действующих на территории Российской Федерации [2–5];

– существующих технических решений зарубежных производителей насосно-рукавного оборудования (в части выполнения требуемых МЧС России задач для создания НРК-200/1200): W. Ruberg AB, Швеция (<http://www.ruberg.se>) [6, 7]; Johstadt, Германия (<https://www.johstadt.com>) [8]; Rosenbauer, Австрия (<https://www.rosenbauer.com>); Ziegler GmbH, Германия (<https://www.ziegler.de>) [9]; MariFlex [10]; Darley, США (<https://www.darley.com>) [11]; FRAMO, Норвегия (www.framo.com) [12, 13]; US Fire Pump (www.usfirepump.com) [14];

– технических решений и полезных моделей насосно-рукавного оборудования, запатентованных с 1995 по 2020 гг. (проведен патентный поиск глубиной в 25 лет);

– технологических возможностей производителей насосно-рукавной техники на территории Российской Федерации: ТПП «Пеленг» (<https://www.peleng.info>), ООО «Балтифлекс» (<https://balticflex.ru>) и др.

В результате проведенного исследования предложена структура и состав насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1 200 м (НРК-200/1200) [15]. По результатам анализа патентов в области пожарной насосно-рукавной техники и технологий подтверждена патентная чистота предлагаемых технических решений НРК-200/1200.

Исходя из назначения и требований к проектируемому комплексу НРК-200/1200 [1, 2], в состав комплекса включены следующие модули и элементы:

1. Два специальных автомобиля для перевозки сменных модулей с технологическим оборудованием типа «мультилифт» МПР-20П.58 на базовых шасси с колесной формулой 6х6.
2. Основной насосный модуль высокой производительности.
3. Рукавный модуль с механизмом для механизированной сборки рукавов и пожарно-технического вооружения.

Применение в комплексе полиуретановых рукавов с условным проходом DN 200 и DN 300 обосновало поиск и разработку предложений по облику рукавного модуля, технологии разворачивания и сбора рукавов, их обслуживания, диагностирования, хранения.

Рукавный модуль представляет собой контейнер для размещения пожарных рукавов, размещенных (намотанными) на катушках (барабанах), которые вставляются и устанавливаются на подставки. Принципиальная схема предлагаемых устройств показана на рис. 1.

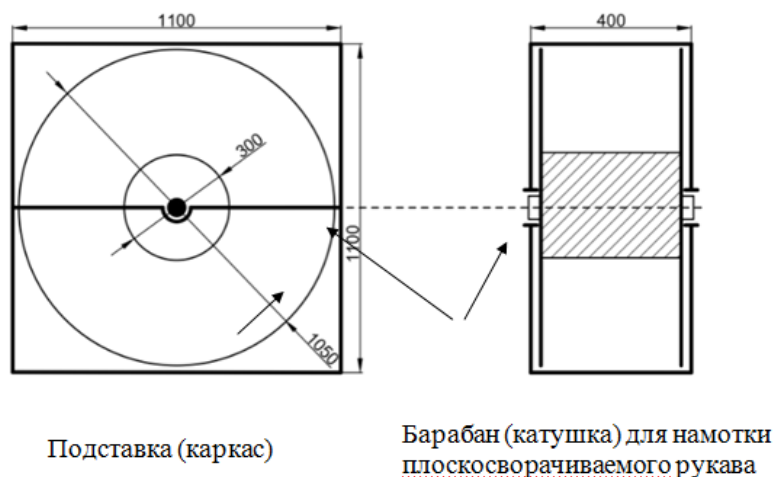


Рис. 1. Принципиальная схема и размеры устройства для намотки рукавов с условным проходом DN 200

Расчеты по размерам барабана (катушки) для намотки плосковорачиваемых полиуретановых рукавов с условным проходом DN 200 длиной 50 м и подставки предоставлены ООО «Балтифлекс» (Санкт-Петербург).

При применении рукавов с условным проходом DN 200 количество барабанов с намотанными рукавами – 40 штук, их возможное размещение в 20-футовом контейнере показано на рис. 2.

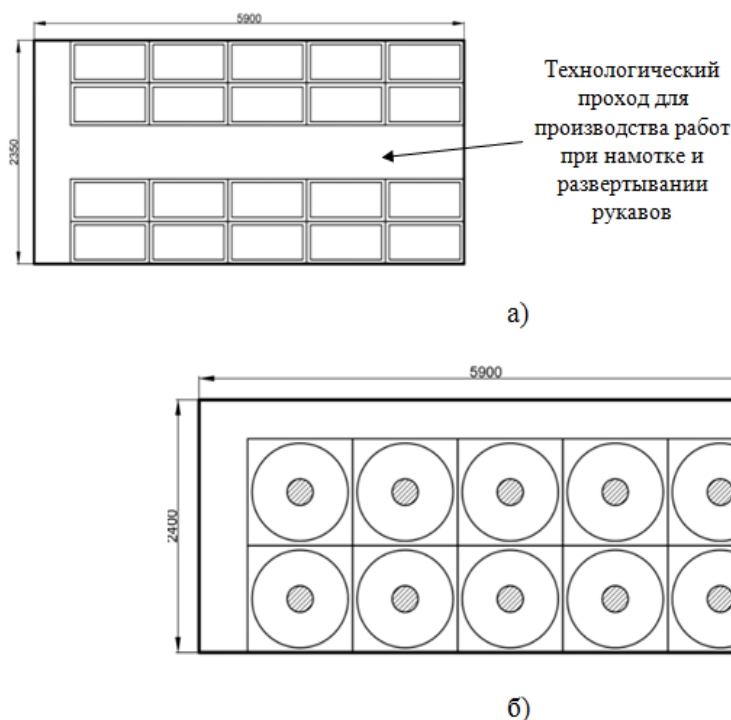


Рис. 2. Принципиальная схема размещения барабанов с намотанными рукавами (условный проход DN 200, длина 50 м) в 20-футовом контейнере: а – вид сверху; б – вид сбоку

Конструктивные особенности и требования к устройству барабанов для рукавов:

1. Барабан предназначен для хранения и транспортирования рукавов.
2. Барабан представляет собой цилиндрическую металлическую конструкцию с пазами для намотки гибких плосковорачиваемых рукавов. Сворачивание и разворачивание рукавов осуществляется посредством вращения барабана с помощью установки сворачивания и разворачивания, входящей в комплект поставки гибкого рукава, оснащенной ручным или механизированным приводом вращения барабана. Барабан устанавливается на установку сворачивания и разворачивания с помощью траверсы и гидроманипулятора.
3. Характеристики барабана зависят от количества, диаметра рукавов, которые будут на нем храниться.
4. Конструкция барабана должна обеспечивать возможность его транспортирования.
5. Конструкция барабана не должна иметь острых углов, не зачищенных сварных соединений и любых других элементов, которые могут повредить рукав.
6. Барабан может быть укомплектован мягким чехлом из непромокаемой ткани.
7. Барабан должен иметь защитное антикоррозионное покрытие.

Для перевозки рукавного модуля применяется полноприводное базовое шасси с колесной формулой бхб, рассчитанное для перевозки 20-футового стандартного контейнера (табл.).

Таблица. Технические характеристики 20-футового контейнера

20-футовый контейнер стандартный (20"х8"х8,6"), объем 33,3 м ³ , вес груза 21 700 кг			
	длина	ширина	высота
Внешние размеры, м	6,06	2,44	2,59
Внутренние размеры, м	5,9	2,35	2,4
Дверной проем	–	2,34	2,29

Шасси рукавного модуля дополнительно оборудуется:

- 1) коробкой отбора мощности;
- 2) гидростанцией;
- 3) гидроманипулятором;
- 4) затягивающим устройством для механизированной подачи рукава в контейнер.

Размещение пожарных рукавов на барабанах, определение длины рукава – 50 м обосновывается требованиями к технической исправности и ресурсу, приемлемой технологии разворачивания и свертывания рукавных линий, ремонтпригодности, для чего предусматривается возможность проведения очистки, продувки, обслуживания, ремонта, технического освидетельствования, хранения и транспортирования рукавов, эксплуатационного контроля материала и соединений.

Основными показателями характеристик размещения пожарных рукавов на барабанах являются показатели массы и геометрические показатели (LxШxВ) барабана с намотанными рукавами, что предопределяет технологию проведения работ по разворачиванию и сбору рукавов, проведения диагностики, обслуживания, ремонта, освидетельствования рукавов.

Вес барабанов с 50-метровыми намотанными рукавами: с условным проходом DN 200 предполагается не более 180 кг (при массе рукава длиной 1 м не более 3,0 кг), с условным проходом DN 300 предполагается не более 280 кг (при массе рукава длиной 1 м не более 4,9 кг).

Рукава соединяются в рукавную линию с помощью соединительных головок (рис. 2).



Рис. 2. Соединительные головки: а – типа СРТ; б – типа FHS; в – укороченные соединительные рукавные головки типа Multiluq и Storz

Соединение рукава и соединительной головки с помощью специального хомута обеспечивает в месте соединения защиту рукава от повреждения, которое может произойти при падении на твердую поверхность во время прокладки рукавной линии.

Стыкуемость двух соединительных элементов и установка замка должна обеспечиваться вручную (кроме затяжки болтов) без применения специального инструмента. Вращение маховика замка по часовой стрелке должно соответствовать смыканию соединения, а вращение против часовой стрелки – к размыканию. Усилие на маховике замка при его открытии и закрытии – не более 150 Н (15 кгс).

Для подъема рукавов в рукавный модуль служит специальное затягивающее устройство (ЗУ), расположенное в модуле. Подъем рукавов, намотка рукавов на барабаны и укладка их в рукавный модуль производится при движении автомобиля вдоль рукавной линии. При подъеме рукавов производится отжим воды, оставшейся внутри рукава, и очистка их от налипшего грунта.

Устройство для механизированной подачи рукава в контейнер ЗУ применяется для сбора трубопровода, состоящего из соединенных между собой плоскворачиваемых рукавов.

В разрабатываемом рукавном комплексе в качестве ЗУ предложено применение ЗУ ООО «БАЛТИКФЛЕКС» (Санкт-Петербург). В течение последних нескольких лет компания Балтифлекс осуществляла крупные инвестиции в исследования и производство. В настоящий момент это первый на территории СНГ завод по изготовлению плоскворачиваемых рукавов. Основной целью создания завода являлось замещение импортных поставок на российском рынке и удовлетворение растущего спроса на гибкие трубопроводы.

ЗУ представляет собой рамную конструкцию, установленную на поворотном элементе крепления к стенке контейнера, снабженное направляющими и вальцами, выполняющими функцию затягивания и освобождения рукавов от остатков транспортируемого продукта (рис. 3).



Рис. 3. ЗУ, установленное на борт контейнера

Привод ЗУ осуществляется от гидравлического мотора, питаемого от автономной гидростанции.

В устройство ЗУ входит:

- оборудование с прижимным ведущим валом, направляющими колесами и роликами, гидравлической плитой, распределителями с электромагнитными клапанами и шкафом управления;
- поворотный узел крепления ЗУ;
- комплект маслonaполненных гидравлических шлангов с установленными быстроразъемными соединениями;
- пульт дистанционного управления по кабелю (с комплектом кабелей);
- комплект кабелей для подключения устройства к электрической сети маслостанции.

ЗУ имеет возможность работы в режиме «Затягивание рукава» и «Затягивание рукава с прижимом». Кнопка переключения между режимами расположена на дистанционных пультах управления. Усилие прижима имеет плавную регулировку и настройку максимального значения.

Управление ЗУ производится по кабелю при помощи дистанционного электрического пульта.

Применение данной или аналогичной конструкции ЗУ позволит решить задачи по: подъему, освобождению рукавов от остатков перекачиваемой среды; затягиванию рукавов в контейнер и укладке в барабаны.

В развитии вышеизложенных результатов исследований и предложений по образцу и разработке требований к техническим характеристикам элементов рукавного модуля НРК-200/1200 предполагается проведение исследований и совершенствование свойств полиуретановых рукавов в интересах Государственной противопожарной службы МЧС России.

Литература

1. Об организации разработки современных образцов пожарно-спасательной техники и технологий: распоряжение МЧС России № 335 от 22 мая 2020 г. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

2. Проведение научных исследований по разработке исходных данных и проекта технического задания на опытно-конструкторскую работу по разработке и созданию новых образцов пожарных рукавов, пожарной техники, оборудования и испытательной базы к ним с улучшенными характеристиками и применением современных материалов (НИР «Перспектива-ПТВ»): частное техн. задание на составную часть науч.-исслед. работы (п. 26 раздела III плана науч.-исслед. и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2020 г. и плановый период 2021 и 2022 гг., утв. приказом МЧС России от 29 апр. 2020 г. № 274). М.: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, ФГБОУ «Всероссийский знак Почета» НИИ ПО МЧС России, 2020. 9 с.

3. ГОСТ Р 53248–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

4. ГОСТ Р 58714–2019. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубопроводы из гибких плоскостворачиваемых рукавов. Общие технические условия // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

5. ГОСТ Р 53277–2009. Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.06.2020).

6. Pump performance curve E 100SUB. 2017-01-09 // W. Ruberg. AB. 1 p.

7. Pump performance curve E 150SUB. 2015-11-27 // W. Ruberg. AB. 1 p.

8. Fahrzeugeinbaupumpe NP10000 // PF Pumpen und Feuerlöschtechnik GmbH. 4 p.

9. Ziegler Pumps and Turrets // ZIEGLER. URL: <https://www.ziegler.de/en/products/pumps-pump-components> (accepted: 31.08.2020).

10. MariFlex MSP-300. Сверхлегкий погружной пожарный насос // MariFlex Group. 4 p.

11. ZSD 2500-3000 // Darley. URL: <https://darley.com/pump-solutions/product/zsd-2500-3000> (accepted: 31.08.2020).

12. Technical description: High-capacity systems for firefighting. Framo diesel-electric fire water pumps // Framo Oil and Gas Pumping Systems. 12 p.

13. Technical description: Rapid response pumping systems for firefighting. Framo diesel-hydraulic fire water pumps // Framo Oil and Gas Pumping Systems. 12 p.

14. Hose Recovery // US Fire Pump. URL: <http://usfirepump.com/products/hose-recovery-vehicle> (accepted: 31.08.2020).

15. Структура и состав насосно-рукавного комплекса с производительностью 200 л/с и подачей огнетушащих веществ на расстояние 1200 м (НРК-200/1200): конкурсная работа по обоснованию перспективного облика и основных характеристик пожарной насосно-рукавной техники и технологий / А.А. Печурин [и др.]. СПб.: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. 70 с.

УДК 614.849

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОГNETУШАЩИЕ СВОЙСТВА ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ

А.С. Волик;

А.В. Квашнин.

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.

Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Рассмотрено влияние электрического поля на огнетушащие свойства воздушно-механической пены. Выявлено, что пена, которая вырабатывается из воды под внешним физическим воздействием, в частности под действием электрического поля, приобретает определенные свойства, которые приводят к сокращению времени тушения, времени разрушения пены, а также минимизирует объем данной вырабатываемой пены.

Ключевые слова: электрическое поле, воздушно-механическая пена, пожар, вода, физическое воздействие

THE INFLUENCE OF THE ELECTRIC FIELD AT THE FIRE EXTINGUISHING PROPERTIES OF AIR-MECHANICAL FOAM

A.S. Volik; A.V. Kvashnin.

Far-Eastern fire-safety academy – branch of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

G.K. Ivakhnyuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers the influence of the electric field on the fire-extinguishing properties of air-mechanical foam. It is revealed that the foam that is produced from water under external physical impact, in particular, under the influence of an electric field, acquires certain properties, which lead to reduction in time of fire time of foam destruction and minimizes the volume of the generated foam.

Keywords: electric field, air-mechanical foam, fire, water, physical impact

На сегодняшний день существует несколько разновидностей методов тушения пожара, основные из которых включают группы, представленные на рис. 1.



Рис. 1. Способы тушения пожаров

Проводя анализ данных практики тушения пожара класса «В», можно сделать вывод, что наиболее распространенным выступает именно тушение пеной. Для воздушно-механической пены характерны следующие физико-химические свойства:

- кратность – отношение объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в пене;
- дисперсность – степень измельчения пузырьков (размеры пузырьков);
- вязкость – способность пены к растеканию по поверхности;
- стойкость – способность проводить электрический ток [1].

Воздушно-механическая пена характеризуется более высокой электропроводностью в сравнении с водой, входящей в ее состав.

Воздушно-механическая пена является дисперсной системой, состоящей из ячеек – пузырьков воздуха (газа), которые разделены пленками воды, содержащей стабилизатор (пенообразователь). Именно на данную пленку воды, в частности, на надмолекулярную структуру, с целью изменения качественных характеристик воздушно-механической пены, осуществляется воздействие электрического поля.

Надмолекулярная структура воды может быть изменена благодаря физическому воздействию, а именно, благодаря влиянию электрического и магнитного поля, вибрации, ультразвука, а также благодаря химическому воздействию, что приводит к формированию у воды определенных свойств, которые способны сохраняться длительный период времени [2].

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что надмолекулярная структура воды характеризуется наличием четырех молекул воды, которые связаны между собой Н-связями. В данном случае, вода выступает не в качестве смеси молекул, а в качестве сложной ассоциативной системы, характеризующейся пространственной организованностью связей, к примеру, наличием термически устойчивых тетрамеров, которые имеют слабые, сильные и водородные связи молекул.

Благодаря внешнему воздействию на данную систему, возникают процессы, которые ослабляют данные связи, что является следствием увеличения количества мелких ассоциатов – рис. 2.

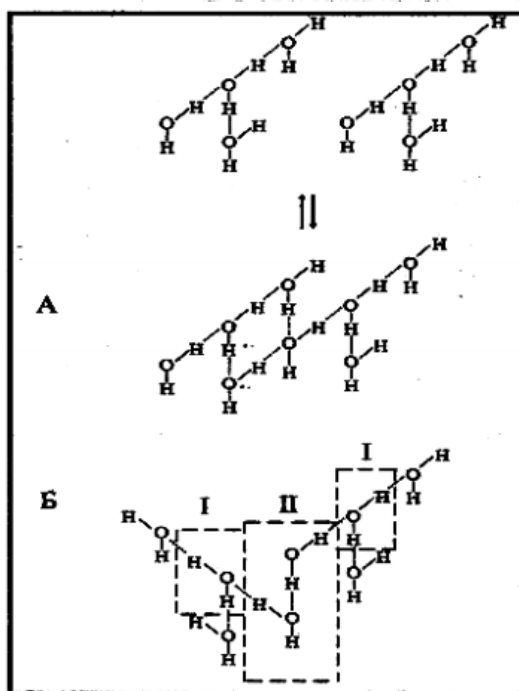


Рис. 2. Образование ассоциатов из-за наличия слабых связей

Вода, на которую воздействует электрическое поле, изменяет упорядоченность и структуру полиассоциатов, эти изменения не хаотичны, а подчиняются определенному закону, что приводит к изменению во всем объеме. Перестройка надмолекулярной структуры воды на уровне полиассоциатов сказывается на ее макросвойствах, которые могут быть оценены инструментально [3].

А именно, в процессе воздействия на воду электрического поля формируются экстремумы, что приводит к преобразованию надмолекулярной структуры воды. Соответственно, подтверждается теория, согласно которой благодаря различному времени воздействия электрического поля на воду можно осуществлять контроль величины коэффициента критического мицеллообразования водных растворов поверхностно-активных веществ, а также управлять огнетушащими свойствами пены, в которой используется данная вода. Таким образом, можно управлять следующими характеристиками воздушно-механической пены:

- время тушения;
- время разрушения пены;
- объем пены.

В процессе пожаротушения именно данные характеристики являются наиболее значимыми [4].

Результаты эксперимента

В ходе исследования были проведены эксперименты по подачи воздушно-механической пены на тушение пожара класса «В». Было проведено три эксперимента:

- подача пены без обработки воды раствора пенообразователя электрическим полем (рис. 3);
- подача пены после обработки воды раствора пенообразователя электрическим полем в течении 30 мин (рис. 4);
- подача пены после обработки воды раствора пенообразователя электрическим полем в течении 60 мин (рис. 5).

Воздушно-механическая пена во всех случаях эксперимента подавалась в течении 10 с (табл.).

Таблица. Зависимость кратности, стойкости пены и времени тушения от воздействия воды электрическим полем

	Время тушения	Время разрушения пены на 50 %	Объем пены
Подача пены без обработки воды	3,56 с	9 мин 32 с	4,35 м ³ (7,4x4,7x0,125)
Подача пены, при обработке воды в течении 30 мин	1,93 с	10 мин 34 с	2,02 м ³ (5,1x4,4x0,09)
Подача пены, при обработке воды в течении 60 мин	2,7 с	11 мин 18 с	1,1 м ³ (4,7x3,9x0,06)

В результате можно видеть, что с увеличением времени обработки электрическим полем воды кратность пены уменьшается. Но хотелось бы отметить тот факт, что с уменьшением кратности увеличивается плотность воздушно-механической пены и увеличивается ее стойкость.



Рис. 3. Подача пены без обработки воды



Рис. 4. Подача пены после обработки воды в течении 30 мин



Рис. 5. Подача пены после обработки воды в течении 60 мин

Проведенный эксперимент свидетельствует о том, что использование электрофизически обработанной воды, которая в дальнейшем будет использована для получения воздушно-механической пены, приводит к тому, что ее свойства изменяются. Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что время, в течение которого на воду воздействует электрическое поле, имеет прямую зависимость с устойчивостью воздушно-механической пены и обратную зависимость с объемом образующейся воздушно-механической пены. А именно, объем получаемой воздушно-механической пены при обработке воды в течение 60 мин в 3,9 раз меньше, чем объем пены, получаемый без дополнительной обработки воды. Также существенно сокращается время тушения пожара. А именно, время, затрачиваемое на тушение при обработке воды в течение 60 мин, в 1,3 раз меньше, чем время тушения без дополнительной обработки воды.

Оценивая эффективность тушения пожара, можно сделать вывод об улучшении огнетушащих качеств воздушно-механической пены после обработки воды.

Литература

1. Бобков С.А., Бабурин А.В., Комраков П.В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 210 с.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем. 2-е изд. М.: Химия, 1982. 296 с.
3. Алексеик Е.Б., Савенкова А.Е., Гемиш З. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 4.
4. Николаев А.Ф. Современный взгляд на структуру воды // Изв. С.-Петербур. гос. технол. ин-та (технич. ун-та). 2007. № 1 (27). С. 110–115.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агарков Александр Владиславович – аспирант, инженер 1 кат. науч.-исслед. отд. авар.-спас. технол. Гос. науч.-исслед. ин-та горноспасат. дела, пож. безопасн. и гражд. защиты «Респиратор» МЧС ДНР (283048, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru;

Актерский Юрий Евгеньевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: akterskij.y@igps.ru, д-р воен. наук, проф.;

Андрюшкин Александр Юрьевич – зав. каф. «Технология конструкц. материалов и пр-ва ракетно-космич. техн.» Балт. гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1/21), канд. техн. наук, доц.;

Вилков Валерий Борисович – доц. каф. общенауч. и общетехн. дисц. Воен. акад. мат.-техн. обеспеч. им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), e-mail: amirusha@rambler.ru, канд. физ.-матем. наук, доц.;

Власов Сергей Александрович – доц. каф. навигац.-баллист. обеспеч. применения космич. ср-в и теории полета лет. аппаратов Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: al_nex_239@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Волик Андрей Сергеевич – зам. нач. каф. тактики и авар.-спас. работ Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 27), e-mail: a.s.volik@mail.ru;

Гавкалюк Богдан Васильевич – нач. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

Горшкова Елена Евгеньевна – ст. препод. каф. переподгот. и повыш. квалификации спец-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: gorshkovaelena@rambler.ru;

Гула Дмитрий Николаевич – препод. каф. «Систем жизнеобеспеч. объектов наземной косм. инфраструктуры» Воен.-косм. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: dimas.gula@ya.ru, канд. техн. наук;

Дербенев Роман Андреевич – магистрант Высш. шк. техносф. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: romsur86@yandex.ru;

Джафаров Элхан Адилевич – препод. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ognez.ipl@mail.ru;

Завьялов Дмитрий Евгеньевич – доц. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: zavialov-dmitriy@mail.ru, канд. техн. наук;

Зыбина Ольга Александровна – доц. Высш. шк. техносфер. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: zybina_oa@spbstu.ru, д-р техн. наук, доц.;

Ивахнюк Григорий Константинович – проф. каф. инж. защ. окр. среды СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: fireside@inbox.ru, д-р хим. наук, проф.;

Ищенко Андрей Дмитриевич – проф. каф. пож. тактики и службы Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: andiko@mail.ru, канд. техн. наук;

Кадочникова Елена Николаевна – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

Квашнин Алексей Викторович – нач. каф. тактики и авар.-спас. работ Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), e-mail: kvashnin1978@mail.ru;

Королев Иван Дмитриевич – студент фак-та пищ. биотехнол. и инж. Нац. исслед. ун-та ИТМО (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), e-mail: Ivankorolevich2000@mail.ru;

Королева Людмила Анатольевна – зам. нач. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Кошкарров Руслан Витальевич – нач. каф. спец. подгот. Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 27), e-mail: koshkarov79@mail.ru;

Кульвиц Алексей Владимирович – зам. нач. каф. навигац.-баллист. обеспеч. прим. косм. ср-в и теории полета лет. аппаратов Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского. (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: al_nex_239@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Куянов Андрей Владимирович – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kuyanov@igps.ru, канд. техн. наук;

Ложкин Владимир Николаевич – проф. каф. пож. авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

Ложкина Ольга Владимировна – доц. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: olojkina@yandex.ru, канд. хим. наук, доц., д-р техн. наук;

Мамаев Валерий Владимирович – зам. дир-ра (по науч. работе) Гос. науч.-исслед. ин-та горноспасат. дела, пож. безопасности и гражд. защиты «Респиратор» МЧС ДНР (283048, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.;

Мартынович Владимир Леонидович – доц. каф. «Техносферная безопасность» Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: martynovichvl@tyuiu.ru, канд. техн. наук;

Мельник Ольга Евгеньевна – ст. науч. сотр. отд. инф. обеспеч. нас. и технол. инф. поддержки РСЧС и пож. безопасн. центра орг. науч.-исслед. и ред. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: Sherstnevaowork@yandex.ru, канд. пед. наук;

Минкин Денис Юрьевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротуш. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р СПб ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), e-mail: dunkel@mail.ru, д-р техн. наук, проф.;

Миргородский Александр Николаевич – ст. препод. каф. «Систем жизнеобеспеч. объектов наземной косм. инфраструктуры» Воен.-косм. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: a89112455906@ya.ru, канд. техн. наук;

Моторин Виктор Михайлович – доц. каф. «Систем жизнеобеспеч. объектов наземной косм. инфраструктуры» Воен.-косм. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: stmvm@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Онищенко Игорь Анатольевич – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 001-@list.ru;

Османов Шамиль Абубакарович – зам. нач. отд. планир., орг. и коорд. науч. исслед. центра орг. науч.-исслед. и ред. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 28029005@mail.ru;

Печурин Александр Алексеевич – доц. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: pechurinas@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Савенкова Анастасия Евгеньевна – препод. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: savenkova@igps.ru, канд. техн. наук;

Савошинский Олег Петрович – нач. Упр. гражд. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: ugb@spbstu.ru;

Северин Сергей Николаевич – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196106, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: serega-siverin@yandex.ru;

Сивков Юрий Викторович – проф. каф. «Техносферная безопасность» Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: sivkovjv@tyuiu.ru, канд. биол. наук;

Сугак Владимир Петрович – ст. науч. сотр. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: vsugak@yandex.ru, д-р воен. наук, канд. техн. наук, проф.;

Сысоева Татьяна Павловна – ст. науч. сотр. отд. инновац. и информ. технол. в экспертизе пож. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: ficentre@igps.ru, канд. техн. наук;

Таранцев Андрей Александрович – препод. каф. пож. тактики и службы Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: dask_cradle@mail.ru;

Терехин Сергей Николаевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: expert_terehin@mail.ru, д-р техн. наук, доц.;

Тищенко Максим Александрович – зам. нач. службы пожаротуш. – нач. деж. смены ФПС ГПС ГУ МЧС России по Белгородской обл. (308015, г. Белгород, пр. Славы, д. 102), e-mail: tishka1488@mail.ru;

Хайруллина Лариса Батыевна – доц. каф. «Техносферная безопасность» Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: hajrullinalb@tyuiu.ru, канд. техн. наук;

Шаптала Вадим Владимирович – доц. каф. информ. технол. Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46), e-mail: shaptalavadim@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Шидловский Александр Леонидович – нач. каф. практ. подгот. сотр. пож.-спас. формирований СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ppspsf@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Черных Андрей Климентьевич – проф. каф. переподгот. и повыш. квалификации спец-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: chernih.a@igps.ru, д-р техн. наук, доц.



ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-майор внутренней службы, кандидат технических наук Гавкалюк Богдан Васильевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров,

158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации, факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА), факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности научно-исследовательского института: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск, Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны, Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-

преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС

России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

1. Материалы для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

3. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: УДК (универсальная десятичная классификация); название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии **авторов (не более трех)**; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

4. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

5. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

6. Оформление библиографии (списка литературы):

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого процесса: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

7. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал

Проблемы управления рисками в техносфере
№ 3 (55) – 2020

Подписной индекс № ПА482 в электронном каталоге «Почта России»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 30.09.2020. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 14,75 Тираж 1000 экз. Зак. № 00

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149