

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**

PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT

№ 1 (61) – 2022

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, кандидат химических наук, профессор **Ложкина Ольга Владимировна**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, ассоциированный профессор (доцент) полковник гражданской защиты **Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич**, начальник Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан;

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**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института федеральной службы исполнения наказаний России;

доктор химических наук, профессор **Рудаков Олег Борисович**, заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета;

доктор физико-математических наук, профессор **Локтев Алексей Алексеевич**, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российского университета транспорта; кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент) полковник гражданской защиты **Раимбеков Кендебай Жанабилович**, заместитель начальника Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан по научной работе;

доктор юридических наук, профессор **Сафарзода Бахтовар Амирали**, заместитель Генерального секретаря Совета Межпарламентской Ассамблеи – полномочный представитель Маджлиси Оли Республики Таджикистан в МПА СНГ и ПА ОДКБ;

доктор юридических наук, доцент **Макаров Олег Сергеевич**, директор Белорусского института стратегических исследований (Республика Беларусь, г. Минск);

доктор юридических наук, доцент **Ковалева Наталья Витальевна**, профессор Департамента международного и публичного права Финансового университета при Правительстве Российской Федерации;

доктор юридических наук, доцент **Медведева Анна Александровна**, профессор кафедры трудового права;

доктор юридических наук, профессор **Агаев Гююлоглан Али оглы**, профессор кафедры уголовного права и таможенных расследований Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения;

доктор юридических наук, доцент **Антонов Антон Геннадьевич**, профессор кафедры уголовного права Санкт-Петербургского университета МВД России;

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

Мухаммед Халил Абузалата, профессор кафедры инженерной мехатроники Университета прикладных наук Аль-Балка, декан (президент) Арабского университетского технологического колледжа (Иордания).

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, доцент подполковник 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;

доктор технических наук, доцент полковник внутренней службы **Королева Людмила Анатольевна**, заместитель начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства 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 подполковник внутренней службы **Шидловский Григорий Леонидович**, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения 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, учитывающихся при защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Периодичность издания журнала – ежеквартальная

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность корпусов нефтегазового оборудования	6
Копейкин Н.Н. К вопросу тушения судов в портах	15
Ударцева О.В. Снижение вероятности формирования пожаровзрывоопасной смеси в зоне резервуарных парков хранения нефти	22
Захматов В.Д., Панкратова М.В. Модернизация пожарного поезда на основе новых технологий тушения разливов нефти и нефтепродуктов	28

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Иванов А.Н., Кеда Д.П., Кутузов В.В. Об использовании статистических данных о пожарах в оценке эффективности работы систем пожарной автоматики	36
Самигуллин Г.Х., Тимошенко А.Л. Проблема нормативного обеспечения пожарной и промышленной безопасности на объектах производства водорода методом паровой конверсии природного газа	44

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

Актерский Ю.Е., Смирнов А.С. Космический мониторинг чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли в Арктической зоне Российской Федерации	51
Ложкин В.Н. Закономерности развития техногенного явления диффузии поллютантов в атмосфере Санкт-Петербурга	60
Ивахнюк С.Г. Каскадность взаимных возникновения и развития чрезвычайных ситуаций – результат научно-технического прогресса	67
Лабинский А.Ю. Система охлаждения энергетического оборудования	78
Савчук О.Н., Смирнов А.С., Нефедьев С.А. Совершенствование обеспечения безопасности населения при авариях с утечкой бытового газа	86
Ложкина О.В., Никитина Т.Г., Цветков В.А. Совершенствование инструментальных методов анализа опасных загрязнителей воздуха на примере определения аммиака	97
Леонтьева М.С., Актерский Ю.Е. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом	108
Черных А.К., Горшкова Е.Е., Вилков В.Б. Прогнозирование расхода огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров	117

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Филановский А.М., Иванова Е.С., Бесков М.С. Обзор специальных пожарных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области	126
Мокряк А.Ю., Мокряк А.В., Букаткин А.С. Морфология повреждений медных проводников при коротком замыкании	135

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Литовченко И.О., Шелепенькин А.А., Степанов Р.А. Влияние изменений в законодательстве Российской Федерации на систему управления охраной труда	144
Вахмистров В.П., Вахмистрова С.И. Профессор русского права, диалектик неотразимого остроумия (штрихи к портрету Александра Владимировича Лохвицкого)	151

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Борисова В.А. Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных антипиренами	159
Шилов А.Г. Требования к макету экспериментальной универсальной установки пожаротушения с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом	171

Информационная справка. 181

Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере». 186

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 620.16

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ КОРПУСОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Юрьевич Андриюшкин;

Машхура Умаровна Рустамова.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.

Елена Николаевна Кадочникова✉.

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

✉ vf10@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние возникающих при изготовлении корпусов нефтегазового оборудования остаточных напряжений на их прочность и безопасность. Технологические операции механического обжима конических переходов, пробивки отверстий, приварки фланцев и штуцеров обуславливают возникновение значительных остаточных напряжений в корпусе. Проанализированы причины возникновения существенных остаточных напряжений на технологических операциях изготовления корпуса. Передача остаточных напряжений с предыдущей технологической операции на последующую операцию обусловлена технологической наследственностью. Повышение надежности и безопасности корпуса связано с уменьшением остаточных напряжений. Предложена методика расчета корпуса нефтегазового оборудования на внутреннее давление с учетом остаточных напряжений от технологических операций. Для определения величины остаточных напряжений в расчет введен коэффициент, показывающий их долю от предела текучести материала. В методике расчета учтено влияние на остаточные напряжения конструктивных элементов корпуса: отверстий, штуцеров, фланцев. Показано и оценено влияние расположения отверстий для приварки штуцеров и расстояния между ними на прочность корпуса. Рациональное расположение привариваемых штуцеров снижает остаточные напряжения в корпусе нефтегазового оборудования при его изготовлении. Снижение остаточных напряжений на технологических операциях изготовления корпуса и рациональное расположение конструктивных элементов корпуса обеспечивает повышение его прочности и безопасности.

Ключевые слова: остаточные напряжения, прочность, технологическая наследственность, технологические операции, корпус нефтегазового оборудования

Для цитирования: Андриюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность корпусов нефтегазового оборудования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 6–14.

EFFECT OF RESIDUAL STRESSES ON THE STRENGTH OF OIL AND GAS EQUIPMENT HOUSINGS

Aleksander Yu. Andryushkin; Mashchura U. Rustamova.

Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia.

E.N. Kadochnikova✉. **Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM**

of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ vf10@yandex.ru

Abstract. The article considers the influence of residual stresses arising during

the manufacture of oil and gas equipment housings on their strength and safety. Technological operations of mechanical crimping of conical junctions, punching holes, welding of flanges and fittings cause the occurrence of significant residual stresses in the housing. The reasons for the occurrence of significant residual stresses on the technological operations of manufacturing the housing are analyzed. The transfer of residual stresses from the previous technological operation to the subsequent operation is due to technological heredity. Increasing the reliability and safety of the housing is associated with a decrease in residual stresses. A method for calculating the casing of oil and gas equipment for internal pressure, taking into account residual stresses from technological operations, is proposed. To determine the magnitude of residual stresses, a coefficient was introduced into the calculation, showing their share of the yield strength of the material. The calculation method takes into account the effect on the residual stresses of the structural elements of the housing: holes, fittings, flanges. The influence of the location of the holes for welding fittings and the distance between them on the strength of the housing is shown and evaluated. The rational arrangement of welded fittings reduces residual stresses in the housing of oil and gas equipment during its manufacture. The reduction of residual stresses on the technological operations of manufacturing the housing and the rational arrangement of the structural elements of the housing provides an increase in its strength and safety.

Keywords: residual stresses, strength, technological heredity, technological operations, housing of oil and gas equipment

For citation: Andrushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N. Effect of residual stresses on the strength of oil and gas equipment housings // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 6–14.

Введение

Безаварийная работа находящихся под воздействием внутреннего давления корпусов агрегатов и узлов нефтегазового оборудования гарантирует безопасность технологического процесса транспортировки и переработки углеводородов. Снижение надежности корпусов нефтегазового оборудования во время эксплуатации обусловлено интенсивной коррозией, высокими значениями технологических параметров, таких как температура и давление. Эти факторы приводят к снижению прочности металла корпуса, возникновению и развитию дефектов. Появление сквозных дефектов в корпусе, в частности трещин, приводит к его разгерметизации и аварийной ситуации. Поэтому требуется повышение надежности (безотказности и долговечности) корпусов на стадиях проектирования и производства для обеспечения безопасности при эксплуатации агрегатов и узлов нефтегазового оборудования.

Повышение надежности корпуса обусловлено снижением остаточных (внутренних) напряжений в конструкции, определяемых параметрами технологического процесса на каждой операции его изготовления. Изменение величины остаточных напряжений в корпусе на различных этапах его изготовления является проявлением технологической наследственности и устанавливает прочность корпуса при его введении в эксплуатацию. Поэтому задача влияния остаточных напряжений, обусловленных технологией изготовления, на прочность корпуса актуальна [1–7].

Целью исследования является разработка методики расчета корпуса нефтегазового оборудования на внутреннее давление с учетом остаточных напряжений.

Задачи исследования:

1. Анализ технологических операций, обуславливающих существенные остаточные напряжения при изготовлении корпусов нефтегазового оборудования.
2. Оценка влияния остаточных напряжений с учетом расположения конструктивных элементов (отверстий, штуцеров, фланцев) на прочность корпуса нефтегазового оборудования.

Остаточные напряжения на технологических операциях изготовления корпуса нефтегазового оборудования

Корпуса нефтегазового оборудования чаще всего представляют собой обечайку большого диаметра с приваренными к ней штуцерами и патрубками меньшего диаметра. Рассмотрим цилиндрический корпус с коническими переходами, выполненными обжимом торцов трубы (рис. 1). Для монтажа смежного оборудования и трубопроводов на корпусе к радиусным переходам приварены фланцы, а к отверстиям в цилиндрическом корпусе – штуцера.

Технологический процесс изготовления корпуса содержит ряд операций, выполнение которых сопряжено с возникновением существенных остаточных напряжений. Необходимо отметить, что при переходе от предыдущей к последующей операции величина остаточных напряжений в корпусе может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Выполнение следующих технологических операций сопровождается возникновением значительных остаточных напряжений [8–13]:

- операция механического обжима трубной заготовки корпуса с двух сторон вдоль ее оси для формирования конусных переходов (рис. 1, участок 4);
- операция пробоя отверстий в цилиндрической части заготовки корпуса для последующей приварки штуцеров (рис. 1, участок 5 и 6);
- операция приварки фланцев к торцам конических переходов и штуцеров к отверстиям в цилиндрической части заготовки корпуса (рис. 1, участок 4, 5, 6).

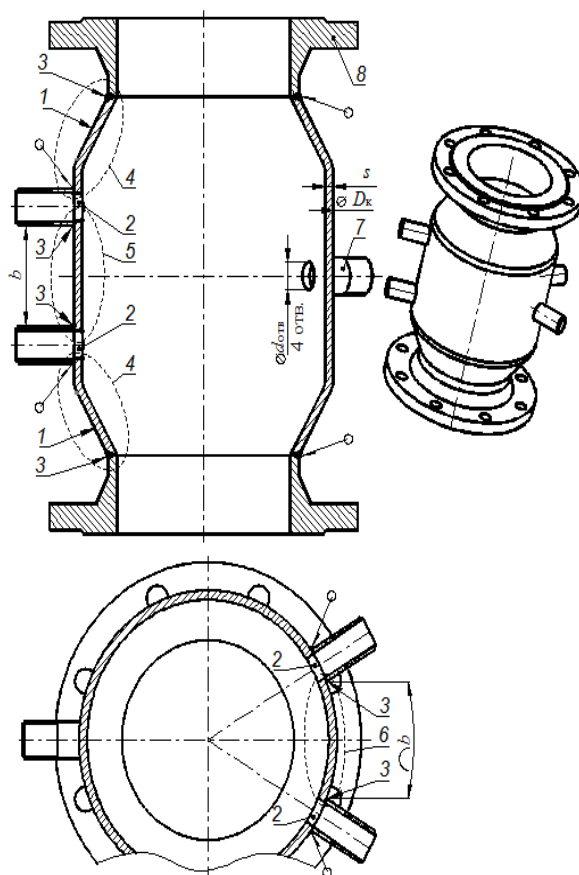


Рис. 1. Корпус: 1 – конический переход; 2 – отверстие под штуцер; 3 – сварные швы; 4, 5, 6 – участки корпуса с повышенными остаточными напряжениями; 7 – штуцер; 8 – фланец; D_k – диаметр корпуса; s – толщина стенки корпуса; $d_{отв}$ – диаметр отверстия под штуцер; b – расстояние между наружными поверхностями соседних штуцеров

Механический обжим трубной заготовки корпуса происходит за счет холодной пластической деформации. Обжим – операция формовки, предназначенная для уменьшения поперечных размеров краевой части трубной заготовки. Трубная заготовка формируется в полости криволинейной матрицы, ее поперечное сечение уменьшается в процессе обжима до необходимого диаметра и образуются конические переходы. Материал конусных переходов подвергается наклепу, который характеризуется увеличением прочности металла при одновременном уменьшении его пластичности.

При обжиме остаточные напряжения возникают в результате необратимых объемных изменений, их значения могут достигать предела текучести материала $\sigma_{ост} \leq \sigma_T$. Для уменьшения остаточных напряжений после технологической операции обжима применяют операцию средне- или высокотемпературного отпуска.

Пробой или прошивка отверстий в цилиндрической части заготовки корпуса сопровождается пластической деформацией окружающего отверстие металла и, соответственно, возникновением остаточных напряжений. Влияние операции прошивки ограничено зоной вокруг отверстия и приводит к изменению механических свойств металла. Пробой отверстия снижает пластичность металла и может приводить к образованию микротрещин.

Сильное воздействие на величину остаточных напряжений в корпусе оказывает приварка фланцев и штуцеров, так как сопровождается термическим воздействием на металл. Металл сварного шва и металл в зоне термического влияния по своим свойствам и структуре значительно отличаются от основного металла корпуса, что также обуславливает возникновение остаточных напряжений и снижение прочности.

На образующиеся при приварке штуцеров в зоне термического влияния остаточные напряжения могут накладываться значительные напряжения, вызванные концентрацией напряжений вокруг отверстий при нагружении корпуса внутренним давлением. Отверстие является концентратором напряжений, поэтому на краю отверстия наблюдается существенное увеличение напряжений. Максимальный коэффициент концентрации напряжения для отверстий $K_\sigma = 3$. Кроме того, расположенные достаточно близко друг от друга отверстия также влияют на величину остаточных напряжений в корпусе.

Необходимо отметить, что при изготовлении корпусов для снижения остаточных напряжений применяют термическую обработку – средне- или высокотемпературный отпуск. Однако термообработка корпусов больших габаритов затруднительна и сопровождается деформациями конструкции.

Таким образом, технологические операции обжима конических переходов, прошивки отверстий, приварки фланцев и штуцеров приводят к значительным остаточным напряжениям, обусловленным механическим и термическим воздействием на металл конструкции. Влияние остаточных напряжений необходимо учитывать при оценке прочности корпуса.

Расчет корпуса нефтегазового оборудования на внутреннее давление с учетом остаточных напряжений

Прочность корпуса можно оценить по ГОСТ Р 52857.3–2007. Данная оценка не учитывает технологической наследственности, так как не учтены остаточные напряжения от операций обжимки, пробоя отверстий и приварки фланцев и штуцеров. Поэтому результаты расчета должны быть скорректированы, однако методики оценки остаточных напряжений после этих технологических операций отсутствуют. Негативные последствия остаточных напряжений могут быть учтены при оценке минимальной допускаемой прочности материала корпуса.

Прочность корпуса минимальна в районе расположения отверстий под приварку штуцеров. Коэффициент понижения прочности в местах близкого расположения отверстий друг к другу рассчитывается по ГОСТ Р 52857.3–2007:

$$V_b = \frac{1}{K_3 \cdot \left(0,8 + \frac{d_{отв1} + d_{отв2}}{2 \cdot b} \right)},$$

где V_b – коэффициент понижения прочности; K_3 – коэффициент, учитывающий расположение штуцеров; $d_{отв1}$, $d_{отв2}$ – диаметры соседних отверстий для приварки штуцеров, мм; b – расстояние между наружными поверхностями двух соседних штуцеров, мм.

Коэффициент, учитывающий расположение штуцеров, для цилиндрических и конических обечаек, по ГОСТ Р 52857.3–2007:

$$K_3 = 0,5 \cdot (1 + \cos(\beta))^2,$$

где β – угол между линией, соединяющей центры двух соседних отверстий, и образующей корпуса (для участка 5: $\beta=0^\circ$; для участка 6: $\beta=90^\circ$ (рис. 1).

Допускаемая минимальная прочность материала корпуса с учетом остаточных напряжений рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{доп} = M_\sigma \cdot (1 - K_{уд} \cdot v_\sigma) - \sigma_{ост} = M_\sigma \cdot (1 - K_{уд} \cdot v_\sigma) - K_{ост} \cdot \sigma_T,$$

где $\sigma_{доп}$ – допускаемая минимальная прочность материала корпуса с учетом остаточных напряжений, МПа; M_σ – математическое ожидание прочности материала корпуса (среднее значение), МПа; $K_{уд}$ – коэффициент доверия (уровень доверия) по прочности материала корпуса; v_σ – коэффициент вариации прочности материала корпуса; $\sigma_{ост}$ – остаточные напряжения, действующие в материале корпуса, МПа; $K_{ост}$ – коэффициент, учитывающий действующие в корпусе остаточные напряжения, $K_{ост}=0-1$; σ_T – предел текучести для материала корпуса, МПа.

Величина остаточных напряжений обусловлена технологической наследственностью и зависит от конкретных режимов каждой операции технологического процесса. Остаточные напряжения не могут превысить значение предела текучести для конкретного материала. Поэтому для учета влияния остаточных напряжений при оценке прочности корпуса можно ввести коэффициент $K_{ост}=0-1$.

Допускаемое внутреннее давление в корпусе с учетом ослабленных участков 5 и 6 (рис. 1) можно рассчитать по выражению:

$$P_{допb} = \frac{V_b \cdot K_1 \cdot s \cdot \varphi \cdot \sigma_{доп}}{(D_k - 2 \cdot s) + s \cdot V_b}, \quad (1)$$

где s – толщина стенки корпуса, мм; K_1 – коэффициент (для конических и цилиндрических обечаек $K_1=1$); φ – коэффициент прочности сварного соединения ($\varphi \leq 1$); D_k – наружный диаметр корпуса, мм; $p_{допb}$ – допускаемое внутреннее давление в корпусе, МПа.

Оценим допускаемое внутреннее давление $p_{допb}$ в корпусе (рис. 1) по выражению (1) для различных расстояний между соседними штуцерами b для участка 5 $\beta=0^\circ$ и для участка 6 $\beta=90^\circ$. Все конструктивные элементы корпуса выполнены из стали 09Г2С, которая характеризуется хорошей свариваемостью. Примем следующие исходные данные: $D_k=219$ мм; $s=5$ мм; $\varphi=1$; $K_{уд}=3$; $K_{ост}=0,5$; $\sigma_T=340$ МПа; $v_\sigma=0,1$; $M_\sigma=490$ МПа; $d_{отв1}=d_{отв2}=60$ мм (рис. 2).

Результаты расчета показывают, что наиболее ослабленным участком корпуса (рис. 1) является участок 5, где для соседних штуцеров угол $\beta=0^\circ$. На участке 6 при $\beta=90^\circ$ допускаемое внутреннее давление в два раза больше, чем на участке 5. Увеличение расстояния между соседними штуцерами с 50 мм до 300 мм способствует повышению прочности корпуса в два раза.

Участки корпуса с высокими значениями остаточных напряжений необходимо укреплять, например, увеличивать толщину стенки за счет приварки накладок вокруг отверстий.

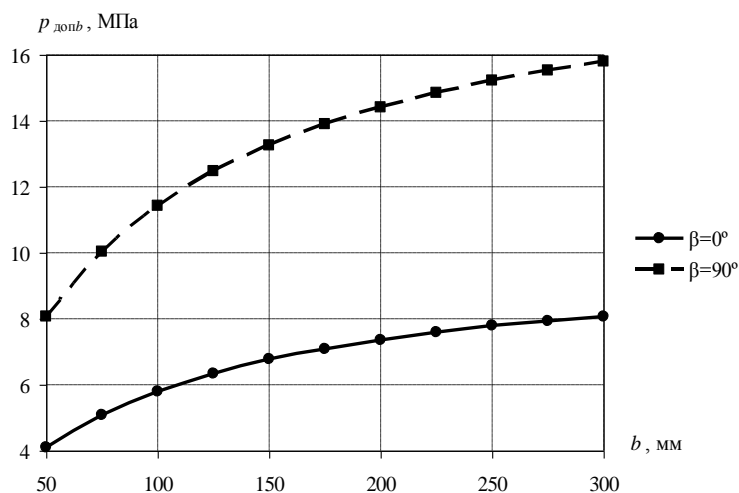


Рис. 2. Зависимость допустимого внутреннего давления в корпусе от расстояния между соседними штуцерами при $\beta=0^\circ$ и $\beta=90^\circ$

Таким образом, расположение отверстий для приварки штуцеров и расстояние между ними оказывают существенное влияние на прочность корпуса. Штуцера для присоединения оборудования и трубопроводов к корпусу желательно располагать в плоскостях, перпендикулярных оси корпуса.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведен анализ технологических операций, обуславливающих существенные остаточные напряжения при изготовлении корпусов нефтегазового оборудования. Анализ показал, что технологические операции обжима конических переходов, прошивки отверстий, приварки фланцев и штуцеров приводят к значительным остаточным напряжениям, обусловленным механическим и термическим воздействием на металл конструкции. Влияние остаточных напряжений необходимо учитывать при оценке прочности корпуса.

Дана оценка влияния остаточных напряжений с учетом расположения конструктивных элементов (отверстий, штуцеров, фланцев) на прочность корпуса нефтегазового оборудования. Проведенная оценка показала, что расположение отверстий для приварки штуцеров и расстояние между ними оказывают существенное влияние на прочность корпуса.

Цель исследования можно считать достигнутой – разработана методика расчета корпуса нефтегазового оборудования на внутреннее давление с учетом остаточных напряжений.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Обусловленные технологической наследственностью остаточные напряжения убавляют прочность корпуса нефтегазового оборудования и снижают безопасность при его эксплуатации.

2. Существенные остаточные напряжения в корпусах нефтегазового оборудования возникают при выполнении следующих технологических операций: механический обжим, пробой (прошивка) отверстий, сварка.

3. Расположение отверстий для приварки штуцеров и расстояние между ними оказывают существенное влияние на прочность корпуса.

Таким образом, снижение остаточных напряжений на технологических операциях изготовления корпуса и рациональное расположение конструктивных элементов корпуса обеспечивают повышение его прочности и безопасности.

Список источников

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36. Issue 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.
3. Etkin D.S., French McCay D., Horn M., Landquist H., Hassellöv I.Ì., Wolford A.J. Quantification of oil spill risk // *Oil Spill Science and Technology – Fingas M. (ed.)*. 2nd ed. Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.
5. Андрюшкин А.Ю., Моисеев Д.И., Кадочникова Е.Н. Повышение энергетической эффективности и безопасности тепловых сетей // *Науч.-аналит. журн. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России»*. 2021. № 4. С. 37–43.
6. Комарицина В.Н., Сухорукова Н.Н. Исследования механики деформаций и разрушений и некоторые вопросы обеспечения безопасности и надежности трубопроводов с учетом особенностей технологического процесса // *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2017. Т. 7. № 4. С. 116–119.
7. Зябиров Р.М., Веретин С.В., Афонин М.А. Анализ отказов и повышение надежности полевых магистральных трубопроводов // *Технология нефти и газа*. 2019. № 2 (121). С. 45–48.
8. Takezono Shigeo, Tao Katsumi, Inamura Eijiroh, Ozawa Yoshihiro. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading // *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series B* 00066(00645). 2000. Vol. 66. No 645. P. 1060–1067.
9. Загиров Н.Н., Рудницкий Э.А. Теория обработки металлов давлением. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 56 с.
10. Непершин Р.И. Теория и технологические аспекты процессов обработки металлов давлением. М.: МГТУ СТАНКИН, 2012. 183 с.
11. Кузнецов А.В., Шурайц А.Л. Влияние технологических дефектов на безопасность газовой запорной арматуры на примере цельносварных шаровых кранов // *Безопасность труда в промышленности*. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. № 10. С. 40–44.
12. Рязанов А.А., Чернышев А.В. Расчет на прочность элементов конструкций шаровых кранов пневмогидравлических систем // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2012. Спецвыпуск. С. 103–111.
13. Развитие подходов к оценке показателей конструктивной надежности участков магистральных газопроводов / В.М. Силкин [и др.] // *Вести газовой науки: науч.-техн. сб.* 2014. № 1 (17). С. 49–54.

References

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36. Issue 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.
3. Etkin D.S., French McCay D., Horn M., Landquist H., Hassellöv I.Ì., Wolford A.J. Quantification of oil spill risk // *Oil Spill Science and Technology – Fingas M. (ed.)*. 2nd ed. Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.

4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.
5. Andryushkin A.Yu., Moiseev D.I., Kadochnikova E.N. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti i bezopasnosti teplovyh setej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 37–43.
6. Komaricina V.N., Suhorukova N.N. Issledovaniya mekhaniki deformacij i razrushenij i nekotorye voprosy obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti truboprovodov s uchetom osobennostej tekhnologicheskogo processa // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. 2017. T. 7. № 4. S. 116–119.
7. Zyabirov R.M., Veretin S.V., Afonin M.A. Analiz otkazov i povyshenie nadezhnosti polevyh magistral'nyh truboprovodov // Tekhnologiya nefi i gaza. 2019. № 2 (121). S. 45–48.
8. Takezono Shigeo, Tao Katsumi, Inamura Eijiroh, Ozawa Yoshihiro. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series B 00066(00645). 2000. Vol. 66. No 645. P. 1060–1067.
9. Zagirov N.N., Rudnickij E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniem. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2011. 56 s.
10. Nepershin R.I. Teoriya i tekhnologicheskie aspekty processov obrabotki metallov davleniem. M.: MGTU STANKIN, 2012. 183 s.
11. Kuznecov A.V., Shurajc A.L. Vliyanie tekhnologicheskikh defektov na bezopasnost' gazovoj zapornoj armatury na primere cel'nosvarnyh sharovyh kranov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. M.: ZAO NTC PB, 2013. № 10. S. 40–44.
12. Ryazanov A.A., Chernyshev A.V. Raschet na prochnost' elementov konstrukcij sharovyh kranov pnevmogidravlicheskih sistem // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. 2012. Specvypusk. S. 103–111.
13. Razvitie podhodov k ocenke pokazatelej konstruktivnoj nadezhnosti uchastkov magistral'nyh gazoprovodov / V.M. Silkin [i dr.] // Vesti gazovoj nauki: nauch.-tekhn. sb. 2014. № 1 (17). S. 49–54.

Информация об авторах:

Александр Юрьевич Андриюшкин, заведующий кафедрой А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

Машхура Умаровна Рустамова, аспирант кафедры А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

Елена Николаевна Кадочникова, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

Information about the authors:

Alexander Yu. Andryushkin, head of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of D.F. Ustinov Baltic state technical university «VOENMEH» (190005, St. Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya, 1), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>

Mashkhura U. Rustamova, postgraduate student of D.F. Ustinov Baltic state technical university «VOENMEH» (190005, St. Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya, 1), department A2 «Technologies of structural materials and Production of rocket and space technology», <https://orcid.org/0000-0002-2513-3809>

Elena N. Kadochnikova, associate professor of the department of fire safety of technological processes and productions of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.01.2022; одобрена после рецензирования: 15.02.2022; принята к публикации: 15.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 26.01.2022; approved after review: 15.02.2022; accepted for publication: 15.02.2022

УДК 614.842.8:629.12+627.2

К ВОПРОСУ ТУШЕНИЯ СУДОВ В ПОРТАХ

Николай Николаевич Копейкин✉.

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

✉knns1@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблемным вопросам и особенностям тушения пожаров на судах, находящихся в портах, на примере наливных судов. Приводятся примеры тушения крупных пожаров с участием пожарно-спасательных судов. Из проведенного анализа статистических данных следует, что пожары на наливных судах, несмотря на относительно небольшое их количество, весьма опасны для людей, сложны для тушения и приносят значительный материальный ущерб. Научная новизна проведенного исследования заключается в постановке и необходимости решения проблемы оснащения портового пожарно-спасательного флота современными судами, способными решать непростые задачи пожаротушения и спасения людей, в том числе и на наливных судах. Рассматривается вопрос разработки актуальной нормативной документации применительно к пожарно-спасательным судам.

Ключевые слова: анализ информации, тушение пожаров, тушение на судах, тушение в портах, спасательные суда, пожарные суда

Для цитирования: Копейкин Н.Н. К вопросу тушения судов в портах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 15–21.

TO THE QUESTION OF EXTINGUISHING VESSELS IN PORTS

Nikolay N. Kopeykin✉.

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

✉knns1@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the problematic issues and features of extinguishing fires on ships in ports, using the example of tankers. Examples of extinguishing large fires with the participation of fire and rescue ships are given. According to the statistical data obtained as a result of the study, it follows that fires on tankers, despite their relatively small number, are very dangerous for people, difficult to extinguish and cause significant material damage. The scientific novelty of the study lies in the formulation and the need to solve the problem of equipping the port fire and rescue fleet with modern vessels capable of solving the difficult tasks of fire fighting and rescuing people, including tankers. The issue of developing up-to-date regulatory documentation in relation to fire and rescue ships is considered.

Keywords: information analysis, extinguishing fires, extinguishing on ships, extinguishing in ports, rescue ships, fire ships

For citation: Kopeykin N.N. To the question of extinguishing vessels in ports // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 15–21.

Введение

Одним из основных видов деятельности МЧС России является обеспечение безопасности людей на водных объектах [1, 2].

В настоящее время обеспечение безопасности перевозок наливных грузов является актуальной задачей, так «при сравнении структуры мирового и российского морского флота на начало текущего года можно отметить следующее: для Российской Федерации характерен

значительный перевес в сторону танкеров, тогда как в мировом масштабе наблюдается преобладание балкерного флота (флот для перевозки наливных грузов занимает второе место)» [3].

Серьезная опасность для портов возникает при пожаре на судне, обрабатываемом у причала. Поэтому принимаются экстренные меры по ликвидации такого пожара или удаления судна в безопасное место акватории. Так, при взрывах танкеров судовые конструкции разлетаются по порту на большие расстояния и могут инициировать пожары на территории.

Характерные особенности развития пожаров на судах в различных помещениях ранее подробно рассмотрены в работе [2], по результатам анализа Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России были разработаны «Рекомендации для подразделений ФПС МЧС России по тушению пожаров на наземных береговых сооружениях портов и судах, находящихся у причалов и пристаней морских портов и на внутренних водных путях» [4].

Целью данной работы являлся анализ характерных особенностей развития пожаров на наливных судах. Основная научная задача, которая при этом решалась – обоснование подходов к разработке технических требований и соответствующей нормативной документации к пожарно-спасательным судам.

Методы исследования

Методом исследования является анализ статистики и проблемных вопросов тушения пожаров на наливных судах, представленный в современных литературных источниках и научно-исследовательских работах.

Результаты

Рассмотрим пожары на наливных судах с участием пожарно-спасательных судов (краткая выборка с тяжелыми последствиями для портов).

1. Взрыв и пожар на танкере «Хакье Мару» в порту Генуя (Италия) [5].

12 июля 1981 г. у причала в порту Генуя был закончен слив сырой нефти с японского танкера «Хакье Мару» (дедвейт 102 000 т). От удара молнии произошел взрыв в двух центральных танках и пожар, охвативший пролитые на воду нефтепродукты. Взрывом отдельные конструкции танкера выброшены на сотни метров. Осколками разрушен нефтепровод с сырой нефтью, которая также воспламенилась. В радиусе 300 м взрывной волной выбиты стекла витрин и окон. Огонь распространился на стоящие рядом танкеры «Индастриал просперити» (Сингапур) и «Анте Банина» (Югославия).

Суда и причал получили серьезные повреждения. Погибли 7 чел. Пожар тушили пожарные подразделения с участием пожарного катера и вертолета.

2. Взрыв и пожар на советском танкере «Людвик Свобода» в порту Вентспилс (СССР) [6, 7].

6 марта 1985 г. на танкере «Людвик Свобода» (водоизмещение 21 951 т), стоящий у пирса, в 16.30 начался прием дизельного топлива из берегового трубопровода. В 16.35 в грузовых танках произошла серия взрывов, разрушивших грузовые танки и системы пенного и водяного пожаротушения. Пожар распространился на надстройку, причал и растекающееся по воде топливо. Носовая часть днища танкера опустилась на грунт у пирса. Экипаж срочно покинул судно.

Ни экипажем на танкере, ни персоналом, обслуживающим пирс, мер по тушению пожара не предпринималось. Разлетавшимися под воздействием взрывов частями конструкций танкера на пирсе повреждены трубопроводы. Взрывной волной разрушено остекление у части зданий и отмечено их повреждение в радиусе до 3,5 км.

Пожар потушен береговыми пожарными подразделениями и судами-спасателями через 3,5 ч. 4 чел. погибли, 6 чел. получили травмы.

3. Взрыв и пожар на германском танкере «Тур Nr. III» в порту Nordhafen (ФРГ) [8].

30 июня 1990 г. танкер грузоподъемностью 2 500 т находился у причала порта Nordhafen, где происходила выгрузка бензина в береговые резервуары. Танкер доставил в порт 2 014 т бензина. Когда 1 664 т груза были перекачаны в береговые резервуары, из-за дефекта в оборудовании танкера возник пожар, а затем взрыв в средней части судна. В результате взрыва судно разломилось. Носовая и средняя часть судна затонули. Верхняя часть кормовой надстройки осталась над водой. Примерно 50 м² палубы было разрушено взрывом и ее части выброшены на берег и пирс. Всего в тушении пожара задействовано 142 пожарных, 42 пожарных автомобиля и 4 пожарных катера. Кроме того, к ликвидации инцидента привлекались 4 врача и 14 спасателей.

2 члена экипажа получили ожоги. Еще 2 члена экипажа бросились с борта танкера в воду и вплавь добрались до берега.

4. Взрыв и пожар на российском танкере «Виктория» у эстакады нефтебазы г. Октябрьск (Россия) [9, 10].

30 августа 2003 г. возник пожар на танкере смешанного «река-море» плавания «Виктория» (проект Р-77), находящемся под загрузкой у нефтеналивной эстакады нефтебазы «Ортини» волжского г. Октябрьска. К моменту начала пожара на танкер погружено 2 000 т сырой нефти. Около 01.00 произошел взрыв в насосном отделении и начался пожар в машинно-котельном отделении. Огонь быстро распространился по кормовой надстройке. Экипаж аварийного судна эвакуировался на берег. Погиб 1 матрос. Огонь перешел на пирс. Пожар охватил и кормовые грузовые танки. В районе нефтебазы к концу дня были сосредоточены более 190 пожарных, 28 автоцистерн и 13 единиц специальной техники, а также пожарный поезд и два катера, к которым 31 августа присоединился пожарный катер «Сторожевой» из г. Саратова. На подавление огня одновременно могли работать до 6 генераторов пены средней кратности ГПС-600. Их использовали в 7 пенных атаках. На охлаждение конструкций задействовано несколько передвижных лафетных стволов с пирса и лафетные стволы пожарных катеров. Утром 1 сентября обстановка стабилизировалась. Распространение горения ограничивалось мощными водяными струями от 4 лафетных стволов пожарных катеров и 2 переносных лафетных стволов с пирса. В такой обстановке принято решение – ликвидировать горение последних очагов. Через несколько минут саратовский катер «Сторожевой» своим пенным стволом полностью потушил горение на воде. Корпус к этому времени был достаточно охлажден. Пожар продолжался более двух суток (56 ч). В ликвидации пожара участвовали 430 сотрудников Государственной противопожарной службы (ГПС), 40 пожарных автомобилей, 2 пожарных поезда, 4 пожарных катера и несколько вспомогательных судов.

1 матрос погиб, 2 пожарных получили травмы. Танкер разрушен пожаром. Из 8 грузовых танков неповрежденными остались 4 с 700 м³ нефти.

Сравнительный анализ пожаров

Анализ пожаров на танкерах позволяет констатировать, что в описаниях, как правило, не приводятся данные по тактическим действиям пожарных подразделений, временным параметрам развития и тушения пожаров, организации управления силами и средствами пожаротушения, прибывающими к месту инцидента [2, 11].

Распределение пожаров и взрывов по помещениям наливных судов приведено в таблице.

При нахождении наливных судов у причалов примерно в два раза увеличивается вероятность взрывов и пожаров в грузовых танках и грузовых насосных отделениях по сравнению со среднестатистическими данными по мировому танкерному флоту [11]. Это объясняется высокой пожарной опасностью грузовых операций, зачистки грузовых танков от остатков наливных грузов и текущих ремонтных работ, обычно выполняемых на танкерах в порту. Пожары в танках возникают в результате столкновений судов, навалов судов на береговые сооружения, нарушений режимов проведения грузовых работ, нарушений правил

противопожарной безопасности при ремонтных работах, ударов молний, разрядов статического электричества и ряда других причин [2].

Таблица. Распределение пожаров и взрывов по помещениям наливных судов [11, 12]

Место нахождения судна	Количество пожаров и взрывов, абсолютное (относительное)				
	Всего в выборке	из них в:			
		грузовых танках	машинных помещениях	грузовых насосных отделениях	прочих помещениях
у причала *	70** (100 %)	34 (49 %)	20 (29 %)	7 (10 %)	9 (13 %)
в мировом танкерном флоте*** [12]	378 (100 %)	100 (27 %)	168 (44 %)	18 (5 %)	92 (24 %)

Примечание: * – за период 1974–2003 гг.; ** – по 2 наливных судна вовлечено в 6 инцидентов; *** – за период 1978–1991 гг.

Научно обоснованные выводы об актуальных проблемах в этой области и обоснование подходов для их решения

1. Большинство пожаров в портах начинаются на судах, находящихся у причалов. При этом требуется быстрое сосредоточение сил и средств подразделений ГПС, достаточных для предотвращения распространения огня на расположенные в порту суда и соседние портовые объекты.

2. Результаты проведенного исследования [2] показали, что при нахождении аварийных танкеров у причала экипажи неэффективно используют имеющиеся на борту средства пожаротушения для ликвидации возникшего пожара. Самостоятельно экипажи ликвидировали пожары судовыми средствами только в 7 % инцидентов, представленных в выборке, еще в 7 % – экипажи покинули аварийный танкер, не использовав судовые средства пожаротушения, а в 8 % экипажи (полностью или частично) стали жертвами пожара, не успев покинуть аварийный танкер. В целом экипажи аварийных наливных судов в той или иной степени участвовали в тушении пожаров на своем судне только в 33 % инцидентов. Следовательно, в основном тяжесть борьбы с пожарами на наливных судах у причалов ложится на береговые пожарные подразделения. В зависимости от сложности пожара к тушению привлекаются дополнительные силы и средства гарнизонов пожарной охраны, расположенных вблизи места инцидента.

3. Пожарно-технические средства, имеющиеся на вооружении портовых пожарных команд, не могут обеспечить эффективное тушение пожаров при современных грузооборотах, площадях складских помещений и открытых площадок для хранения грузов, обрабатываемых в портах судах.

4. При решении задач по тушению пожаров на судах в порту значимую роль играют ведомственные спасательные и пожарные суда [13–16].

Согласно данным [15, 16] классификация пожарных судов осуществляется на комбинированные и специализированные согласно их автономности, зоне обслуживания и перечню решаемых задач. Так, специализированные пожарные суда работают, как правило, в ограниченном районе плавания, их используют в портовых и рейдовых водах для оказания быстрой помощи судам, терпящим бедствие, тушения хранилищ легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, портовых сооружений. Для проведения аварийно-спасательных работ и тушения пожаров в открытом море применяют комбинированные суда, оснащенные

многофункциональными устройствами по оказанию технической помощи и проведению мероприятий по спасению людей.

Можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствует специальная нормативная база, определяющая общие принципы проектирования, строительства и эксплуатации спасательных и пожарных судов. Поэтому необходима дополнительная проработка этого вопроса.

Рекомендации по внедрению

Одной из проблем, требующих решения, представляется осуществление строительства современных пожарных и спасательных судов, отвечающих сегодняшним требованиям.

Заключение

Из проведенного анализа статистических данных следует, что пожары на наливных судах, несмотря на относительно небольшое их количество, весьма опасны для людей, сложны для тушения и приносят значительный прямой и косвенный материальный ущерб.

Научная новизна проведенного исследования заключается в постановке и необходимости решения проблемы оснащения портового пожарно-спасательного флота современными судами, способными решать непростые задачи пожаротушения и спасения людей, в том числе и на наливных судах.

В решении этой проблемы принимает участие Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, так в 2012–2020 гг. в университете была осуществлена разработка проекта «Правил классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности спасательных судов МЧС России», в настоящее время ведется работа совместно с Научно-исследовательским институтом противопожарной обороны МЧС России по разработке ГОСТ Р «Техника пожарная. Пожарные суда. Общие технические требования. Методы испытаний».

Применение этих нормативно-технических документов на практике позволит обеспечить унифицированность изготовления спасательных и пожарных судов для различных районов их эксплуатации, что должно способствовать повышению эффективности пожаротушения, в том числе наливных судов, находящихся в портах.

Список источников

1. On the improvement of control and supervisory activities of the state inspectorate for small vessels of the Russian Ministry for emergency situations / N.N. Kopeykin [et al.] // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) – Scopus Indexed. 2018. 9 (12). pp. 93–104.
2. Шарапов С.В., Крутолапов А.С., Копейкин Н.Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.
3. Буянов С. Есть место для маневра // Информ.-аналит. морск. журн. «Вести морского Петербурга». 2019. № 3. С. 16–18.
4. Решение вопросов пожарной безопасности морских портов в рамках концепции по совершенствованию соответствующей нормативно-правовой базы / В.А. Андреев [и др.] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2010. № 4. С. 16–21.
5. Esplosione di una petroliera nel porto di Genova // Antincendio. 1981. Vol. 33. No. 11. P. 56–58, 60–61, 64, 66.
6. Грицай П. Подъем танкера «Людвик Свобода». М.: В/О «Мортехинформреклама», 1987. 20 с.
7. Взрывы и пожар 06.03.1985 г. на танкере «Людвик Свобода» // Известия. 1985. 31 марта.
8. Stähle H., Holtermann L. Erforderliche Brandbekämpfung im Nordhafen // Brand-schutz. 1990. Heft 44. Nr. 12. S. 717–721.
9. Смирнов Н. Танкер в огне // Пожарное дело. 2003. № 11. С. 4–7.

10. Федулов В. Послесловие к экологическому бедствию // Водный транспорт. 2003. № 9-10. С. 13.
11. Составление аналитического обзора на основе литературных данных и нормативной базы по тушению пожаров на судах, находящихся у причалов и пристаней морских портов и на внутренних водных путях: приложение к акту сдачи-приемки этапа № 2 НИР П.СП.Д.07.2004 / рук. Б.В. Потанин. СПб.: СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России. 36 с.
12. Типичные аварийные случаи с судами нефтеналивного флота. СПб.: ЦНИИМФ, 1994. 90 с.
13. Башаричев А.В., Скрипник И.Л. Становление аварийно-спасательных судов для тушения пожаров // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций: материалы XI Всеросс. науч.-практ. конф. СПбУ ГПС МЧС России. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. С. 317–321.
14. Копейкин Н.Н., Мельник А.А., Агеев П.М. Разработка правил надзора за спасательными судами МЧС России в части обеспечения эксплуатационной безопасности механических установок // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 83–88.
15. Пожарные корабли (катера). Устройство, назначение, применение: учеб. пособие / А.В. Башаричев [и др.]; под ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014. 272 с.
16. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б. Реализация государственной программы обновления аварийно-спасательного флота Российской Федерации на отечественных верфях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 3 (43). С. 123–129.

References

1. On the improvement of control and supervisory activities of the state inspectorate for small vessels of the Russian Ministry for emergency situations / N.N. Kopeykin [et al.] // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) – Scopus Indexed. 2018. 9 (12). pp. 93–104.
2. Sharapov S.V., Krutolapov A.S., Kopejkin N.N. Analiz informacii o pozharah na sudah i o praktike ih tusheniya v portah // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 1. S. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.
3. Buyanov S. Est' mesto dlya manevra // Inform.-analit. morsk. zhurn. «Vesti morskogo Peterburga». 2019. № 3. S. 16–18.
4. Reshenie voprosov pozharnoj bezopasnosti morskikh portov v ramkah koncepcii po sovershenstvovaniyu sootvetstvuyushchej normativno-pravovoj bazy / V.A. Andreev [i dr.] // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2010. № 4. S. 16–21.
5. Esplosione di una petroliera nel porto di Genova // Antincendio. 1981. Vol. 33. No. 11. P. 56–58, 60–61, 64, 66.
6. Gricaj P. Pod"em tankera «Lyudvik Svoboda». M.: V/O «Mortekhinformreklama», 1987. 20 s.
7. Vzryvy i pozhar 06.03.1985 g. na tankere «Lyudvik Svoboda» // Izvestiya. 1985. 31 marta.
8. Stähle H., Holtermann L. Erforderliche Brandbekämpfung im Nordhafen // Brand-schutz. 1990. Heft 44. Nr. 12. S. 717–721.
9. Smirnov N. Tanker v ogne // Pozharnoe delo. 2003. № 11. S. 4–7.
10. Fedulov V. Posleslovie k ekologicheskomu bedstviyu // Vodnyj transport. 2003. № 9-10. S. 13.
11. Sostavlenie analiticheskogo obzora na osnove literaturnyh dannyh i normativnoj bazy po tusheniyu pozharov na sudah, nahodyashchihsya u prichalov i pristanej morskikh portov i na vnutrennih vodnyh putyah: prilozhenie k aktu sdachi-priemki etapa № 2 NIR P.SP.D.07.2004 (ruk. B.V. Potanin). SPb.: SPbF FGU VNIPO MCHS Rossii, 36 s.
12. Tipichnye avarijnye sluchai s sudami neftenalivnogo flota. SPb.: CNIIMF, 1994. 90 s.
13. Basharichev A.V., Skripnik I.L. Stanovlenie avarijno-spasatel'nyh sudov dlya tusheniya pozharov // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Sovremennye metody i tekhnologii preduprezhdeniya i profilaktiki vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij: materialy XI

Vseross. nauch.-prakt. konf. SPbU GPS MCHS Rossii. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. S. 317–321.

14. Kopejkin N.N., Mel'nik A.A., Ageev P.M. Razrabotka pravil nadzora za spasatel'nymi sudami MCHS Rossii v chasti obespecheniya ekspluatacionnoj bezopasnosti mekhanicheskikh ustanovok // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 2 (58). 2021. S. 83–88.

15. Pozharnye korabli (katera). Ustrojstvo, naznachenie, primenenie: ucheb. posobie / A.V. Basharichev [i dr.]; pod red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2014. 272 s.

16. Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B. Realizaciya gosudarstvennoj programmy obnovleniya avarijno-spasatel'nogo flota Rossijskoj Federacii na otechestvennyh verfyah // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2017. № 3. S. 123–129.

Информация об авторах:

Николай Николаевич Копейкин, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: knns1@mail.ru

Information about the authors:

Nikolay N. Kopeykin, senior researcher at the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: knns1@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.11.2021; одобрена после рецензирования: 11.02.2022; принята к публикации: 14.02.2022.

Information about the article: The article was submitted to the editorial office: 16.11.2021; approved after review: 11.02.2022; accepted for publication: 14.02.2022.

УДК 614.841

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ

Ольга Владимировна Ударцева.✉

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

✉ oblad@mail.ru

Аннотация. Анализ причин и характера аварий в нефтегазовой отрасли показал, что в 45 % случаев из всех взрываются сжиженные углеводороды в системах хранения нефти. С целью определения эксплуатационных причин возникновения пожароопасных ситуаций на предприятиях нефтегазодобычи исследованы технические параметры работы резервуаров вертикальных стальных. Выявлены сопровождающиеся повышением давления в системе процессы, приводящие к образованию зон взрывоопасных концентраций. Предложены подходы к снижению вероятности возникновения взрывоопасной ситуации в зоне расположения резервуаров. Подтвержден расчетами геометрический объем взрывоопасной зоны в радиусе расположения резервуаров, обоснована необходимость оборудования резервуарного парка газоуравнительной системой.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасность, резервуарный парк, газоуравнительная система

Для цитирования: Ударцева О.В. Снижение вероятности формирования пожаровзрывоопасной смеси в зоне резервуарных парков хранения нефти // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 22–27.

REDUCTION OF THE PROBABILITY OF FORMATION OF A FIRE- EXPLOSIVE MIXTURE IN THE AREA OF OIL STORAGE TANK FARMS

Olga V. Udartseva✉. Tyumen industrial university, Tyumen, Russia

✉ oblad@mail.ru

Abstract. Analysis of the causes and nature of accidents in the oil and gas industry showed that in 45 % of all cases, liquefied hydrocarbons explode in oil storage systems. In order to determine the operational causes of fire-hazardous situations at oil and gas production enterprises, the technical parameters of the vertical steel tanks operation were investigated. Processes accompanied by an increase in pressure in the system leading to the formation of zones of explosive concentrations have been identified. Approaches to reducing the probability of an explosive situation in the area of the location of tanks are proposed. The geometric volume of the explosive zone in the radius of the tank location is confirmed by calculations, the necessity of equipping the tank farm with a gas equalization system is justified.

Keywords: fire and explosion hazard, tank farm, gas equalization system

For citation: Udartseva O.V. Reduction of the probability of formation of a fire-explosive mixture in the area of oil storage tank farms // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 22–27.

Введение

Нефтегазовые предприятия являются стратегическим ресурсом страны и мира. Сегодня в России функционирует около 76 нефтеперерабатывающих заводов, 32 из которых – крупные. Мощность по первичной переработке нефти составляет 300 млн т. Роль данных предприятий для развития экономики России не вызывает сомнения, но возникает угроза аварийных

ситуаций при их эксплуатации. Предлагаемые современные системы хранения нефти в виде использования полимерных эластичных резервуаров направлены на снижение эксплуатационных затрат, но проблема безопасной эксплуатации системы хранения нефтепродуктов остается открытой.

По данным Ростехнадзора, на предприятиях нефтегазовой отрасли аварии, как правило, связаны с разгерметизацией технологического оборудования, проливом и выбросом взрывоопасных веществ. Максимальный ущерб наблюдается при взрыве. Поражающими факторами взрыва являются ударная и тепловая волны с последующим разрушением близлежащих зданий и возгоранием.

Вопросами повышения техногенной безопасности систем хранения нефтепродуктов занимались российские ученые – В.А. Акимов, Г.Х. Самигуллин, Н.А. Махутов и др., вопросы последствий взрывов на нефтегазовых предприятиях рассмотрены в трудах зарубежных исследователей – Р.С. Blokker, J.A. Fay, что актуализирует тему данной публикации [1–6].

Цель исследования – анализ технических причин формирования взрывоопасных смесей в процессе хранения нефти и определение области применения газоуравнительной системы для снижения вероятности наступления аварийной ситуации.

Для реализации цели определены следующие **задачи**:

- проанализировать технические причины возникновения аварийных ситуаций на объектах хранения нефтепродуктов;
- определить геометрический объем взрывоопасной зоны в радиусе расположения резервуаров;
- обосновать необходимость оборудования резервуарного парка газоуравнительной системой.

Основная часть

Сравнительный анализ процентного соотношения причин аварий на предприятиях данной отрасли показал, что взрыв является основной причиной и составляет 35 %, от анализируемых случаев, рис. 1 [1, 2, 7–9].

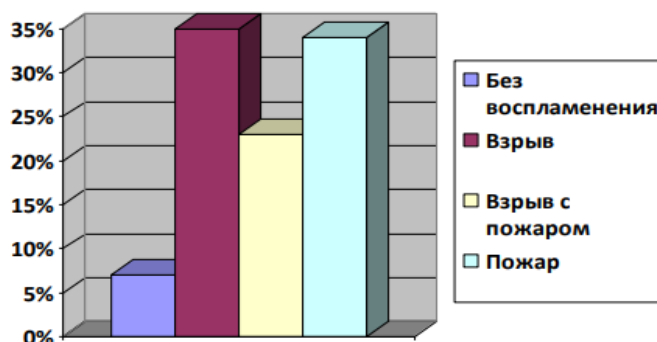


Рис. 1. Процентное соотношение причин аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли

По предполагаемым последствиям взрывы обладают большей разрушительной силой с последующим максимальным ущербом в связи с выходом из строя автоматических систем пожаротушения.

Опасность образования ситуации «взрыв и его последствия» обусловлена следующими обстоятельствами.

Технологический процесс хранения нефтепродуктов сопровождается формированием большого объема углеводородов, который создает сотни тонн давления в несколько раз больше атмосферного. Существенную роль в формировании взрывоопасной ситуации играют выбросы паров нефтепродуктов из дыхательных систем резервуаров, которые, в свою очередь, делятся на «малое» и «большое» дыхание.

«Малое» дыхание обусловлено суточным колебанием температур, способствующим уменьшению или увеличению давления в системе. «Большое» дыхание возможно при опорожнении или наполнении емкости. Процесс опорожнения резервуаров вертикальных стальных (РВС) сопровождается поступлением воздуха, что способствует формированию взрывоопасной смеси. При наполнении – внутреннее газовое пространство вытесняется через дыхательную арматуру, формируя зоны опасных к взрыву концентраций. Пожаровзрывоопасная смесь создается в результате «большого» дыхания, по объему превосходящее смесь при «малом» [3, 10–13]. Наиболее опасная ситуация возникает при инверсионном состоянии атмосферы в ночное и утреннее время, когда скорость ветра минимальна.

Возникает необходимость оценки риска развития чрезвычайной ситуации, связанной с образованием пожаровзрывоопасных концентраций, путем расчета количества горючих веществ, условно поступающих в атмосферу при «большом» дыхании [13, 14].

Расчет геометрического объема взрывоопасной зоны в радиусе расположения резервуаров

Расчет проводим по основному веществу – нефти. Группа резервуаров с нефтью находится в обваловании размером 80×80 м ($S = 6400$ м²), $V = 5000$ л, $d = 22,804$ м, $h = 12,345$ м, $\varepsilon = 0,8$.

Количество горючих паров, формируемых при «большом» дыхании резервуара объемом 5000 м³ составляет:

$$\tau = K \cdot \frac{V}{q} \cdot \ln \frac{\varphi_{нач}}{\varphi_{кон}}, \text{ кг/цикл,}$$

где K – коэффициент летучести жидкости – 10; $V_1 - V_2$ – объем жидкости, при $\varepsilon = 0,8$; $V_1 - V_2 = \varepsilon V_{p-pa} = 0,8 \cdot 5000 = 4000$ м³; $P_p = 105$ Па; T_p – температура среды, $T_p = 273 + 19 = 292$ К; φ_s – объемная доля насыщенных паров при T_p составляет:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p},$$

где P_s – давление насыщенного пара нефти при $T_p = 292$ К; $P_{раб}$ – рабочее давление системы – $P_{раб} = P_{бар} = 105$ Па.

P_s определяем по уравнению Антуана:

$$P_s = 133,332 \cdot 10^{\frac{A - \frac{B}{T_p + C_a}}{M}}, \text{ Па,}$$

где значение констант определяем по бензину: $A = 93 = 4,12311$; $B = 664,976$; $C_a = 221,695$.

$$P_s = 133,332 \cdot 10^{\frac{5,0702 - \frac{682876}{20 + 222,066}}{90}} = 25800, \text{ Па}; \varphi_s = 25800 / 100000 = 0,258 \text{ объем. доли;}$$

$M = 90$ кг/к моль – молекулярная масса нефти по летучим фракциям.

Количество горючих паров при заполнении:

$$G_{\sigma} = 4500 \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{293} \cdot 0,258 \cdot \frac{90}{8314,31} = 4289,25 \text{ кг/цикл.}$$

Объем горючих паров нефти взрывоопасной концентрации в радиусе РВС-5000:

$$V_{взр.} = G_{\sigma} / \varphi_{нппр},$$

где $G_{\sigma} = 4289,25$ кг/цикл – количество горючих паров одного газового цикла.

Показатель $\varphi_{\text{нппр}}$, согласно ГОСТ 12.1.044–89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» рассчитывается:

$$\varphi_{\text{нппр}} = (M_{\text{нппр}}) / V_t, \text{ кг/м}^3;$$

$$V_t = V_0 \cdot \frac{T_p}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P_{\text{общ}}}, \text{ м}^3,$$

где $V_0=22,41 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ – молярный объем паров нефти при нормальных условиях; $T_p=292 \text{ К}$ – рабочая температура нефти в резервуаре; $T_0=273 \text{ К}$ – температура при нормальных физических условиях; $P_0=P_{\text{раб.}}=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, отсюда $P_0/P_{\text{раб.}}=1$; $V_t=22,41 \cdot 293/273=24 \text{ м}^3/\text{кмоль}$.

$$\varphi_{\text{нппр}} = \frac{90 \cdot 0,08}{24} = 0,03, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Геометрический объем взрывоопасной зоны в радиусе расположения резервуара составляет:

$$V_v = 4289,25 / 0,03 = 14297,5 \text{ м}^3.$$

На основании проведенных расчетов можно предположить, что при исключении движения воздушных масс на территории резервуарного парка, с учетом степени заполнения нефтью, возникает вероятность формирования газового облака $V = 14297,5 \text{ м}^3$, что создает угрозу возникновения пожаровзрывоопасной ситуации.

Выброс горючих паров из РВС формирует и экологическую проблему, также данный процесс экономически невыгоден.

Предложение по снижению вероятности возникновения пожаровзрывоопасной ситуации

Возникает необходимость разработки предложения по уменьшению вероятности формирования аварийной ситуации. В качестве рекомендации рассмотрена газоуравнительная система, используемая для улавливания паров нефтепродуктов и снижения пожаровзрывоопасных концентраций внутри и снаружи РВС [5, 6, 14] (рис. 2).

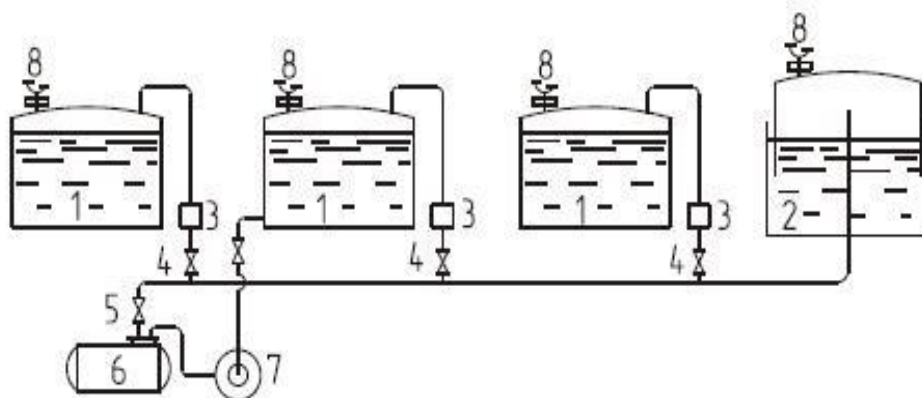


Рис. 2. Схема газоуравнительной системы резервуарного парка

На рис. 2 предложена схема газоуравнительной системы резервуарного парка и алгоритм ее работы. Выход паровоздушной смеси с продуктом 1 осуществляется в резервуар с плавающей крышей 2. С целью повышения безопасности, система оборудована

огнегасителями 3, запорной арматурой 4, устройством отвода конденсата 5, его сборником 6 и насосом 7 для откачки.

Принцип действия газоуравнительной системы заключается в циркуляции паровоздушной смеси по замкнутому контуру, что снижает вероятность выброса взрывоопасных паров нефтепродуктов в атмосферу, а также способствует снижению экономических потерь при перекачках нефтепродуктов.

Заключение

Проведенное исследование причин возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на объектах хранения нефтепродуктов в качестве основных выделило технические параметры работы РВС в части выбросов паров нефтепродуктов из дыхательных систем. Для снижения вероятности формирования взрывоопасной ситуации в радиусе расположения РВС предложено использование газоуравнительной системы.

Данные технические решения для повышения пожаровзрывобезопасности резервуарного парка позволяют предотвратить разрушительное действие ударной волны на соседние резервуары и существенно снизить загрязнения окружающей природной среды при горении нефти.

Список источников

1. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2016. С. 144.
2. Самигуллин Г.Х., Кадочникова Е.Н., Тепляков Д.Э. Проблемы обеспечения пожарной безопасности на резервуарах и резервуарных парках / сост. Т.В. Мусиенко [и др.] // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2020. С. 12–15.
3. Анализ рисков в обеспечение защищенности критически важных объектов нефтегазового комплекса / Н.А. Махутов [и др.]. Тюмень: ТИУ, 2019. С. 539.
4. Blokker P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water // Proc. 4-th Intern. Hardour Congress. Verslagboek. Antwerp. (The Netherlands). 2020. Pp. 911–919.
5. Olas Beata. Carbon monoxide is not always a poison gas for human organism: Physiological and pharmacological features of CO // Chemico-Biological Interactions. 2019.
6. Fay J.A. The spread of oil slicks on a calm sea. Oil on the sea. New-York: Plenum Press, 2019. Pp. 53–63.
7. Воронин С.В., Скрипник И.Л., Кадочникова Е.Н. Анализ снижения пожарной опасности резервуарных парков // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 4 (48). С. 15–20.
8. Булавинцева А.Д., Мазуркин П.М. Динамика аварий по причиненному ущербу на линейной части магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть» // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 4. С. 64–67.
9. Васильев А.О., Шеманин В.Г., Чартий П.В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов // Безопасность в техносфере. 2017. № 5. С. 3–7.
10. Петров А.А. Аналитическая оценка образования горючей концентрации в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 3. С. 17–19.
11. Udartseva O.V., Nikolsky O.K. Computer science in environmental safety research IOP // Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 459. 042043. DOI 10.1088/1755-1315/459/4/042043.
12. Victim of carbon monoxide poisoning identified by carbon monoxide oximetry / D. Roth [et al.] // The Journal of Emergency Medicine: journal. 2011. № 40 (6). June. Pp. 51–58.
13. Богданов С.В. Особенности проектирования быстровозводимых стен вертикальных цилиндрических резервуаров из композитных несущих элементов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 3. С. 6–16.

14. Корольченко Д.А., Воевода С.С. Обеспечение противопожарной защиты объектов переработки, хранения и транспорта нефти // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. № 5. С. 36–44.

References

1. Akimov V.A., Novikov V.D., Radaev N.N. Prirodnye i tekhnogennye chrezvychnye situacii: opasnosti, ugrozy, riski. M.: ZAO FID «Delovoj ekspress», 2016. S. 144.
2. Samigullin G.H., Kadochnikova E.N., Teplyakov D.E. Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na rezervuarah i rezervuarnyh parkah / sost. T.V. Musienko [i dr.] // *Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.*, 2020. S. 12–15.
3. Analiz riskov v obespechenie zashchishchennosti kriticheski vazhnyh ob'ektov neftegazovogo kompleksa / N.A. Mahutov [i dr.]. Tyumen': TIU, 2019. S. 539.
4. Blokker P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water // *Proc. 4-th Intern. Hardour Congress. Verslagboek. Antwerp. (The Netherlands)*. 2020. Pp. 911–919.
5. Olas Beata. Carbon monoxide is not always a poison gas for human organism: Physiological and pharmacological features of CO // *Chemico-Biological Interactions*. 2019.
6. Fay J.A. The spread of oil slicks on a calm sea. *Oil on the sea*. New-York: Plenum Press, 2019. Pp. 53–63.
7. Voronin S.V., Skripnik I.L., Kadochnikova E.N. Analiz snizheniya pozharnoj opasnosti rezervuarnyh parkov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2018. № 4 (48). S. 15–20.
8. Bulavinceva A.D., Mazurkin P.M. Dinamika avarij po prichinennomu ushcherbu na linejnoj chasti magistral'nyh nefteprovodov OAO «AK «Transneft» // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2018. № 4. S. 64–675.
9. Vasil'ev A.O., Shemanin V.G., Chartij P.V. Monitoring vybrosov uglevodorodov pri hranenii i transportirovke nefti i nefteproduktov // *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2017. № 5. S. 3–7.
10. Petrov A.A. Analiticheskaya ocenka obrazovaniya goryuchej koncentracii v rezervuarah s nef'tyu i nefteproduktami // *Pozhary i chrezvychnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*. 2009. № 3. S. 17–19.
11. Udartseva O.V., Nikolsky O.K. Computer science in environmental safety research IOP // *Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 459. 042043. DOI 10.1088/1755-1315/459/4/042043.
12. Victim of carbon monoxide poisoning identified by carbon monoxide oximetry / D. Roth [et al.] // *The Journal of Emergency Medicine: journal*. 2011. № 40 (6). June. Pp. 51–58.
13. Bogdanov S.V. Osobennosti proektirovaniya bystrovozvodimyh sten vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov iz kompozitnyh nesushchih elementov // *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2011. № 3. S. 6–16.
14. Korol'chenko D.A., Voevoda S.S. Obespechenie protivopozharnoj zashchity ob'ektov pererabotki, hraneniya i transporta nef'ti // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. № 5. S. 36–44.

Информация об авторах:

Ольга Владимировна Ударцева – профессор кафедры техносферной безопасности Тюменского индустриального университета (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), доктор технических наук, доцент, e-mail: oblاد@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-2300>

Information about the authors:

Olga V. Udartseva – professor of the department of technosphere security of Tyumen industrial university (625000, Tyumen, Volodarsky str., 38), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: oblاد@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-2300>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 09.02.2022; принята к публикации: 18.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 09.02.2022; accepted for publication: 18.02.2022

УДК 614.842.6

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОЖАРНОГО ПОЕЗДА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТУШЕНИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Владимир Дмитриевич Захматов;**Мария Валентиновна Панкратова**✉.**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉r.masha-oskol@mail.ru

Аннотация. Описывается новое системное введение в состав пожарных поездов ряда новых технологий, повышающих дальность и масштабы эффективного тушения пожаров. В настоящее время пожарные поезда являются основным транспортом для перевозки пожарной техники и запасов огнетушащих агентов к месту пожара, также они являются мощной базой для техники ликвидации пожаров на всем железнодорожном хозяйстве, нефтеперерабатывающих предприятиях и резервуарных парках. Авторами предлагается системная модернизация пожарного поезда на основе новых технологий тушения разливов нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах путем включения в состав пожарного поезда платформ с новой техникой импульсного тушения: многоствольными распылительными модулями ММ-50-96 (количество стволов), минометами со специальными огнетушащими минами, дронами с подвесными огнетушащими контейнерами, гусеничными роботами с ММ-20. При помощи таких технологий пожарный поезд впервые получит возможность тушить пожар на значительных территориях вдоль железной дороги. Модернизированные пожарные поезда – современная наземная база для новейшей пожарной техники и запасов огнетушащих агентов, способная на основе новых технологий пожаротушения обеспечить автономное тушение пожаров в обширных районах.

Ключевые слова: пожар нефтепродуктов, пожарный поезд, цистерны, лафетные и ручные стволы, дальность и масштаб тушения, многоствольный модуль, распылительный патрон, контейнер, миномет, огнетушащая мина, дрон, огнетушащие бомбы

Для цитирования: Захматов В.Д., Панкратова М.В. Модернизация пожарного поезда на основе новых технологий тушения разливов нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 28–35.

MODERNIZATION OF THE FIRE TRAIN BASED ON NEW TECHNOLOGIES FOR EXTINGUISHING OIL SPILLS AND PETROLEUM PRODUCT

Vladimir D. Zakhmatov; Maria V. Pankratova✉.**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**✉r.masha-oskol@mail.ru

Abstract. The article describes a new systematic introduction of a number of new technologies into the composition of fire trains that increase the range and scale of effective fire extinguishing. Currently, fire-fighting trains are the main transport for transporting fire equipment and stocks of extinguishing agents to the fire site, they are also a powerful base for fire-fighting equipment throughout the railway industry, oil refineries and tank farms. The authors propose a systematic modernization of the fire train based on new technologies for extinguishing oil and petroleum product spills at oil refineries by including platforms with new pulse extinguishing technology in the fire train: MM-50-96 multi-barrel spray modules (number of barrels), mortars with special fire extinguishing mines, drones with suspended fire extinguishing containers, tracked robots with MM-20. With the help of such technologies, a fire train will for the first time be able to extinguish a fire in significant areas along the railway. Modernized fire trains are a modern

ground base for the latest fire equipment and stocks of extinguishing agents, capable of providing autonomous fire extinguishing in vast areas based on new fire extinguishing technologies.

Keywords: oil products fire, fire train, tanks, carriage and hand barrels, range and scale of extinguishing, multi-barrel module, spray cartridge, container, mortar, fire extinguishing mine, drone, fire extinguishing bombs

For citation: Zakhmatov V.D., Pankratova M.V. Modernization of the fire train based on new technologies for extinguishing oil spills and petroleum product // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 28–35.

Введение

В обширных лесных районах России, Канады, США, Бразилии и других стран только железная дорога относительно дешево может доставить в зону пожара отдаленного нефтеобъекта мощные огнетушащие стволы, пожарные машины, бульдозеры и большие объемы огнетушащих агентов (ОА). Из-за высокого удельного расхода ОА от 20 л/м² до 50 л/м² и возимых цистернами поезда запасов от 40 т до 100 т хватает только на тушение относительно малой площади от 1 000 м² до 5 000 м² [1]. Часто пожар на нефтеобъекте происходит в районах, где отсутствуют доступные для пожарного поезда (ПП) источники воды. Как известно, ПП могут перевозить до 40–60 т песка, однако при тушении лесных пожаров удельный расход песка в 1,5–2,5 раза превосходит расход воды, а ручным способом можно тушить только низовые пожары, создающие малое интенсивное тепловое излучение. Поэтому актуальным является вопрос о внедрении в ПП новых образцов техники дальнего тушения с малым удельным расходом воды и песка. В статье обосновано системное решение увеличения дальности и масштаба тушения путем включения в состав ПП платформ с новой техникой импульсного тушения: многоствольных распылительных модулей ММ-50-96 дальностью тушения до 200 м, площадью тушения до 3 000–5 000 м² [2], минометов со специальными огнетушащими минами дальностью тушения от 200 м до 2 км и площадью тушения одной миной до 50–100 м²; дронов с подвесными огнетушащими контейнерами дальностью тушения от 2 км до 100 км и площадью тушения девятью контейнерами до 1 800 м² (полет кластера из четырех дронов и залповый сброс по четыре контейнера повышает площадь тушения до 10 000–12 000 м²); гусеничных роботов с ММ-20 с радиусом автономной работы до 2 км и площадью тушения до 2 000 м², ММ-50 на шасси танка дальностью тушения до 120 м и площадью тушения при одной зарядке до 5 000 м².

Задачей перспективных исследований является создание железнодорожной системы импульсного пожаротушения [3] с высокими дальностью и мощностью путем включения в состав ПП железнодорожных платформ с:

- модулями локализации пожара в радиусе 50–200 м для предотвращения взрыва, сбивания пламени, снижения теплового излучения и превращения сплошного пожара в совокупность локальных очагов, которые можно потушить лафетными стволами с дистанции до 50 м;

- огнетушащими минами точного тушения локальных очагов с дистанции от 200 м до 5 км;

- дронами точного тушения в радиусе от 5 км до 100 км.

Анализ существующей техники. Современные ПП формируются из специальных вагонов – цистерн с ОА (чаще всего с водой и пенообразователем), лафетными стволами интенсивностью подачи ОА до 40 л/с или более мощными стволами, интенсивность подачи которых достигает 100 л/с на отдельных платформах, запасами песка на платформе, используемыми для тушения пожаров на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта, нефтяных резервуарных парков, перерабатывающих заводов и в полосе отвода железных дорог. ПП имеют модернизированный пассажирский вагон со средствами связи, мощными электрогенераторами и насосами до 140 л/с [4–5].

Категории ПП по железнодорожному подвижному составу с соответствующими тактико-техническими характеристиками:

1. ПП первой категории (специализированный), в его состав дополнительно входят:

- крытый грузовой вагон с оборудованием и материалами для ликвидации аварий на железной дороге и перекачки перевозимых жидкостей из неисправных цистерн;
- цистерна-приемник для сбора аварийно разлитой жидкости.

2. ПП второй категории формируется из:

- вагона для размещения личного состава, насосных установок, электростанции, пожарного инвентаря и запаса специальных средств пожаротушения;
- двух-трех цистерн емкостью 20–60 м³ с запасом воды и лафетными стволами на цистернах или более мощными стволами на отдельной платформе.

На рис. 1–5 показаны технические новинки, уже внедренные в состав современных ПП.



Рис. 1. Локомотив с цистерной и дистанционно управляемым из кабины лафетным стволом, подающим воду 70 л/с, дальность тушения до 35–40 м



Рис. 2. Цистерна с дистанционно управляемым лафетным стволом интенсивностью подачи пены 20 л/с, дальность тушения до 15–20 м



Рис. 3. Лафетный ствол, управляемый оператором на водяной цистерне, интенсивность подачи 40 л/с, дальность тушения до 25 м



Рис. 4. Ручные стволы, питаемые из водяной цистерны и управляемые операторами, интенсивность подачи 20 л/с, дальность тушения горящих нефтепродуктов до 15 м



Рис. 5. Пожарный поезд с платформой, на которой размещены пожарный модуль с насосами, электрогенератор для питания робота с пеногенератором LUF-60 на дрезине, интенсивность подачи 60 л/с, дальность тушения разлива нефтепродуктов до 25 м

Состав ПП нового поколения:

- модернизированная вагон-насосная станция с пультом управления, дизель-генератором, отоплением и кондиционированием воздуха в вагоне, уровнем топлива в баках и пенообразователем в емкостях, электропитанием;
- две новые водяные цистерны объемом по 60 м³, снаружи корпус цистерны покрыт теплоизоляцией, экономящей затраты электроэнергии на обогрев воды;
- для заправки цистерн водой применен ускоритель, в 1,5–2 раза снижающий период заполнения цистерн;
- новый лафетный переносной ствол с ручным управлением «Combitor GR 3000» и пенный ствол «Пурга».

В сети железных дорог России работают 304 ПП постоянной готовности многопланового назначения. ПП аттестованы для тушения в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС), ликвидации и локализации ЧС на железной дороге, тушению лесных пожаров. Решением Правительства Российской Федерации ПП включены в силы постоянной готовности Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [6].

Совершенствовать ПП необходимо комплексно: техническое перевооружение, внедрение новых технологий пожаротушения, модернизация вагонов, цистерн, платформ. ПП способен обеспечить подачу более 8 500 м³ пены средней кратности, ликвидировать разлив горючей жидкости на площади до 10 000 м², вести охлаждение одновременно двух железнодорожных цистерн с нормативным расходом воды в течение 40 мин. 67 специальных ПП могут перекачивать легковоспламеняющиеся и взрывоопасные нефтепродукты из аварийных цистерн с использованием стационарных и мобильных насосов производительностью 90–200 м³/ч.

На базе анализа опыта работы ПП разработана концепция нового ПП. Его основа – вагон-насосная станция с современным размещением людей, пожарной техники, цистерны-водохранилища большей емкости. Производители новых вагон-платформ: Воронежский «ВагонРемЗавод», ОАО «Вагонреммаш», ОАО «Рузхиммаш», ВНИИПО МЧС России. Наиболее интересна спецплатформа, содержащая контейнер с насосом подачи ОА до 200 л/с, запас из 10 т пенообразователя, 2 км напорных рукавов, модули комбинированного пожаротушения «Пурга-200» и «Пурга-30», радиоуправляемого пожарного робота LUF-60 [7, 8]. Но это только первый шаг глубокой модернизации ПП с целью реализации больших потенциальных возможностей таких поездов как отличной базы для ряда новых технологий пожаротушения. Однако этой модернизации недостаточно для тушения крупных пожаров на нефтеобъектах.

Результаты исследования и их обсуждение

Поставленная задача решается использованием системы импульсных устройств высокой мощности и дальности тушения на базе железнодорожной платформы, на которой размещено не более двух модулей с радиусом тушения до 200 м на открытой местности и до 350 м в тоннеле. Одновременная работа двух и более установок на одной платформе увеличивает площадь и объем тушения в 1,5–2 раза.

Система состоит из многоствольных модулей и устройств, содержащих инициатор, распылительный заряд и распыляемый огнетушащий агент с дальностью тушения до 50 м.

Размещение установок следующее:

1) на первой платформе – многоствольные распылительные модули, создающие шквалы и вихри с дальностью тушения 50–300 м последовательно или одновременно из разных модулей;

2) на второй платформе размещены не менее двух минометов в диапазоне калибров от 60 мм до 240 мм и стеллажи с запасом специальных огнетушащих мин, содержащих распыляемый ОА преимущественно в надкалиберной части, обеспечивающих высокоточное тушение локальных пожаров в радиусе от 200 м до 5 км от поезда;

3) на третьей платформе размещено не менее четырех дронов и стеллажи с запасом авиационных огнетушащих контейнеров для точного тушения пожаров в радиусе до 70–100 км от поезда;

4) при тушении в тоннелях железных дорог, метро, на территории железнодорожных станций, промышленных, нефтегазовых, энергетических, атомных объектов в состав ПП включаются платформа с роботами – многоствольные модули на колесных и гусеничных шасси дальностью действия до 20–30 км от поезда.

Роботизированная железнодорожная пожарная платформа содержит пульт управления с компьютером, в памяти которого содержатся данные о дальности и площади тушения всех многоствольных модулей и минометов [9]. Система фиксирует распределение очагов горения по площади пожара и дистанцию до них. На основе системного анализа описанной совокупности данных составляется алгоритм серии залпов, параметры которых гибко регулируются количеством стволов в залпах, взаимодействием модулей и минометов.

Основной задачей системы модулей на платформе является создание условий для подъезда поезда на дистанцию эффективного тушения традиционными стволами путем создания залпом или серией залпов эффекта сбивания пламени, предотвращение вспышек и взрывов, снижение радиуса поражающего воздействия теплового излучения, осаждение токсичного дыма.

Задачей минометов является локализация отдаленных пожаров на дистанции свыше 150 м и до 2–5 км от поезда в труднопроходимом густом лесу, на холмах, горах, оврагах, ущельях – создание условий для подхода и работы пожарных, оснащенных дополнительно к традиционной технике переносными ручными распылителями ОА [10].

Основная задача дронов – тушить в радиусе до 100 км от поезда очаги лесного пожара. Дроны намного эффективнее пожарных самолетов и вертолетов, так как, ввиду отсутствия пилота, могут летать на низких высотах и точно сбрасывать огнетушащие авиабомбы на очаги пожара. Другое уникальное преимущество дронов – летать группами на малых расстояниях друг от друга, что впервые позволяет сбрасывать огнетушащие

авиабомбы залпово на расстояния, позволяющие создавать эффективно взаимодействующие шквалы, что до трех раз снижает удельные расходы ОА и, соответственно, увеличивает площадь тушения [11]. Такая технология позволит быстро и эффективно локализовать и потушить верховой лесной пожар.

ПП работает следующим образом. Поезд подъезжает к очагу пожара, например, к горящему вагону со взрывчатыми веществами, недалеко, на соседнем пути, находится состав цистерн с легковоспламеняющимися жидкостями. При взаимодействии с лафетными традиционными водяными и пенными стволами ПП, тушащими на дальность до 25–50 м от возимых цистерн, залпом многоствольных модулей создается газокапельный шквал, охлаждающий за секунды сразу весь горящий вагон, сбивающий пламя и осаждающий дым. Также создаются условия для подъезда поезда на дистанцию менее 50 м и эффективного тушения традиционными стволами повторных возгораний. Поэтому взаимодействие модулей и лафетных стволов может многократно расширить масштаб тушения пожара.

Заключение

Данный ПП может многократно повысить дальность и масштаб тушения, обеспечить высокоточное, комбинированное, гибко регулируемое тушение, вплоть до крупномасштабного тушения пожаров классов А, В, С, Д широкого диапазона размеров и мощности, поджогов, применения зажигательного вооружения. ПП являются достаточно хорошей транспортной базой для дронов и роботов, которые не могут самостоятельно передвигаться к зоне пожара и требуют базы для совершения множества вылетов и выездов на позицию тушения. Поэтому усиление существующего оборудования ПП является актуальной и перспективной задачей в современный период ежегодно прогрессирующего числа и масштабов пожаров с соответственным увеличением материальных и финансовых убытков, а также экологического ущерба.

Такое сочетание пожарной техники может быть использовано в качестве мощного и дальнедействующего комплекса тушения пожаров в тоннелях железных дорог, метро, на территории железнодорожных станций, промышленных, нефтегазовых, энергетических, атомных объектов.

Система имеет большую перспективу развития и дальнейшего совершенствования, а также множество сфер применения в области тушения широкого диапазона различных пожаров, поджогов, применения зажигательного оружия, ликвидации разливов нефти на суше и выбросов радиоактивных и токсичных материалов.

Список литературы

1. Соловьянов А.А. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов – актуальная проблема России // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2021. С. 5–7.
2. Онов В.А., Панкратова М.В. Метод экологически чистой локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // XVII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тезисов. Воронеж, 2021. С. 45–46.
3. Мачерет Д.А. Оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. С. 233–239.
4. Захматов В.Д., Пророк В.Я., Клейменов А.В. Анализ разработок специализированных пожарных машин для защиты объектов нефтегазового комплекса (Ч. 1) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 4 (44). С. 17–25.
5. Каверзнева Т.Т., Скрипник И.Л., Колеров Д.А. Безопасность при перевозке опасных грузов по железной дороге // XVII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. статей. Воронеж, 2021. С. 504–507.
6. Щетка В.Ф., Шикора О.И. Анализ возможных причин аварийных ситуаций на объектах транспортировки нефтепродуктов // XVII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. статей. Воронеж, 2021. С. 126–129.

7. Онов В.А., Панкратова М.В. Метод локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов силами и средствами МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 1–7.

8. Анализ существующих и обоснование применения новой автоматической системы пожаровзрывозащиты судов, кораблей, нефтедобывающих платформ / В.Д. Захматов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. 27. № 9. С. 50–63. DOI: 18322 / PVB.2018.27.05.

9. Колмыков С.В., Акименко Н.Ю. Проблемы транспортировки нефти по водным объектам // Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2021. С. 312–315.

10. Ксенофонтов Ю.Г., Садуев А.У. Вопросы снижения аварийности на трубопроводных системах нефтяных месторождений // III Междунар. науч. конф.: сб. науч. статей. Казань, 2021. С. 70–72.

11. Balaji K., Rabiei M., Suicmez V. Status of Data-Driven Methods and their Applications in Oil and Gas Industry // Paper presented at the SPE Europec featured at 80th EAGE Conference and Exhibition. Copenhagen, Denmark, June 2018.

References

1. Solov'yanov A.A. Avarijnye razlivy nefi i nefteproduktov – aktual'naya problema Rossii // Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse. M., 2021. S. 5–7.

2. Onov V.A., Pankratova M.V. Metod ekologicheski chistoj lokalizacii i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov // XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: sb. tezisov. Voronezh, 2021. S. 45–46.

3. Macheret D.A. Ocenka dolgosrochnoj perspektivnosti struktury gruzovyh zheleznodorozhnyh perevozk // Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. M., 2021. S. 233–239.

4. Zahmatov V.D., Prorok V.Ya., Klejmenov A.V. Analiz razrabotok specializirovannyh pozharnyh mashin dlya zashchity ob"ektov neftegazovogo kompleksa (Ch. 1) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2017. № 4 (44). S. 17–25.

5. Kaverzneva T.T., Skripnik I.L., Kolerov D.A. Bezopasnost' pri perevozke opasnyh gruzov po zheleznoj doroge // XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: sb. statej. Voronezh, 2021. S. 504–507.

6. Shchetka V.F., Shikora O.I. Analiz vozmozhnyh prichin avarijnyh situacij na ob"ektah transportirovki nefteproduktov // XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: sb. statej. Voronezh, 2021. S. 126–129.

7. Onov V.A., Pankratova M.V. Metod lokalizacii i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov silami i sredstvami MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 2. S. 1–7.

8. Analiz sushchestvuyushchih i obosnovanie primeneniya novoj avtomaticheskoy sistemy pozharovzryvozashchity sudov, korablej, neftedobyvayushchih platform / V.D. Zahmatov [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2018. 27. № 9. S. 50–63. DOI: 18322 / PVB.2018.27.05.

9. Kolmykov S.V., Akimenko N.Yu. Problemy transportirovki nefi po vodnym ob"ektam // Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU. 2021. S. 312–315.

10. Ksenofontov Yu.G., Saduev A.U. Voprosy snizheniya avarijnosti na truboprovodnyh sistemah neftyanyh mestorozhdenij // III Mezhdunar. nauch. konf.: sb. nauch. statej. Kazan', 2021. S. 70–72.

11. Balaji K., Rabiei M., Suicmez V. Status of Data-Driven Methods and their Applications in Oil and Gas Industry // Paper presented at the SPE Europec featured at 80th EAGE Conference and Exhibition. Copenhagen, Denmark, June 2018.

Информация об авторах:

Владимир Дмитриевич Захматов, старший научный сотрудник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: zet.pulse@gmail.com

Мария Валентиновна Панкратова, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105 Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru

Information about the authors:

Vladimir D. Zakhmatov, senior researcher at the department of planning, organization and coordination of scientific research at the center for the organization of research and editorial activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), professor, doctor of technical sciences, e-mail: zet.pulse@gmail.com

Maria V. Pankratova, adjunct of the faculty of training highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 21.02.2022; одобрена после рецензирования: 11.03.2022;
принята к публикации: 14.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 21.02.2022; approved after review: 11.03.2022;
accepted for publication: 14.03.2022

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.842.4

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОЖАРАХ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ

Анатолий Николаевич Иванов[✉];

Дмитрий Прокопьевич Кеда;

Василий Васильевич Кутузов.

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

[✉]iv.52@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы оценки вероятности выполнения системами пожарной автоматики функций основного назначения и возможности корректного применения для этой задачи ежегодных статистических данных о пожарах и их последствиях, публикуемых Всероссийским институтом противопожарной обороны МЧС России. На примере анализа статистических данных о работе систем пожарной сигнализации и автоматических установок пожаротушения показано, что существующая форма представления статистических данных не только не позволяет корректно оценить вероятность выполнения ими функции основного назначения, но и искажает истинное положение дел. Вследствие этого не представляется возможным по данным статистики выявить причины низкой эффективности работы установок пожаротушения и определить пути ее повышения. В то же время статистические данные об эффективности работы системы пожарной сигнализации представляются завышенными, так как в них нет сведений о выполнении нормативного требования о своевременном обнаружении пожара. Поэтому в работе предлагается увеличить информативность статистических таблиц публикуемых отчетов в части, касающейся пожарной автоматики, за счет более детального анализа работы ее систем на пожаре. Предложен перечень дополнительных сведений для отражения в статистических данных, обозначены проблемы, которые на сегодняшний день могут возникнуть с их установлением на пожарах.

Ключевые слова: статистические данные, вероятность выполнения функции основного назначения, пожарная сигнализация, автоматические установки пожаротушения, эффективность работы пожарной автоматики

Для цитирования: Иванов А.Н., Кеда Д.П., Кутузов В.В. Об использовании статистических данных о пожарах в оценке эффективности работы систем пожарной автоматики // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 36–43.

ON THE USE OF STATISTICAL DATA ON FIRES IN ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF FIRE AUTOMATION SYSTEMS

Anatoly N. Ivanov[✉]; Dmitry P. Keda; Vasily V. Kutuzov.

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

[✉]iv.52@mail.ru

Abstract. The issues of assessing the probability of fire automation systems performing the functions of the main purpose and the possibility of correct application for this task of annual statistical data on fires and their consequences published by the All-Russian institute of fire

protection of EMERCOM of Russia are considered. Using the example of the analysis of statistical data on the operation of fire alarm systems and automatic fire extinguishing systems, it is shown that the existing form of presentation of statistical data not only does not allow to correctly assess the probability of their performing the function of the main purpose, but also distorts the true state of affairs. As a result, it is not possible, according to statistics, to identify the reasons for the low efficiency of fire extinguishing installations and to determine ways to improve it. At the same time, statistical data on the effectiveness of the fire alarm system are overstated, because they do not contain information about the fulfillment of the regulatory requirement for the timely detection of a fire. Therefore, the paper proposes to increase the informativeness of statistical tables of published reports in terms of fire automation due to a more detailed analysis of the operation of its systems in a fire. A list of additional information is proposed to be reflected in statistical data, the problems that may arise today with their installation on fires are indicated.

Keywords: statistical data, probability of performing the function of the main purpose, fire alarm, automatic fire extinguishing installations, effectiveness of fire automation

For citation: Ivanov A.N., Keda D.P., Kutuzov V.V. On the use of statistical data on fires in assessing the effectiveness of fire automation systems // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere*. 2022. № 1 (61). P. 36–43.

Введение

Для пожарной автоматики Российской Федерации 2021 г. стал поистине революционным, так как появилось большое количество нормативных документов, касающихся определения перечня объектов, подлежащих оборудованию системами пожарной автоматики, регламентирующих вопросы проектирования и эксплуатации систем пожарной сигнализации, систем оповещения и управления эвакуацией, установок и систем автоматического пожаротушения, а также других инженерных систем, управляемых средствами пожарной автоматики. Это и новые своды правил, и большое количество новых государственных стандартов.

В настоящее время нормотворческая работа в этом направлении продолжается, и в 2022–2023 гг. должен вступить в действие ряд новых нормативных документов.

Все это говорит о том, что в системе пожарной безопасности страны пожарная автоматика рассматривается как важный элемент ее обеспечения и на государственном уровне принимаются меры к тому, чтобы работа систем пожарной автоматики соответствовала требованиям и уровню развития науки и техники.

Но, как показывает практика, насыщение объекта защиты элементами пожарной автоматики, выполненное в полном соответствии с требованиями нормативных документов, не всегда обеспечивает своевременное и достоверное обнаружение пожара и защиту людей и материальных ценностей от губительного воздействия его опасных факторов.

Почему же система пожарной автоматики, построенная на объекте защиты в строгом соответствии с требованиями государственных стандартов, строительных норм и правил и сводов правил (а в противном случае она не должна быть принята в эксплуатацию) часто показывает низкую эффективность в выполнении функции основного назначения? В разное время эту проблему поднимали в своих статьях такие известные специалисты в области пожарной автоматики, как А.В. Зайцев, И.Г. Саутин [1, 2], но эти материалы так и не стали началом дискуссионного обсуждения проблемы на страницах специальных журналов, хотя авторы публикаций к этому призывали.

В то же время статистические данные о работе систем пожарной автоматики на пожарах, ежегодно публикуемые Всероссийским институтом противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, показывают, что эффективность ее от года к году не повышается, а продолжает с незначительными колебаниями оставаться примерно на одном уровне, о котором нельзя сказать, что он достаточен.

В чем же причина такой «стабильности»? Исчерпаны все резервы повышения эффективности работы систем пожарной автоматики? Вряд ли. Одной из причин того, что

этот показатель не растет, может являться существующая сегодня форма представления статистических данных о работе средств пожарной автоматики, которая, на взгляд авторов, не содержит достаточного количества информации для выявления причин такого положения дел, а, следовательно, и определения направлений работы специалистов, занимающихся разработкой и производством технических средств пожарной автоматики, проектированием, монтажом и эксплуатацией их на объектах защиты.

Поэтому цель данной работы состоит в обосновании необходимости учета в статистических данных о работе систем пожарной автоматики тех параметров, характеризующих работу ее элементов на пожаре, по которым каждая категория из вышеуказанных специалистов могла бы увидеть свои недоработки, понять причины их возникновения, а, следовательно, и определить основные направления своей деятельности по их устранению.

Анализ статистических данных о работе систем пожарной автоматики на объектах защиты

На сегодняшний день методика расчета вероятности эффективного выполнения функции основного назначения системами пожарной автоматики, установленными на объекте защиты, не находит отражения ни в одном нормативном документе, хотя данный показатель используется, например, при расчете пожарного риска. В то же время методика расчета пожарного риска [3] предусматривает не расчет вероятности эффективного выполнения функции основного назначения системами пожарной автоматики, а предлагает выбор ее значения в зависимости от выполнения на объекте требований по соответствию проектным решениям его оборудования элементами пожарной автоматики.

На самом деле для вероятностной оценки эффективности выполнения функции основного назначения любой технической системой существуют проверенные методы – это методы математической статистики.

Для этого нужны статистические данные, позволяющие сделать репрезентативную выборку для осуществления анализа.

Формально для анализа работы систем пожарной автоматики статистические данные есть, и они, как отмечалось выше, ежегодно публикуются в статистических сборниках ВНИИПО МЧС России.

Проблема заключается в том, что этих данных для корректного определения вероятности выполнения элементами пожарной автоматики функций основного назначения явно не хватает.

Авторы предлагают в этом убедиться на примере анализа работы двух подсистем систем пожарной автоматики на объектах защиты: пожарной сигнализации и установок пожаротушения.

На основе данных табл. 60 статистического сборника ФГБУ ВНИИПО МЧС России «Пожары и пожарная безопасность в 2020 году» [4] авторы составили следующую таблицу.

Таблица. Эффективность работы пожарной сигнализации и установок пожаротушения в 2020 г.

Вид пожарной автоматики	Всего пожаров	Сработала, задачу выполнила	Сработала, задачу не выполнила	Не сработала	Не включена
Пожарная сигнализация	1 578	1 369	–	172	38
Установки и модули пожаротушения	100	52	31	10	7

Исходя из данных таблицы и используя классическую формулу определения вероятности, можно определить, что вероятность выполнения функции основного назначения подсистемой пожарной сигнализации равна $P_{пс}=0,87$, а вероятность выполнения функции основного назначения установками и модулями пожаротушения – всего лишь $P_{пт}=0,52$.

Примерно такие же показатели получаются в результате анализа статистических данных и за 2018–2019 гг.

На основе этих данных можно сделать вывод, что пожарная сигнализация работает намного эффективнее, чем автоматические установки и модули пожаротушения, и для повышения в целом эффективности работы систем пожарной автоматики на объектах защиты необходимо направить усилия на работу над совершенствованием последних.

Однако данный вывод нельзя считать корректным. Особенно в отношении такого показателя работы автоматических установок и модулей пожаротушения, как «Сработала, задачу не выполнила». Рассмотрим основные возможные причины возникновения такой ситуации.

Таковыми могут быть:

- ошибка в расчете массы огнетушащего вещества, необходимого для тушения пожара в данном помещении, допущенная при проектировании установки пожаротушения;
- несоответствие параметров герметичности защищаемых помещений требованиям для отдельных видов автоматического пожаротушения (газовое, порошковое, аэрозольное), в результате чего не была достигнута необходимая концентрация огнетушащего вещества [5];
- выбор неправильного алгоритма работы установок пожаротушения или нарушение требований к их размещению в защищаемом помещении;
- позднее включение в работу.

Все четыре причины обусловлены исключительно человеческим фактором, то есть ошибками, допущенными как на этапе проектирования, так и при организации эксплуатации. При этом сами установки сработали и чисто технологически свою задачу выполнили, то есть подали огнетушащее вещество в защищаемое помещение.

Рассмотрим подробнее такую причину, как «позднее включение в работу».

Если речь идет о применении спринклерных установок водяного пожаротушения, то причиной может быть неверно выбранная температура срабатывания спринклерных оросителей, которая для данной пожарной нагрузки может быть достигнута только в стадии активного горения. Здесь опять сталкиваемся либо с ошибкой проектирования, либо с изменением функционального назначения помещения, что привело к изменению характеристик пожарной нагрузки при оставленной системе автоматического пожаротушения, рассчитанной для обнаружения горения других материалов.

В том случае, если сигнал на запуск установки автоматического пожаротушения подается от системы пожарной сигнализации, то позднее включение в работу может быть результатом позднего срабатывания автоматических пожарных извещателей в зоне контроля пожарной сигнализации.

В статистических таблицах сработавшая сигнализация считается выполнившей свою задачу. Хотя при этом вполне законно должен возникать вопрос: «А выполнено ли при этом требование нормативного документа о «своевременном обнаружении пожара»¹?» На какой стадии развития пожара произошло срабатывание пожарного извещателя: на стадии загорания, развития пожара, активного горения? Из статистических данных этого не видно, так как в оценке работы пожарной сигнализации используется только двоичная система: «сработала» – «не сработала». А, если нет данных за «своевременное обнаружение пожара» пожарными извещателями, следовательно, в позднем срабатывании автоматической системы пожаротушения и в том, что она «сработала, задачу не выполнила», может быть большая доля вины системы пожарной сигнализации, которая при существующем подходе к оценке ее работы считается задачей выполнившей.

Если рассматривать ситуацию, когда автоматическая установка пожаротушения «не сработала», то опять возникает вопрос о причине. Могла не сработать запускающая ее система пожарной сигнализации (как видно из таблицы, в 11 % случаев пожаров такое произошло), следовательно, система пожаротушения и не должна была срабатывать, но в статистику попала в отрицательном ключе.

¹ СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.

Нельзя не учитывать и тот факт, что на некоторых объектах защиты в рабочее время автоматические установки пожаротушения переводятся в режим «ручного управления» и тогда время начала их работы целиком зависит от дежурного пожарного поста.

Таким образом, напрашивается вывод о том, что статистический анализ работы пожарной сигнализации и автоматических установок пожаротушения в том виде, в каком он существует сейчас, не только не дает возможности корректно оценить вероятности выполнения функции основного назначения данными системами, но и существенно искажает истинное положение дел.

Возникает вопрос: «А смотрят ли данную статистику производители пожарных извещателей, специалисты по проектированию систем пожарной автоматики на объектах, другие специалисты, работающие в этой области?». Скорее всего, не смотрят, потому что она ничего им не дает для анализа работы собственной продукции, так как полностью обезличена.

Любой производитель средств пожарной сигнализации имеет право считать, что в число несработавших извещатели его фирмы не попали, как и любая проектная организация не усмотрит своей вины в том, что, сработав, установки пожаротушения не выполнили своей функции.

Обезличенность статистических данных снижает как ответственность специалистов, так и их возможности по выбору мер, направленных на повышение эффективности работы средств пожарной автоматики, а в целом влияет на уровень пожарной безопасности защищаемых объектов.

Предложения по составу статистических данных о работе систем пожарной автоматики на пожаре

Следовательно, статистические данные анализа работы систем пожарной сигнализации и установок пожаротушения на объектах защиты при пожарах не должны быть представлены только подсчетом ситуаций: «сработала/не сработала/сработал, задачу не выполнила». Необходимо устанавливать причины и выявлять факты, способствующие возникновению той или иной ситуации.

Особое внимание необходимо уделять анализу работы системы пожарной сигнализации и в первую очередь таким ее элементам, как пожарные извещатели, которые в случае пожара являются инициаторами начала работы всех подсистем системы пожарной автоматики. Тем более что в последнее время появился ряд публикаций, в которых указывается на возможность снижения чувствительности ниже требуемой у некоторых типов пожарных извещателей (в частности, дымовых оптико-электронных точечных) уже к середине срока их эксплуатации [6–8].

Подробный анализ работы систем пожарной сигнализации в условиях пожаров мог бы прояснить и данную ситуацию.

Для полного представления о работе системы пожарной сигнализации в условиях возникшего пожара необходимо устанавливать следующие данные:

- стадию развития пожара, на которой извещатель сработал (если нет возможности определить время появления очага горения);
- тип извещателя;
- фирму-производителя;
- время нахождения в эксплуатации;
- соответствие его установки требованиям нормативных документов;
- преобладающие информационные характеристики пожара на начальном этапе его развития;
- возможности данного типа извещателя по обнаружению пожара в защищаемом помещении на начальной стадии его развития.

При проведении такого анализа появляется возможность выявить основные причины позднего срабатывания пожарной сигнализации, установить зависимость чувствительности (порога срабатывания) пожарных извещателей от срока их службы, построить рейтинг

наиболее эффективных образцов пожарных извещателей из числа присутствующих на сегодняшний день на рынке средств пожарной автоматики и с высокой вероятностью обеспечивающих выполнение нормативного требования по своевременному и достоверному обнаружению пожара.

Касательно установок пожаротушения, которые «сработали, но задачу не выполнили» в обязательном порядке необходимо устанавливать стадию пожара, на которой произошла их активация. В данной статистике должен фигурировать элемент автоматической активации: спринклер или пожарный извещатель с указанием типа и других характеристик, влияющих на их работоспособность.

Плюс к этому должны устанавливаться все внешние и внутренние факторы, влияющие на результат выполнения установкой пожаротушения функции основного назначения (соответствие параметров негерметичности защищаемого помещения, соответствие задаче массы огнетушащего вещества и т.д.).

В случае когда система «не сработала», необходимо устанавливать в первую очередь факт наличия процедуры ее активации. Если не было активации, то должна быть выявлена причина ее отсутствия. Все это должно быть отражено в статистических таблицах.

И тогда руководитель (владелец) некой фирмы, производящей пожарные извещатели, увидев (а это увидят и другие) в статистических данных сведения о том, что большая часть из несработавших или поздно сработавших извещателей носят бренд его фирмы, при этом не отработав и половину заявленного ресурса, будет вынужден или уйти с рынка производителей средств пожарной сигнализации или принять меры к исправлению ситуации.

Вот тогда и появится динамика в статистических данных о работе средств пожарной автоматики на пожарах, и эта статистика будет работать на повышение эффективности их применения, так как она станет адресной, будет высвечивать конкретные недостатки в этой области.

Заключение

Расширение статистических сведений о работе систем пожарной автоматики за счет разработанных предложений даст возможность всем заинтересованным лицам, работающим в этой области, увидеть свои задачи и наметить пути их решения.

Вполне понятно, что при проведении такого расширенного анализа число таблиц, посвященных работе средств пожарной автоматики в ежегодных статистических сборниках, увеличится.

Ожидаемо возникнет вопрос: «А кто этим должен заниматься на местах?» Наверное, обнаружится нехватка специалистов, способных с высоким качеством установить все нюансы поведения систем пожарной автоматики в условиях пожара. На подготовку их тоже потребуется время.

Но в конечном итоге это будет работать на повышение пожарной безопасности объектов, сохранение жизни и здоровья людей и материальных ценностей.

Список источников

1. Зайцев А.В. Достоверность и своевременность обнаружения пожара, и как их учесть в нормах на СПС // Алгоритм безопасности. 2016. № 2.
2. Саутин И.Г. Особое мнение. Можно ли доверить свою жизнь дымовому пожарному извещателю? // Алгоритм безопасности. 2019. № 6.
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 2 дек. 2015 г.) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 11.12.2021).
4. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.

5. Иванов А.Н., Богущкий С.Ю., Шидловский Г.Л. Проблемы проектирования и экспертной оценки установок газового пожаротушения, связанные с негерметичностью защищаемых помещений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 2 (54). С. 68–74.

6. Пивинская И. Проверка временем. Ее не всегда выдерживает чувствительность пожарных извещателей // Безопасность. Достоверность. Информация. 2004. № 4 (55).

7. Иванов А.Н. К вопросу об оценке эффективности пожарной автоматики // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2021.

8. Иванов А.Н., Викман А.В., Уткин О.В. Применение нечеткой логики для оценки вероятности выполнения пожарными извещателями функции основного назначения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2019. № 4 (32). С. 48–52.

References

1. Zajcev A.V. Dostovernost' i svoevremennost' obnaruzheniya pozhara, i kak ih uchest' v normah na SPS // Algoritm bezopasnosti. 2016. № 2.

2. Sautin I.G. Osoboe mnenie. Mozhno li doverit' svoyu zhizn' dymovomu pozharnomu izveshchatelyu? // Algoritm bezopasnosti. 2019. № 6.

3. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382 (v red. ot 2 dek. 2015 g.) // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902167776> (data obrashcheniya: 11.12.2021).

4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.

5. Ivanov A.N., Boguckij S.Yu., Shidlovskij G.L. Problemy proektirovaniya i ekspertnoj ocenki ustanovok gazovogo pozharotusheniya, svyazannye s negermetichnost'yu zashchishchaemyh pomeshchenij // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 2 (54). S. 68–74.

6. Pivinskaya I. Proverka vremenem. Ее не всегда выдерживает чувствительность пожарных извещателей // Безопасность. Достоверность. Информация. 2004. № 4 (55).

7. Ivanov A.N. K voprosu ob ocenke effektivnosti pozharnoj avtomatiki // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. науч.-практ. конф. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2021.

8. Ivanov A.N., Vikman A.V., Utkin O.V. Primenenie nechetkoj logiki dlya ocenki veroyatnosti vypolneniya pozharnymi izveshchatelyami funkcii osnovnogo naznacheniya // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2019. № 4 (32). S. 48–52.

Информация об авторах:

Анатолий Николаевич Иванов, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, e-mail: iv.52@mail.ru

Дмитрий Прокопьевич Кеда, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: dp.keda@gmail.com

Василий Васильевич Кутузов, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: kutuzov-w@mail.ru

Information about the authors:

Anatoly N. Ivanov, associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, honorary worker of higher professional education of the Russian Federation, e-mail: iv.52@mail.ru

Dmitry P. Keda, associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: dp.keda@gmail.com

Vasily V. Kutuzov, associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: kutuzov-w@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.11.2021; одобрена после рецензирования: 22.12.2021;
принята к публикации: 12.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.11.2021; approved after review: 22.12.2021;
accepted for publication: 12.03.2022

УДК 621.039.68

ПРОБЛЕМА НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА МЕТОДОМ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Гафур Халафович Самигуллин✉;

Артем Леонидович Тимошенко.

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

✉samigullin.g@igps.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема нормативно-правового регулирования, связанная с обеспечением промышленной и пожарной безопасности водородных систем и устройств, в частности установки производства методом паровой конверсии природного газа. Проанализированы существующие методы промышленной генерации водорода. Предложены пути решения проблем обеспечения безопасности эксплуатации рассматриваемых технологических установок. Представлено состояние водородной энергетики в мире. Полно отражены тенденции, связанные с производством водорода и генерацией энергии на его основе. Разработана примерная структура нормативного документа, регламентирующего правила безопасности при проектировании и эксплуатации объектов водородной энергетики, обоснована необходимость разработки организационно-технических мероприятий на всех стадиях технологического процесса водородных систем. Результаты работы свидетельствуют о необходимости применения представленного комплекса решений, направленных на совершенствование методической базы и, как следствие, на снижение масштабов потенциального ущерба от возможных аварий. Результаты исследования представляют интерес для разработки проектных решений по созданию и актуализации существующих нормативно-правовых актов и документов по безопасности водородной инфраструктуры.

Ключевые слова: водородное топливо, обеспечение промышленной и пожарной безопасности, паровая конверсия природного газа, требования к безопасности

Для цитирования: Самигуллин Г.Х., Тимошенко А.Л. Проблема нормативного обеспечения пожарной и промышленной безопасности на объектах производства водорода методом паровой конверсии природного газа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 44–50.

THE ISSUE OF REGULAR SUPPORT FOR FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY AT HYDROGEN PRODUCTION OBJECTS BY THE METHOD OF STEAM CONVERSION OF NATURAL GAS

Gafur Kh. Samigullin✉; **Artem L. Timoshenko.**

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

✉samigullin.g@igps.ru

Abstract. The article discusses issues involved the issue of normative-legal regulation related to the provision of industrial and fire safety of hydrogen systems and devices, in particular the installation of production by steam conversion of natural gas. Considerations are presented behind existing methods of industrial hydrogen generation. Also discussed are solutions employed to assure hydrogen process plant safety problems. The hydrogen energy safety status in the world is comprehensively presented. The trends related to hydrogen production and energy generation based on it are fully reflected. The model structure of the normative document regulating safety rules at the design and operation of hydrogen energy facilities has been developed. The necessity of developing organizational and technical measures not only at the stage of operating

the technological equipment, but also at the design, construction, manufacturing, storage, transportation, installation, adjustment, putting them out of operation and utilization stages has been rationalized. The work results show the necessity of applying the presented set of solutions, aimed at improving the methodological base and, as a consequence, at reducing the scale of potential damage from possible accidents. The study results are of interest for the development of design solutions for the creation and updating of existing regulations and documents on the safety of hydrogen infrastructure.

Keywords: hydrogen fuel, industrial and fire safety, natural gas steam conversion, safety requirements

For citation: Samigullin G.Kh., Timoshenko A.L. The issue of regular support for fire and industrial safety at hydrogen production objects by the method of steam conversion of natural gas // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 44–50.

Введение

Современные тенденции, обуславливающие интенсификацию промышленных технологий при одновременном возрастании потребления всех видов энергии, подразумевают увеличение негативного воздействия на окружающую среду и соответствующий рост экологических рисков. Большинство экономически развитых стран стремится к использованию альтернативных источников энергии, сокращающих «углеродную» составляющую в структуре энергопотребления промышленных предприятий.

Для сохранения конкурентоспособности на мировом энергетическом рынке в Российской Федерации активно осуществляется комплекс мероприятий, направленных на ускоренную реализацию проектов в области получения альтернативных безуглеродных топлив, о чем свидетельствует распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации». В рамках утвержденной концепции предусматривается поддержка научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по интенсификации существующих технологических процессов для получения водорода, а также на совершенствование нормативно-правового регулирования и соответствующих механизмов государственного стимулирования.

Одной из главных проблем нормативно-правового регулирования в сфере генерации водорода из углеводородного сырья является отсутствие нормативно-правовой базы в области обеспечения промышленной и пожарной безопасности подобных объектов. В связи с ростом потенциала в области получения водородного топлива в топливно-энергетическом комплексе Российской Федерации возникает вопрос обеспечения промышленной и пожарной безопасности [1].

При исследовании рассматриваемой темы решаются следующие задачи: рассматривается проблема нормативно-правового регулирования, связанная с обеспечением промышленной и пожарной безопасности водородных систем и устройств; проводится анализ способов промышленной генерации водорода; предлагаются пути решения проблем обеспечения безопасности эксплуатации рассматриваемых технологических установок; проводится анализ состояния безопасности водородной энергетики в мире; разрабатывается структура нормативного документа, регламентирующего правила безопасности при проектировании и эксплуатации объектов водородной энергетики, приводится обоснование проблемы при разработке организационно-технических мероприятий на всех жизненных этапах водородных систем.

Методы исследования

Тяжелые аварии с водородом, используемым в промышленности, безусловно, требуют соблюдения высокого уровня безопасности водородных установок для предотвращения подобных аварий в будущем. С целью оценки рисков возникновения производственных

аварий разработаны качественные, полуколичественные и количественные методы. Однако при разработке технических регламентов, регулирующих безопасность опасных производственных объектов, по мнению авторов, необходимо использовать формализованный метод разбора и анализа нормативных актов и методических документов, а также синтеза на их основе.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы является анализ требований и рекомендаций пожарной и промышленной безопасности к объектам инфраструктуры водородной энергетики, содержащихся в отечественных и зарубежных нормативных документах [2]. При этом в качестве наиболее актуального российского нормативного документа рассмотрена Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р. Представленная в результатах исследования структура нормативного документа получена методом синтеза отдельных требований и рекомендаций локальных нормативных актов. Требования и рекомендации представлены в следующих документах: ISO/TR 15916: 2015 «Basic considerations for the safety of hydrogen systems»; ГОСТ Р 9.915–2010. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы, сплавы, покрытия, изделия. Методы испытаний на водородное охрупчивание; ГОСТ ISO 13984–2016. Водород сжиженный. Стыки систем заправки топливом автомобилей; ГОСТ Р ИСО 13985–2013. Жидкий водород. Топливные баки для наземного транспорта; ГОСТ ISO 23273–2015. Дорожные транспортные средства на топливных элементах. Требования безопасности. Защита от опасностей, связанных с применением сжатого водорода в качестве автомобильного топлива; постановление Госатомнадзора России от 31 декабря 2002 г. № 14 ФНП в области использования атомной энергии № НП-040-02 «Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции»; РД 34.50.501–96. Типовая инструкция по эксплуатации электролизных установок для получения водорода и кислорода; РД 153-34.0-45.512–97. Типовая инструкция по эксплуатации газомасляной системы водородного охлаждения генераторов; ПБ 03-598–03. Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды; ГОСТ Р МЭК 62282-3-100–2014. Технологии топливных элементов. Часть 3-100. Стационарные энергоустановки на топливных элементах. Безопасность; СП 162.1330610.2014. Требования безопасности при производстве, хранении, транспортировании и использовании жидкого водорода.

Результаты исследования и их обсуждение

Среди многообразных методов получения водородного топлива наиболее перспективными на данный момент являются следующие методы [3] (табл.).

Как видно из приведенной таблицы, подавляющая часть процессов требует значительных энергозатрат, высоких температур и давлений, что обуславливает высокий уровень техносферной опасности [4]. Причем при высоких температурах ускоряются деструктивные явления, связанные с водородной коррозией металла и изменением его структуры, деградации физико-механических свойств, приводящие в конечном итоге к образованию водородной хрупкости и разрушению технологического оборудования [5, 6].

Таблица. Краткая характеристика основных методов промышленной генерации водорода

Название метода	Исходное сырье	Описание процесса	Показатели эффективности
Переработка биомассы	Предварительно подготовленная ферментированная древесина	Термический нагрев биологической массы до 800 °С без доступа кислорода, побочные продукты: монооксид углерода, метан	Низкая себестоимость продукции, низкое качество
Термохимическое воздействие	Вода	Разложение воды в пиролизных или газогенераторных установках, с получением синтез-газа – смеси водорода монооксида углерода с примесями азота	Высокая себестоимость, низкое качество

Название метода	Исходное сырье	Описание процесса	Показатели эффективности
Паровая конверсия	Природный газ, метан	Синтез водорода из углеводородных газов в термических печах при температуре до 900 °С	Высокая эффективность, КПД до 80 %
Электролиз	Вода	В установке-электролизере электрический ток инициирует расщепление молекулы воды на молекулы водорода и кислорода	Высокая эффективность, КПД до 90 %
Газификация твердых ископаемых	Горючие сланцы, уголь	Преобразование твердого топлива в горючий газ в газогенераторной установке при температурах 1 000–2 000 °С в сверхadiaбатическом режиме	Высокая себестоимость, КПД до 98 %

По состоянию на 2019 г. в мире потребляется 75 млн т водорода, где основными потребителями являются нефтеперерабатывающие, нефтехимические и химические предприятия. Из них более 3/4 производят водород из природного газа (методом паровой конверсии), для чего расходуется более 205 млрд м³ газа [7]. Остальная часть водорода производится из угля и всего лишь 0,1 % (около 100 тыс. т) вырабатывается электролизом. При производстве водорода за счет низкоуглеродистой энергии в атмосферу поступает ~830 млн т CO₂. Себестоимость водорода, получаемого методом паровой конверсии природного газа, оценивается в 1,5–3 долл. за 1 кг.

Для обеспечения безопасности производственных процессов на объектах водородной энергетики необходимо обобщить и систематизировать накопленный опыт в части реализации организационно-технических мероприятий, в том числе:

- оценить необходимый объем и порядок проведения периодических регламентных работ по техническому обслуживанию технологического оборудования;
- ограничить круг методов и средств неразрушающего контроля аппаратов и трубопроводов, подверженных воздействию водородной коррозии с расчетно-экспериментальным обоснованием критериев оценки их технического состояния;
- актуализировать номенклатуры современных конструкционных материалов и технологий, пригодных для изготовления основного и вспомогательного оборудования;
- обозначить требования к конструктивному и аппаратурному обеспечению систем безопасности водородных производств;
- адаптировать алгоритмы и методики расчетов показателей, характеризующих риски при эксплуатации объектов водородной энергетики.

В части нормативного регулирования технологических процессов имеется очень ограниченный ряд нормативов, применение которых не дает возможности решать весь комплекс задач в обеспечении безопасности объектов производства, транспортирования и применения водородного топлива [8]. При этом 1 января 2021 г. был отменен нормативный документ ПБ 03-598–03, который регламентировал требования промышленной безопасности при производстве водорода методом электролиза воды на электростанциях.

Стандарты Международной организации по стандартизации (ИСО), в частности государственные стандарты ГОСТ ISO 13984–2016, ГОСТ Р ИСО 13985–2013, ГОСТ ISO 23273–2015, посвящены различным аспектам безопасности в области применения водорода в качестве топлива на транспорте [9]. В различных отраслях промышленности руководствуются документами отраслевого назначения, например, в атомной энергетике действует НП-040–02 Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции.

Для энергогенерирующих предприятий остаются актуальными типовые инструкции, регламентирующие требования безопасности при получении водорода методом электролиза воды и применении в качестве хладагента для электрогенераторов, а также ГОСТ Р МЭК 62282-3-100–2014 для обеспечения безопасности стационарных энергетических установок. Вопросы общего характера при проектировании предприятий для производства и использования жидкого водорода содержатся в своде правил СП 162.1330610.2014.

Рассматривая вопросы безопасности процесса получения водорода из природного газа, следует учитывать то, что процесс паровой конверсии природного газа сопровождается высокой температурой (наружная температура реакционных труб – 900–980 °С, а температура дымовых газов достигает 900–1100 °С) и давлением (давление сырья на входе и выходе изменяется в диапазоне 1,5–2,5 МПа, а насыщенный пар в котлах-утилизаторах может достигать 11,3 МПа). Для решения проблем обеспечения безопасности эксплуатации технологических установок производства и потребления водорода (в частности установок производства водорода методом паровой конверсии метана) необходимо разработать нормативно-техническую документацию, регламентирующую правила безопасности при проектировании и эксплуатации объектов водородной энергетики [10].

Структурно данный нормативный документ, в соответствии с имеющимся опытом создания документов подобного рода, может иметь следующий вид:

Раздел 1. Общие положения, где оговаривается область действия и объекты, на которые распространяется действие нормативного документа.

Раздел 2. Общие требования к технологическим процессам, связанным с обращением водорода.

Раздел 3. Требования к обеспечению безопасной эксплуатации опасных производственных объектов генерации водорода, его транспорта и хранения.

Раздел 4. Обслуживание и ремонт технологического оборудования и трубопроводов.

Раздел 5. Требования к анализу опасностей технологических процессов и количественному анализу риска аварий.

Наряду с общими положениями необходима разработка специальных требований к безопасности отдельных видов производства, транспортировки и использования водорода в зависимости от его агрегатного состояния. Специальные меры пожарной и промышленной безопасности отдельных производственных отраслей должны быть нацелены на необходимость специально планировать, осуществлять контроль на всех стадиях жизненного цикла технологических систем и устройств: при их проектировании, строительстве, изготовлении, хранении, перевозке, монтаже, наладке, эксплуатации, при выводе их из рабочего состояния и утилизации [11]. Помимо обеспечения безопасности систем и устройств необходима реализация правил охраны труда рабочего персонала, ношения ими средств индивидуальной защиты, допуска к работе, инструктажам и обучению работающего на таких объектах персонала.

Заключение

Приведенная структура нормативного документа, регулирующего безопасность водородных систем, может служить в качестве методической базы при обосновании показателей безопасности оборудования и трубопроводов, применяемых в установках получения водорода различными методами на всех стадиях технологического процесса. Кроме того, совершенствование расчетно-экспериментальных методов оценки техносферных рисков при производстве водорода позволит снизить масштабы потенциального ущерба от возможных аварий, обеспечения безопасности технологических установок генерации водорода, наиболее адекватного и оптимального (с точки зрения баланса затрат и эффективности) распределения применяемых средств на организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной и промышленной безопасности объектов водородной энергетики.

Список источников

1. Шелищ П.Б., Раменский А.Ю. Безопасность при работе с водородом // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 11. С. 93–105.
2. Шебеко Ю.Н. Нормативные документы, регламентирующие вопросы пожарной безопасности объектов инфраструктуры водородной энергетики // Пожарная безопасность. 2020. № 4 (101). С. 36–42.
3. Holladay J.D. An overview of hydrogen production technologies // Catalysis Today. 2019. № 4. С. 244.
4. Guandalini G., Campanari S., Valenti G. Comparative assessment and safety issues in state-of-the-art hydrogen production technologies // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Vol. 41. Iss. 42. P. 18 901–18 920.
5. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. М.: Химия, 1989. 672 с.
6. Влияние давления водорода на механизм водородной коррозии низколегированных сталей / Л.Н. Горчаков [и др.] // Химическая техника. 2016. № 1. С. 10–19.
7. Перепись водорода // Журнал «Газпром». 2019. Сентябрь. С. 42.
8. Раменский А.Ю. Вопросы формирования российской нормативно-технической базы и законодательства в области водородных технологий // ИТЦ «Водородные технологии». URL: http://h2center.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=126&Itemid=64 (дата обращения: 27.01.2022).
9. Шелищ П.Б., Раменский А.Ю. О состоянии и задачах стандартизации в сфере водородных технологий // Стандарты и качество. 2009. № 10. С. 28–31.
10. Overview of the DOE hydrogen safety, codes and standards program, part 3: Advances in research and development to enhance the scientific basis for hydrogen regulations, codes and standards / C.S. Marchi [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42. Iss. 11. Pp. 7 263–7 274.
11. Verfondern K., Nishihara T. Safety aspects of the combined HTTR/steam reforming complex for nuclear hydrogen production // Progress in Nuclear Energy. 2005. Vol. 47. Iss. 1–4. P. 527–534.

References

1. Shelishch P.B., Ramenskij A.Yu. Bezopasnost' pri rabote s vodorodom // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2009. № 11. S. 93–105.
2. Shebeko Yu.N. Normativnye dokumenty, reglamentiruyushchie voprosy pozharnoj bezopasnosti ob'ektov infrastruktury vodorodnoj energetiki // Pozharnaya bezopasnost'. 2020. № 4 (101). S. 36–42.
3. Holladay J.D. An overview of hydrogen production technologies // Catalysis Today. 2019. № 4. S. 244.
4. Guandalini G., Campanari S., Valenti G. Comparative assessment and safety issues in state-of-the-art hydrogen production technologies // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Vol. 41. Iss. 42. P. 18 901–18 920.
5. Gamburg D.Yu., Semenov V.P., Dubovkin N.F. Vodorod. Svoystva, poluchenie, hranenie, transportirovanie, primeneniye. M.: Himiya, 1989. 672 s.
6. Vliyanie davleniya vodoroda na mekhanizm vodorodnoj korrozii nizkolegirovannykh stalej / L.N. Gorchakov [i dr.] // Himicheskaya tekhnika. 2016. № 1. S. 10–19.
7. Perepis' vodoroda // Zhurnal «Gazprom». 2019. Sentyabr'. S. 42.
8. Ramenskij A.Yu. Voprosy formirovaniya rossijskoj normativno-tekhnicheskoy bazy i zakonodatel'stva v oblasti vodorodnykh tekhnologij // Oficial'nyj sayt ITC «Vodorodnye tekhnologii» i NP NAVE. URL: http://h2center.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=126&Itemid=64 (data obrashcheniya: 27.01.2022).
9. Shelishch P.B., Ramenskij A.Yu. O sostoyanii i zadachah standartizatsii v sfere vodorodnykh tekhnologij // Standarty i kachestvo. 2009. № 10. S. 28–31.

10. Overview of the DOE hydrogen safety, codes and standards program, part 3: Advances in research and development to enhance the scientific basis for hydrogen regulations, codes and standards / C.S. Marchi [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42. Iss. 11. P. 7 263–7 274.

11. Verfondern K., Nishihara T. Safety aspects of the combined HTTR/steam reforming complex for nuclear hydrogen production // Progress in Nuclear Energy. 2005. Vol. 47. Iss. 1–4. P. 527–534.

Информация об авторах:

Гафур Халафович Самигуллин, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: samigullin.g@igps.ru

Артем Леонидович Тимошенко, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: artem18181@gmail.com

Information about the authors:

Gafur Kh. Samigullin, professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: samigullin.g@igps.ru

Artem L. Timoshenko, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: artem18181@gmail.com

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.12.2021; одобрена после рецензирования: 02.02.2022;
принята к публикации: 09.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.12.2021; approved after review: 02.02.2022;
accepted for publication: 09.03.2022

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

УДК 629.783

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Юрий Евгеньевич Актерский✉;

Алексей Сергеевич Смирнов.

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

✉aue2002@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения космической системы мониторинга с целью предупреждения, раннего обнаружения, оценивания масштабов и последствий чрезвычайных ситуаций на промышленных и транспортных объектах нефтегазовой отрасли в Арктической зоне Российской Федерации. Нахождение таких объектов в малонаселенных, труднодоступных районах с чрезвычайно суровыми климатическими условиями значительно затрудняет решение указанных задач традиционными методами. Построение системы наблюдения за объектами нефтегазовой отрасли предлагается реализовать на основе низкоорбитальной группировки малых космических аппаратов, позволяющих вести мониторинг чрезвычайных ситуаций с применением многоспектральных систем оптико-электронного наблюдения высокого разрешения и радиолокационных станций с синтезированной апертурой. Предложены проектные решения и сформулированы рекомендации по разработке и практическому внедрению комплексных систем, способных обеспечить непрерывный дистанционный мониторинг чрезвычайных ситуаций в регионах и на объектах нефтегазовой отрасли в Арктической зоне Российской Федерации.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, Арктическая зона Российской Федерации, объекты нефтегазовой отрасли, малые космические аппараты, оптико-электронные системы наблюдения, радиолокационные станции с синтезированной апертурой

Для цитирования: Актерский Ю.Е., Смирнов А.С. Космический мониторинг чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли в Арктической зоне Российской Федерации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 51–59.

SPACE MONITORING OF EMERGENCY SITUATIONS AT OIL AND GAS INDUSTRY FACILITIES IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Yury E. Akterskiy✉; Aleksey S. Smirnov. Saint-Petersburg university of State fire service
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉aue2002@yandex.ru

Abstract. The issues of building a space monitoring system for the purpose of prevention, early detection, assessment of the scale and consequences of emergencies at industrial and transport facilities of the oil and gas industry in the Arctic zone of the Russian Federation are considered.

Finding such objects in sparsely populated, hard-to-reach areas with extremely harsh climatic conditions makes it much more difficult to solve these problems using traditional methods. It is proposed to implement the construction of a monitoring system for objects of the oil and gas industry on the basis of a low-orbit grouping of small spacecraft that allow monitoring emergency situations using multispectral high-resolution optical-electronic surveillance systems and synthetic aperture radar stations. Design solutions are proposed and recommendations are formulated for the development and practical implementation of integrated systems capable of providing continuous remote monitoring of emergency situations in the regions and at oil and gas industry facilities in the Arctic zone of the Russian Federation.

Keywords: remote sensing of the Earth, the Arctic zone of the Russian Federation, oil and gas facilities, small spacecraft, optoelectronic surveillance systems, synthetic aperture radar stations

For citation: Akterskiy Yu.E., Smirnov A.S. Space monitoring of emergency situations at oil and gas industry facilities in the Arctic zone of the Russian Federation // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 51–59.

Введение

Уже много десятилетий в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) ведется разведка и добыча различных полезных ископаемых и энергетических ресурсов. Одним из важнейших направлений такой деятельности является разведка, добыча, переработка и транспортировка до потребителя нефтегазового углеводородного сырья (УВС). В настоящее время Российская Федерация уверенно занимает лидирующее положение среди стран Арктической зоны по разведанным запасам нефти и газа (рис. 1).



Рис. 1. Объекты нефтегазовой отрасли в АЗ РФ

Российская Арктика охватывает огромные пространства, общая площадь которых с учетом прилегающих к ним внутренних и территориальных морей, а также континентального шельфа превышает 30 % общей территории страны.

В настоящее время в АЗ РФ разведано и эксплуатируется более 700 месторождений УВС, которые находятся как на континентальной части, так и в акваториях арктических морей [1]. Ориентировочные запасы УВС разведанных месторождений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Ориентировочные запасы УВС разведанных месторождений в АЗ РФ

Вид УВС	Месторасположение месторождений УВС	
	континентальная часть АЗ РФ	акватории морей АЗ РФ
Нефть, млрд т	51	20
Газ (свободный), трлн м ³	95	108
Газ (попутный), млрд м ³	2 876	2 554
Газовый конденсат, млн т	1 378	6 326

По предварительным оценкам специалистов, реальные запасы УВС в Российском секторе Арктики могут быть гораздо масштабнее и быть вполне сопоставимыми с аналогичными ресурсами бассейнов Ближнего Востока [2].

Цель работы – поиск, обоснование и разработка новых более эффективных средств и методов предупреждения, раннего обнаружения, оценивания масштабов и последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) на промышленных и транспортных объектах нефтегазовой отрасли в АЗ РФ.

Материалы и методы исследования

Несмотря на глобальные планы перехода мировой экономики на использование экологически чистой водородной энергетики [3], роль и значимость УВС в XXI в. вряд ли существенно потеряют свою актуальность. Исходя из этого, в настоящее время в нашей стране наблюдается острая необходимость расширения масштабов экономического, социально-политического и военного освоения Арктической зоны, акватории и инфраструктуры Северного морского пути.

Ключевым условием успешного и эффективного решения этой сложной проблемы является обеспечение комплексной безопасности и защиты проживающих в российской Арктике людей, опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли и территорий от различных ЧС природного и техногенного характера. В связи с обширными территориями Арктической зоны, чрезвычайно сложными климатическими условиями и большой удаленностью нефтегазовых объектов друг от друга практическая реализация этого требования с приемлемыми экономическими и временными затратами в современных условиях возможна только на основе использования космических систем дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ) и мониторинга ЧС. Перспективным направлением развития и применения таких систем для контроля арктических территорий является комплексное использование наряду с традиционными средними и тяжелыми космическими аппаратами ДЗЗ малых космических аппаратов (МКА) и орбитальных группировок на их основе (рис. 2).

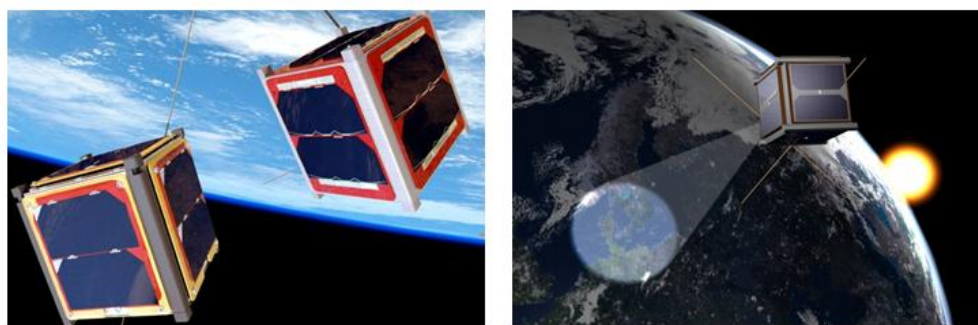


Рис. 2. Малые космические аппараты ДЗЗ и мониторинга ЧС

Сравнительный анализ технико-экономических параметров КА указанных категорий приведен в табл. 2.

Таблица 2. Техничко-экономические параметры КА

Тип КА ДЗЗ		Масса, кг	Стоимость, млн долл. США	Сроки создания, год
Малые	пикоспутники	до 5	до 1	до 1
	наноспутники	от 5 до 50	от 1 до 5	от 1 до 2
	мироспутники	от 50 до 200	от 5 до 50	от 1,5 до 3
	миниспутники	от 200 до 1 000	от 50 до 150	от 3 до 5
Средние		от 1 000 до 10 000	более 150	более 5
Тяжелые		более 10 000	более 300	до 10

Из анализа данных табл. 2 видно, что стоимость, сроки проектирования и создания космических аппаратов непосредственно связаны с их массой. Также масса КА оказывает существенное влияние на способ и стоимость их выведения на орбиту. С учетом этого можно сформулировать следующие основные достоинства разработки и целевого применения МКА ДЗЗ:

- существенное снижение экономических и временных затрат на проектирование, производство и наземные испытания;
- снижение экономических затрат и расширение возможностей по использованию для выведения на орбиту ракет-носителей различного класса;
- повышение достоверности и снижение временных затрат на получение мониторинговых данных на основе создания орбитальных группировок с большим количеством однотипных по характеристикам целевого оборудования МКА;
- расширение функциональных возможностей орбитальной мониторинговой группировки МКА на основе кластерной структуры с различными физическими принципами функционирования целевого оборудования;
- повышение функциональной надежности орбитальной группировки за счет возможности быстрого восполнения ее состава при необходимости;
- сокращение сроков внедрения новых и совершенствования используемых технологий построения МКА и их целевого оборудования.

Результаты исследования и их обсуждение

Широкое внедрение различных технологий использования МКА для дистанционного мониторинга ЧС обусловлено в настоящее время бурным развитием и совершенствованием различных отраслей науки и техники и, прежде всего, таких, как миниатюризация электроники и точной механики, повышение эффективности энергетических установок при существенном уменьшении веса и размеров, переход к цифровым технологиям в управлении сложными транспортными космическими платформами и их целевым оборудованием, многоступенчатая обработка информации зондирования Земли непосредственно на борту МКА, открытие и синтез новых технологий получения конструктивных материалов с заранее заданными свойствами и целым рядом других технических решений. Появившаяся возможность использования в качестве малых ракет-носителей модифицированных боевых межконтинентальных ракет также существенно расширяет масштабы использования МКА.

К традиционным задачам космических систем мониторинга и зондирования поверхности Земли с целью оперативного обнаружения природных и техногенных ЧС, в том числе в АЗ РФ, можно отнести следующие:

- периодическое или непрерывное наблюдение за наземными районами и акваториями с целью обнаружения на ранних стадиях развития чрезвычайных и кризисных ситуаций (повреждения технологического оборудования с аварийными выбросами и разливами углеводородных продуктов, природные ЧС и т.п.) и оценка их масштабов и последствий;
- наблюдение и оценивание динамики изменения ледовых покровов морей Арктической зоны, акватории Северного морского пути, судоходных рек и состояния снежного и ледяного покрова прилегающих районов;
- раннее выявление признаков и масштабов загрязнения природной среды;
- обнаружение и количественное оценивание морской и наземной биомассы, определение состояния и состава береговой и континентальной растительности Арктической зоны;
- мониторинг состояния и динамики изменения площадных границ населенных пунктов в труднодоступных районах Крайнего Севера, различных объектов промышленной и социальной инфраструктуры, ведение и актуализация кадастрового учета и планов земельных участков Арктической зоны, создание цифровых моделей и карт рельефа местности и т.п.

Все эти задачи в настоящее время могут успешно решаться орбитальными группировками МКА с оптико-электронными и радиолокационными средствами дистанционного зондирования земной поверхности. Особенно эффективно решение этих задач

может быть реализовано при создании орбитальных группировок на базе объединенных в кластеры МКА с оптико-электронной, радиолокационной и связной целевой аппаратурой. Такое комплексирование разнородных средств наблюдения позволяет получить новые функциональные возможности, среди которых можно отметить следующие [4]:

1. Возможность получения объемного стереоэффекта при мониторинге различных ЧС на контролируемых объектах и территориях на основе многопозиционности, многоспектральности, многодиапазонности при одновременном наблюдении с нескольких МКА.

2. Значительное повышение информативности наблюдения за контролируемыми объектами и территориями на основе комплексной обработки информации от разнородных по физическим принципам функционирования бортовых комплексов целевой аппаратуры МКА.

3. Существенное снижение временных задержек предоставления мониторинговой информации потребителям за счет упреждающего информационного взаимодействия последовательно входящих в зону видимости объекта других кластеров МКА орбитальной группировки.

Однако комплексирование разнородного по энергопотреблению и функциональным возможностям целевого оборудования приводит к необходимости учета ряда существенных ограничений:

– создание стабильной группировки кластеров разнородных МКА и обеспечение ее долгосрочного целевого функционирования накладывает жесткие требования на баллистические орбитальные параметры всех КА, а, следовательно, и на системы вывода и управления всеми элементами такой группировки;

– состав и тактико-технические характеристики основного комплекса целевого и вспомогательного мониторингового и телекоммуникационного оборудования существенно ограничены небольшими размерами КА и малыми бортовыми энергетическими ресурсами;

– для снижения затрат и повышения эффективности целевого использования мониторинговой орбитальной группировки на основе кластеров МКА целесообразно использовать наземные комплексы управления, связи и ретрансляции уже развернутые для орбитальных группировок на основе средних и больших КА.

Технические характеристики и особенности функционирования основной целевой аппаратуры наблюдения также оказывают существенное влияние на функциональные возможности орбитальной группировки МКА ДЗЗ.

Так, например, особенности установки оптико-электронных средств разведки и наблюдения (ОЭСРН) на малые и сверхмалые КА заключаются в жесткой их связи с корпусом технологического отсека МКА, поэтому проведение работы по наблюдению за объектами может вестись либо только в надире, либо с использованием дополнительных поворотных зеркал.

Увеличение размера кадра может быть обеспечено путем применения двух- и трехкамерных оптических системы с перекрывающимися полосами обзора (рис. 3).

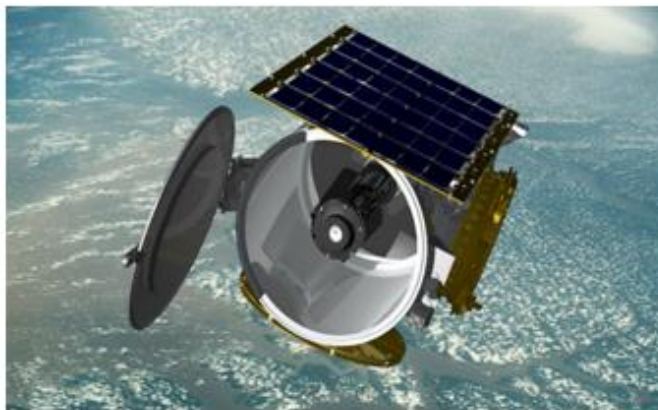


Рис. 3. МКА с ОЭСН

Выбор обзорного или детального режима наблюдения может осуществляться в этом случае путем переключения с широкоугольной системы мониторинга на узкоугольную. Однако из-за ограничений по размерам и массе МКА применение на них ОЭСРН возможно только с небольшими размерами оптического объектива и фокусного расстояния, что затрудняет достижение высокой разрешающей способности при проведении дистанционного зондирования земли. Кроме того, формируемые ОЭСРН МКА изображения имеют определенную погрешность геопривязки из-за невысокой точности системы ориентации МКА – от нескольких сотен метров до единиц километров.

Для компенсации и преодоления указанных функциональных ограничений обычных панхроматических ОЭСРН на МКА ДЗЗ предлагается устанавливать многоспектральные оптико-электронные средства разведки и наблюдения за наземными объектами.

Применение современных многоспектральных оптико-электронных средств разведки и наблюдения позволяет повысить достоверность и информативность данных об объектах наблюдения с одновременно снизить требования к бортовым ОЭСРН по разрешающей способности за счет использования при распознавании новой системы признаков на основе спектральных характеристик зарегистрированного оптического излучения [5].

Бортовые радиолокационные средства разведки и наблюдения (РЛСРН) орбитальных группировок МКА ДЗЗ в отличие от ОЭСРН могут оперативно предоставлять информацию о контролируемых объектах в любое время суток независимо от метеорологической обстановки, что является важнейшим условием построения космических систем ДЗЗ с возможностью мониторинга ЧС и аварий на арктических объектах нефтегазового комплекса Российской Федерации и прилегающей акватории Северного морского пути.

Проведенный анализ известных отечественных и зарубежных статистических данных показал, что в современных условиях наблюдается существенный дисбаланс в количественном составе МКА дистанционного зондирования земли с ОЭСРН и РЛСРН. Общее количество МКА ДЗЗ первого типа значительно превышает количество МКА с целевой аппаратурой радиолокационного наблюдения. Это обусловлено значительно большей сложностью создания радиолокационных средств разведки и наблюдения с требуемыми для МКА размерами и массой, энергопотреблением и теплообменом, структурой и тактико-техническими характеристиками антенных систем.

К основным причинам ограничений тактико-технических возможностей МКА ДЗЗ с РЛСРН можно отнести следующие:

- относительно небольшие размеры солнечных батарей и малая емкость бортовых аккумуляторов существенно ограничивают номенклатуру и функциональные возможности основного целевого и вспомогательного оборудования;
- недостаток бортовой энергетики не позволяет использовать в радиолокаторах мощные передающие устройства [6];
- ограниченные размеры антенных устройств снижают чувствительность приемной аппаратуры и разрешающую способность;
- малые размеры космического аппарата не позволяют использовать сложные энергоемкие системы коррекции и управления траекторными параметрами, что затрудняет точное и оперативное позиционирование целевого оборудования;
- ограниченные возможности по производительности, объему памяти и пропускной способности систем обработки и передачи данных мониторинга.

Перечисленные причины функциональных ограничений МКА ДЗЗ с РЛСРН должны учитываться при их проектировании и построении мониторинговых орбитальных группировок. Одним из основных направлений работ по преодолению данных ограничений является разработка и внедрение энергосберегающих космических РЛС с синтезированной апертурой (РСА) [7].

В ходе проведенных исследований было установлено, что для построения перспективной мониторинговой космической орбитальной группировки на основе кластеров МКА наиболее целесообразно использовать РСА с активной фазированной антенной решеткой. В этом случае может быть достигнут результат рационального сочетания требований по разрешающей

способности бортовой РСА, размером зоны разведки и наблюдения при заданных ограничениях на электрическую мощность систем электропитания МКА. С учетом ограничений на количественный состав орбитальной группировки наиболее эффективными будут являться круговые орбиты с высотой около 500 км, при этом мониторинговая полоса в детальном и обзорном режимах составит от 5 до 200 км соответственно. При данных орбитальных параметрах и технических характеристиках целевого оборудования для мониторинга арктических объектов отечественного нефтегазового комплекса и прилегающих акваторий северных морей необходимо реализовать около 50 полос обзора [3]. Моделирование и расчеты показали, что для достижения этих требований достаточно создание орбитальной группировки в составе четырех МКА ДЗЗ, находящихся в одной орбитальной плоскости и равноудаленных друг от друга. При увеличении в перспективе количества аналогичных орбитальных плоскостей может быть достигнут непрерывный мониторинг контролируемых областей и объектов.

Одним из важнейших вопросов создания предлагаемых орбитальных группировок на основе кластеров МКА ДЗЗ является выбор способа и средств выведения. Основным критерием при этом является экономическая эффективность. В соответствии с данным критерием наиболее рациональными с точки зрения затрат являются запуски группы в составе 10–30 МКА ДЗЗ с помощью легких и средних ракет-носителей. Однако объективные трудности в космической отрасли России не позволяют рассчитывать на массовое производство подобных средств выведения в ближайшие годы.

В этих условиях наиболее приемлемым вариантом создания орбитальной группировки может стать использование в качестве средства выведения ракетно-космического комплекса «Старт» на базе снимаемых с вооружения межконтинентальных баллистических ракет «Тополь-М». Тактико-технические характеристики данного ракетного комплекса позволяют выводить полезную нагрузку до 700 кг в виде группы МКА на полярные орбиты с высотой 450–550 км. Также положительной особенностью данного комплекса являются крайне низкие требования к наземной инфраструктуре при проведении запусков ракет-носителей, что легко позволяет использовать их практически на всех существующих отечественных космодромах для создания различных вариантов орбитальных группировок на основе кластеров МКА ДЗЗ.

Заключение

Таким образом, на основе анализа мировых и отечественных тенденций создания МКА ДЗЗ и средств их выведения, а также перспектив развития отечественных средств выведения можно сделать вывод о том, что существуют технические возможности создания космической системы ДЗЗ на основе МКА с целью решения задач мониторинга, предупреждения, раннего обнаружения, оценивания масштабов и последствий ЧС на промышленных и транспортных объектах нефтегазовой отрасли в АЗ РФ. Построение данной системы на основе группировки как минимум из четырех КА на орбите высотой 500 ... 550 км обеспечит оперативное наблюдение арктических территорий и объектов.

Рациональным и экономически обоснованным для формирования орбитальной группировки МКА ДЗЗ для наблюдения за объектами и территориями в АЗ РФ является использование РКК легкого класса семейства «Старт» на базе выводимых из эксплуатации МБР «Тополь-М».

Список источников

1. Конторович А.Э. Энергоресурсы Российского сектора Арктики, главные направления и методы их освоения // Научно-технические проблемы освоения Арктики: научная сессия Общего собрания членов РАН. М.: Наука, 2014. С. 31–39.
2. Арктический вектор геологических исследований: нефтегазовые и минерально-сырьевые ресурсы / А.М. Асхабов [и др.] // Вестник Института геологии Коми НЦ Уро РАН. 2014. № 9. С. 3–10.

3. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации до 2050 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 5 авг. 2021 г. № 2162-р. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

4. Кукушкин С.С., Николаев Б.П., Потюпкин А.Ю. Прикладные направления целевого применения кластера малогабаритных космических аппаратов // Двойные технологии. 2008. № 2 (43). С. 16–20.

5. Потюпкин А.Ю., Данилин Н.С., Селиванов А.С. Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4. С. 45–56.

6. Перспективные технологии создания космического комплекса радиолокационного зондирования Земли на базе малых космических аппаратов и ракет-носителей легкого класса / Н.А. Голов [и др.] // Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. № 5. С. 1–20.

7. Модель эволюции сложных технических систем, функционирующих в условиях неопределенности / Ю.Е. Актерский [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2005. № 174. С. 32–38.

References

1. Kontorovich A.E. Energoresursy Rossijskogo sektora Arktiki, glavnye napravleniya i metody ih osvoeniya // Nauchno-tekhnicheskie problemy osvoeniya Arktiki: nauchnaya sessiya Obshchego sobraniya chlenov RAN. M.: Nauka, 2014. S. 31–39.

2. Arkticheskiy vektor geologicheskikh issledovaniy: neftegazovye i mineral'no-syr'evye resursy / A.M. Askhabov [i dr.] // Vestnik Instituta geologii Komi NC Uro RAN. 2014. № 9. S. 3–10.

3. Konceptiya razvitiya vodorodnoj energetiki v Rossijskoj Federacii do 2050 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 5 avg. 2021 g. № 2162-r. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».

4. Kukushkin S.S., Nikolaev B.P., Potyupkin A.Yu. Prikladnye napravleniya celevogo primeneniya klastera malogabaritnyh kosmicheskikh apparatov // Dvojnye tekhnologii. 2008. № 2 (43). S. 16–20.

5. Potyupkin A.Yu., Danilin N.S., Selivanov A.S. Klasteri malorazmernyh kosmicheskikh apparatov kak novyj tip kosmicheskikh ob"ektov // Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informacionnye sistemy. 2017. T. 4. S. 45–56.

6. Perspektivnye tekhnologii sozdaniya kosmicheskogo kompleksa radiolokacionnogo zondirovaniya Zemli na baze malyh kosmicheskikh apparatov i raket-nositelej legkogo klassa / N.A. Golov [i dr.] // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. 2019. № 5. S. 1–20.

7. Model' evolyucii slozhnyh tekhnicheskikh sistem, funkcioniruyushchih v usloviyah neopredelennosti / Yu.E. Akterskiy [i dr.] // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2005. № 174. S. 32–38.

Информация об авторах:

Юрий Евгеньевич Актерский, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Алексей Сергеевич Смирнов, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Information about the authors:

Yury E. Aktersky, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Alexey S. Smirnov, First deputy head of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.02.2022; одобрена после рецензирования: 14.03.2022;
принята к публикации: 16.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 25.02.2022; approved after review: 14.03.2022;
accepted for publication: 16.03.2022

УДК 004.05:504.064:656.13

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЯВЛЕНИЯ ДИФФУЗИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В АТМОСФЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Владимир Николаевич Ложкин✉.

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

✉vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. Исследованы закономерности техногенного физического явления диффузии поллютантов от улично-дорожных сетей и других источников выбросов в атмосфере Санкт-Петербурга. Установлено, что характер накопления и перемещения поллютантов вместе с воздушными массами в пределах территории города зависит от физического состояния приземного слоя стратифицированной атмосферы (температурная инверсия, направление и скорость ветра) и напряженности работы транспортного и теплоэнергетического секторов промышленности.

Ключевые слова: город, атмосфера, автомобили, объекты энергетики, поллютанты, диффузия, математическая физика

Для цитирования: Ложкин В.Н. Закономерности развития техногенного явления диффузии поллютантов в атмосфере Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 60–66.

REGULARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOGENIC PHENOMENON OF DIFFUSION OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE OF SAINT-PETERSBURG

Vladimir N. Lozhkin.

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

✉vnlojkin@yandex.ru

Abstract. The regularities of the technogenic physical phenomenon of diffusion of pollutants from street-road networks and other sources of emissions in the atmosphere of Saint Petersburg have been investigated. It has been established that the nature of the accumulation and movement of pollutants together with air masses within the city depends on the physical state of the surface layer of the stratified atmosphere (temperature inversion, wind direction and speed) and the intensity of the transport and heat-and-power sectors of industry.

Keywords: city, atmosphere, cars, energy objects, pollutants, diffusion, mathematical physics

For citation: Lozhkin V.N. Regularities of the development of the technogenic phenomenon of diffusion of pollutants in the atmosphere of Saint-Petersburg // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 60–66

Введение

Санкт-Петербург является крупным промышленно-транспортным мегаполисом, в котором непрерывно функционируют все виды транспортных сообщений – автомобили, поезда, суда, авиалайнеры, а также предприятия теплового энергетического обеспечения – подавляющая часть, за исключением Ленинградской атомной электростанции им. В.И. Ленина мощностью в 4 000 МВт (0,33 % общей установленной мощности генерации энергии городскими электростанциями [1]), расположенной в г. Сосновый Бор. Объекты транспорта и промышленности, источником энергии которых являются углеводороды, угарным газом (СО), окислами азота (NO_x), пылевыми частицами смога опасных размеров PM₁₀ и PM_{2,5}, окислами

серы (SO_x) и шумом оказывают негативное санитарно-гигиеническое воздействие на здоровье почти пятимиллионного городского населения [2] и влияют на изменение климата [3] с высокими экономическими потерями [4]. Отмеченные опасные вещества, попадая в атмосферу, подхватываясь воздушными массами и рассеиваясь в них, неравномерно распределяются по городской территории. Закономерности явления диффузии и конвекции веществ зависят от физического состояния атмосферы, которое непрерывно меняется под воздействием разномасштабных циклонов. В статье приводятся результаты исследования этого актуального природно-техногенного явления на основе физического и математического моделирования.

Состояние проблемы

Бурные общественно-политические процессы конца XX и начала XXI вв., инициируемые озабоченностью изменением климата (потеплением) и ухудшением санитарного состояния воздушной среды, привели к необходимости радикальных изменений государственного и мирового энергетических укладов экономик в направлении декарбонизации, повышения эффективности, сокращения эмиссии парниковых газов и поллютантов [3].

К настоящему времени в США, Англии, Канаде, странах Европейского Сообщества (ЕС) накоплен положительный опыт использования альтернативной безуглеродной энергии ветра, солнца и воды [5]. В быту и на отдельных промышленных предприятиях полностью замещено ископаемое топливо: уголь, производные нефти, сжатый и сжиженный газ. Природный газ при этом используется в качестве резервного и вспомогательного энергоносителя, например, для устойчивого горения биологического топлива (рапсового, пальмового масел) и горючего сырья, получаемого переработкой бытовых и производственных отходов [6]. Россия с принятием нормативно-правовых актов в сфере возобновляемых источников энергии [7] вступает в этап активной ликвидации сложившегося к 2017 г. отставания уровней энергоёмкости ВВП (рис. 1), выраженной в кг нефтяного эквивалента (н.э.), отнесенных к долларам США.

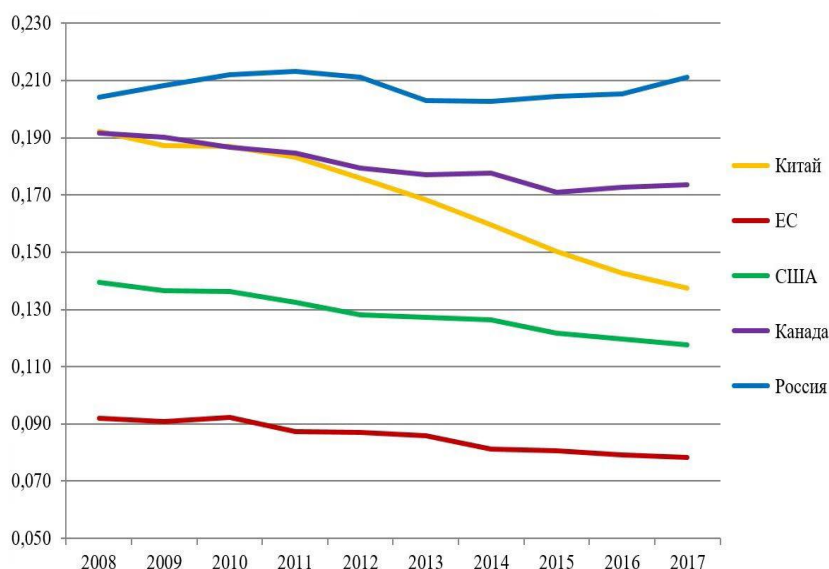


Рис. 1. Энергоёмкость ВВП Китая, ЕС, США, Канады и России, 2008–2017 гг., кг н.э./долл. США [7]

Вместе с декарбонизацией рабочих процессов горения в силовых и энергетических установках на объектах транспорта и тепловой энергетики [2, 3, 5, 6], работающих на ископаемых видах топлива, актуализировалась задача контроля поступления опасных веществ в атмосферу Санкт-Петербурга и выявления закономерностей их миграции с использованием математического моделирования процессов по данным измерений.

Методика и результаты исследования

Данные измерений концентраций, загрязняющих городской атмосферный воздух, веществ (ЗВ), в показателях превышения ПДК_{МР} (рис. 2) взяты с официального портала Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга (Комитет) (URL: www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology).

Расположение станций наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге (www.infoeco.ru)

Система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга включает 25 автоматических станций. Проводится круглосуточное определение (каждые 20 минут) $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 , NO , O_3 , а также фенола, ароматических углеводородов; на станции №8 дополнительно определяется бенз(а)пирен.

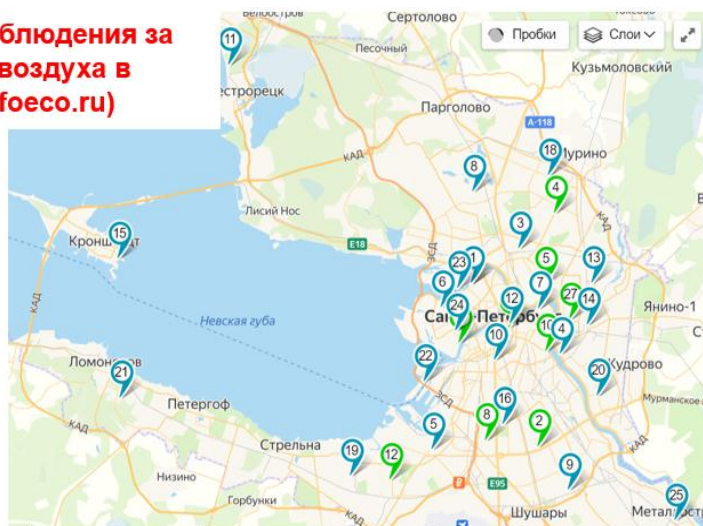


Рис. 2. Компоненты интеллектуальной информационной системы контроля в режиме «онлайн» качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге

Инструментальный контроль качества атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга и примыкающей к городской черте акватории Финского залива производится в непрерывном режиме с помощью 23 стационарных станций, 2 метеостанций и 3 передвижных лабораторий, размещенных в микроавтобусах. Эксплуатация оборудования, включая газоаналитические средства, производится ГГУП «Специализированная фирма «Минерал» (Санкт-Петербург). Интеллектуальная автоматизированная цифровая информационная система создавалась Комитетом при поддержке ОАО «НИИ Атмосферного воздуха», ГГО им. А.И. Воейкова, ВНИМ им. Д.И. Менделеева с участием метеорологического Института Финляндии, Института гидрологии и метеорологии Швеции и работает с 2005 г.

Для моделирования атмосферных процессов диффузии ЗВ использовалась теория Гаусса, согласно которой закономерности распространения опасных компонентов в стратифицированной воздушной среде подчиняются нормальному закону распределения:

$$q(t, x, y, z) = \frac{Q \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \quad (1)$$

После математического преобразования выражения (1) на основе принципа суперпозиции и последующей замены интеграла, с использованием кубатурных формул, на конечную сумму (промежуточные аналитические преобразования приводятся в работе [8]) получаем, окончательно, формулу для расчета концентрации ЗВ:

$$q_n(t, x_i, y_i, z_i) = \sum_{i=1}^N C_i \frac{Q \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x_i-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y_i-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z_i-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) x_0, y_0, z_0 – координаты источника выброса ЗВ, м; Q – мощность источника (интенсивность выброса ЗВ), г/с; V_x – коэффициент, учитывающий влияние на перенос ЗВ скорости ветра при допущении, что система координат сориентирована в пространстве таким образом, что ось OX совпадает с направлением ветра, м/с; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – средние квадратичные отклонения координат ЗВ в момент времени t соответственно вдоль координатных осей OX, OY, OZ .

Для повышения эффективности и точности счета концентрации ЗВ (q) при обработке большого количества данных измерений концентраций ЗВ станциями наблюдения (рис. 2) уравнение (2) использовалось как модель, соответствующая искусственным нейронным сетям с радиальными базисными функциями (в конкретно решаемой задаче базисная функция – это Гауссиан). Настройка весов сети, линейно и нелинейно входящих параметров C_i и x_i, y_i, z_i , – осуществлялась путем минимизации функционала ошибки по методике [8].

Нейронные сети строились методом RProp в разных количественных сочетаниях нейронов ($n=5; 10; 15$ и 20), а также с применением комбинации метода «облака» из трех частиц ($n_1=3$) и метода RProp [8]. В «численном эксперименте» более точные результаты получились для комбинации $n=5; n_1=3$. Расчеты проводились с использованием программного обеспечения Mathematica компании Wolfram Research.

Предметом исследования являлись закономерности распределения ЗВ в воздушной среде территории Санкт-Петербурга при изменении физического состояния атмосферы, определяемого отсутствием/наличием ветровой нагрузки, направления ее действия и стратификацией/инверсией температуры в приземном слое. Вероятные сценарии проведения «численных экспериментов» с использованием нейронных моделей выбирались аналогично работе [8].

В качестве примера реализации разработанной методологии изучения закономерностей развития техногенного явления диффузии поллютантов в атмосфере Санкт-Петербурга на рис. 3 продемонстрированы:

- иллюстрация на фото сценария с наиболее характерным для города физическим состоянием атмосферы (рис. 3 а) – умеренный ветер с юга-запада на северо-восток со слабовыраженной температурной инверсией в приземном слое атмосферы (дым над трубой Южной ТЭЦ Санкт-Петербурга выходит и переносится вместе с воздушными массами в северо-восточном направлении со слабовыраженным подъемом над поверхностью земли) и соответствующая такому физическому (метеорологическому) состоянию атмосферы;

- визуализация (рис. 3 б) в форме 3D-модели результатов расчета значений превышения концентраций PM_{10} предельно допустимого значения максимальной разовой концентрации PM_{10} и закономерностей изменения загрязнения воздуха Санкт-Петербурга твердыми частиц опасного размера PM_{10} , преимущественно сажи. В целом картина загрязнения воздуха на рис. 3 б приведена в условно-расчетных геометрических параметрах, соответствующих схеме изображения территории города в географических границах рис. 2.

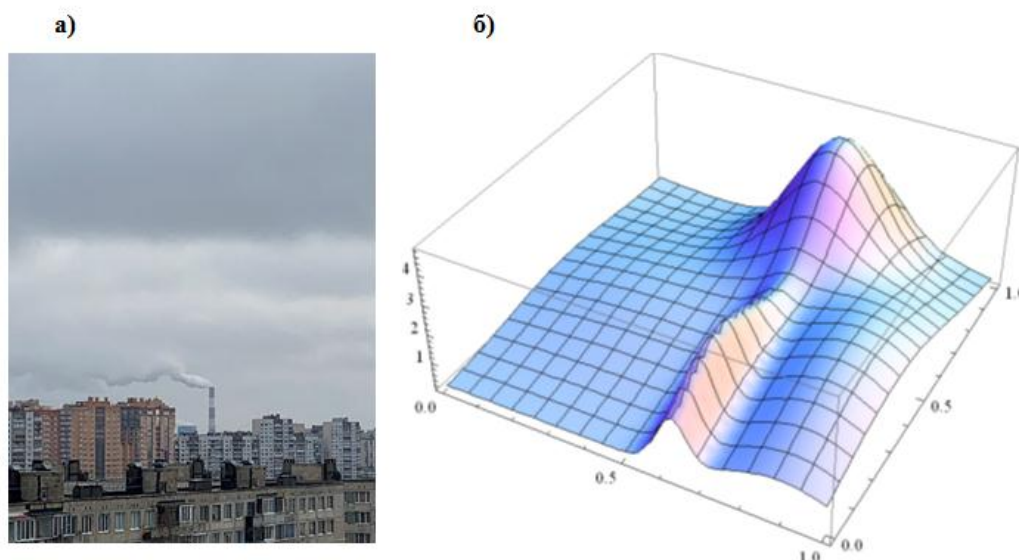


Рис. 3. Соответствующая вероятному физическому состоянию атмосферы (а) расчетная 3D-визуализация загрязнения воздуха твердыми частицами опасного размера PM_{10} на территории Санкт-Петербурга (б)

Картина загрязнения воздуха на рис. 3 б демонстрирует, что:

- умеренные юго-западные ветра способствуют накоплению PM_{10} в центральной и, в основном, в северо-восточной частях города, что может привести к повышению концентрации PM_{10} в сравнении с другими городскими районами;

- при неблагоприятных погодных условиях (приземная температурная инверсия) загрязнение воздуха в данных районах Санкт-Петербурга может в 1,1–3,5 раза превысить предельно допустимое значение ПДК_{МР}, регламентируемое национальными стандартами Российской Федерации.

Спонтанно сложившийся высокий уровень загрязнения воздуха над центральным и, особенно, над северо-восточными районами, по-видимому, объясняется более высокой плотностью автомобильного движения в часы «пик» в этих районах и постепенным смещением ранее образовавшегося облака смога к центру города и к его северо-восточным окраинам. Длительное пребывание городского населения в часы «пик» транспортной нагрузки при неблагоприятных факторах метеорологических погодных условий может оказаться небезопасным.

Выводы

1. На основании полученных в ходе исследования результатов можно сделать вывод о том, что распределение по территории Санкт-Петербурга твердых частиц сажи опасного размера PM_{10} от работы транспорта и городских теплоцентралей (на эти источники в городе приходится не менее 90 % вредных выбросов с продуктами сжигания углеводородов) ожидаемо – всецело зависит от скорости, направления ветровой нагрузки, стратификации и инверсии.

2. При наиболее вероятной для Санкт-Петербурга погоде с умеренной ветровой нагрузкой с юго-запада наивысший уровень загрязнения PM_{10} следует ожидать в центральном районе и на северо-восточных окраинах. Если в приземном слое атмосферы при этом имеет место инверсия температуры, то в часы «пик» автомобильного движения загрязнения атмосферного воздуха PM_{10} могут в 1,1–3,5 раза превысить предельно допустимое значение ПДК_{МР}.

3. Улучшить экологическую ситуацию в городе возможно путем перехода на возобновляемые источники получения электрической энергии [7], перевода транспорта на гибридные и электрические силовые установки с рекуперацией тепловой энергии [8].

Список источников

1. Исторические максимумы потребления в энергосистемах ОЭС Северо-Запада // Открытое акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС»). URL: www.so-ops.ru/index.php?id=oes_northwest__gen_consump_hour (дата обращения: 23.11.2021).

2. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On information technology development for monitoring of air pollution by road and water transport in large port cities (St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol) // Modern information technology and IT education. SITITO 2018. Communications in computer and information science. Springer, Cham. 2020. Vol. 1201. pp. 384–396. DOI: 10.1007/978-3-030-46895-8_30.

3. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer. 2020. XXIII. 417 s. Doi.org/10.1007/978-3-030-31125-4.

4. Ложкин В.Н., Мусиенко Т.В., Ложкина О.В. Методология прогноза экологического ущерба от транспортного сектора в Санкт-Петербурге // Ученые записки Международного банковского института. 2019. Вып. № 3 (29). С. 91–107.

5. Government of Canada. PanCanadian framework on clean growth and climate change. URL: www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html (дата обращения: 20.11.2021).

6. Гашо Е.Г. Берлинская неделя возобновляемой энергетики «RENEWABLE ENERGY AND EFFICIENCY WEEK» 19–23 ноября 2018 г. // Электронный журнал «ЭНЕРГОСОВЕТ». 2018. № 4 (54). С. 48–49.

7. Об ограничении выбросов парниковых газов: Федер. закон от 2 июля 2021 г. № 296-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Контроль и прогнозирование эффективности управления чрезвычайным воздействием транспорта на городскую среду и население: монография. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 220 с.

References

1. Istoricheskie maksimumy potrebleniya v energosistemah OES Severo-Zapada // Otkrytoe akcionerное obshchestvo «Sistemnyj operator Edinoj energeticheskoy sistemy» (АО «SO EES»). URL: www.so-ops.ru/index.php?id=oes_northwest__gen_consump_hour (data obrashcheniya: 23.11.2021).

2. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On information technology development for monitoring of air pollution by road and water transport in large port cities (St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol) // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2020. Vol. 1201. pp. 384–396. DOI: 10.1007/978-3-030-46895-8_30.

3. Wael K. Al-Delaimy and others Health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer. 2020. XXIII. 417 s. Doi.org/10.1007/978-3-030-31125-4.

4. Lozhkin V.N., Musienko T.V., Lozhkina O.V. Metodologiya prognoza ekologicheskogo ushcherba ot transportnogo sektora v Sankt-Peterburge // Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta. 2019. Vyp. № 3 (29). С. 91–107.

5. Government of Canada. PanCanadian framework on clean growth and climate change. URL: www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html (data obrashcheniya: 20.11.2021).

6. Gasho E.G. Berlinskaya nedelya vozobnovlyaeмой energetiki «RENEWABLE ENERGY AND EFFICIENCY WEEK» 19–23 noyabrya 2018 g. // Elektronnyj zhurnal «ENERGOSOVET». 2018. № 4 (54). S. 48–49.

7. Ob ogranichenii vybrosov parnikovyh gazov: Feder. zakon ot 2 iyulya 2021 g. № 296-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

8. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Kontrol' i prognozirovaniye effektivnosti upravleniya chrezvychajnym vozdejstviem transporta na gorodskuyu sredu i naselenie: monografiya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 220 s.

Информация об авторах:

Владимир Николаевич Ложкин, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>

Information about the authors:

Vladimir N. Lozhkin, professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022; принята к публикации: 11.02.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 03.02.2022; accepted for publication: 11.02.2022.

УДК 614.8

КАСКАДНОСТЬ ВЗАИМНЫХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ – РЕЗУЛЬТАТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Сергей Григорьевич Ивахнюк✉.

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

✉sgi78@mail.ru

Аннотация. Установлены объективные причины, обосновывающие и объясняющие каскадные сценарии взаимного перехода чрезвычайных ситуаций одного вида в другие. Для понимания причинно-следственной связи каскадного развития чрезвычайных ситуаций предложена новая дидактическая модель – «треугольник чрезвычайных ситуаций» и ее графическая интерпретация. Показано, что основными побудителями и сценариями взаимного перехода различных видов чрезвычайных ситуаций являются не только техногенные и природные процессы, но и генетически объединяющие их проявления политического, экологического и религиозного терроризма – биосоциальные чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: технологические уклады, генезис чрезвычайных ситуаций, каскадность чрезвычайных ситуаций, треугольник чрезвычайных ситуаций, терроризм

Для цитирования: Ивахнюк С.Г. Каскадность взаимных возникновения и развития чрезвычайных ситуаций – результат научно-технического прогресса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 67–77.

CASCADING OF MUTUAL OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF EMERGENCIES – THE RESULT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS

Sergey G. Ivakhnyuk✉.

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

✉sgi78@mail.ru

Abstract. Objective reasons have been established that justify and explain cascading scenarios for the mutual transition of emergencies of one type to another. To understand the causal relationship of cascade development of emergencies, a new didactic model – the «triangle of emergencies» and its graphical interpretation is proposed. It has been shown that the main drivers and scenarios for the mutual transition of various types of emergencies are not only man-made and natural processes, but also genetically combining their manifestations of political, environmental and religious terrorism – biosocial emergencies.

Keywords: tenor of technology, genesis of emergencies, cascading of emergencies, triangle of emergencies, terrorism

For citation: Ivakhnyuk S.G. Cascading of mutual occurrence and development of emergencies – the result of scientific and technological progress // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 67–77.

Введение

В современной технической литературе традиционно бытует стереотип об аппаратно-машинной каскадности развития техногенных чрезвычайных ситуаций (от резервуара к резервуару, от реактора к реактору и т.п.) [1]. Вместе с тем считают, что мировое промышленное производство своими корнями уходит в те далекие времена, когда появились

первые рукотворные химические реакторы (костры) и первые «промышленные» продукты (древесный уголь и зола) [2].

Эти сведения наводят на мысль о том, что предтечей промышленного производства являются именно химические процессы. В этой связи было бы разумным сопоставить череду технологических укладов развития мировой экономики с историей становления химической науки и промышленных технологий, тем самым выявить некую корреляционную закономерность между ними и экспоненциальным ростом различных видов чрезвычайных ситуаций (ЧС): природных (ПЧС), техногенных (ТЧС), биосоциальных (БСЧС) [3], которым ознаменовался особенно конец XX – начало XXI вв. [4].

Состояние вопроса

Общепризнанной мировой экономической наукой в настоящее время является теория технологических укладов, у истоков которых стояли наши соотечественники академики Н.Д. Кондратьев и С.Ю. Глазьев. Основные положения этой теории иллюстрирует рис. 1 [5], где границы существования технологических укладов определены хронологически.



Рис. 1. Периодизация технологических укладов

Однако подобная периодизация не включает в себя собственно промышленные предтечи мирового производства (согласно теории первый технологический уклад берет свое начало в 1770 г.) и не может служить своеобразным стержнем, соосным развитию научно-технического прогресса и состоянию пожарной и промышленной безопасности в обществе.

Первый технологический уклад (1790–1840 гг.) характеризуется в первую очередь прорывными инновациями в химической технологии (синтетические красители и моющие средства) и их основным потребителем – текстильной промышленностью. В 1730 г. Джоном Кеем был изобретен челночный ткацкий станок, чуть позднее ускорился процесс механизации прядения. На фабриках впервые начался процесс механизации, которая стала источником непрерывного и систематического расширения сферы применения машинной техники в одной смежной отрасли за другой. В XVIII в. паровую машину применяли для откачки воды из шахт, для дутья в горны и ковки железа, а затем и для замены водяного колеса в силовых установках. В период завершающей фазы промышленной революции машины стали намного сложнее и появился универсальный паровой двигатель [6].

Второй технологический уклад (1840–1890 гг.) – период полной победы машинного производства над мануфактурной организацией труда и его дальнейшего мощного распространения. Важнейшими тенденциями развития явились строительство железных дорог, что дополнительно усилило спрос на чугун, сталь, изобретение и усовершенствование методов выплавки черных металлов и быстрый рост спроса на уголь, добыча которого

постепенно механизировалась в отдельных операциях. К указанному комплексу необходимо добавить начало развития телеграфной связи и выработки электроэнергии. Шел процесс перехода от легкого машиностроения к тяжелому машиностроению. Мощное развитие получили отдельные отрасли химической промышленности [7].

Третий технологический уклад – (1880–1940 гг.) базируется на использовании в промышленном производстве электрической энергии, развитии тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности на основе использования стального проката, новых открытий в области химии. Внедрены радиосвязь, телеграф, автомобили. Появились крупные фирмы, картели, синдикаты, тресты. Началась концентрация банковского и финансового капитала.

Четвертый уклад (1930–1990 гг.) основан на дальнейшем развитии энергетики с использованием нефти и нефтепродуктов, газа, средств связи, новых синтетических материалов. Это эра массового производства автомобилей, тракторов, самолетов, различных видов вооружения, товаров народного потребления. Появились и широко распространились компьютеры и программные продукты для них, радары. Атом используется в военных и затем в мирных целях. Организовано массовое производство на основе конвейерной технологии. На рынке господствует олигополярная конкуренция, появились транснациональные и межнациональные компании.

Пятый уклад (1985–2035 гг.) опирается на достижения в области микроэлектроники, информатики, биотехнологии, генной инженерии, новых видов энергии, материалов, освоения космического пространства, спутниковой связи и т.п. Происходит переход от разрозненных фирм к единой сети крупных и мелких компаний, соединенных электронной сетью на основе интернета, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инноваций.

Шестой технологический уклад будет характеризоваться развитием робототехники, биотехнологий, основанных на достижениях молекулярной биологии и генной инженерии, нанотехнологии, систем искусственного интеллекта, глобальных информационных сетей, интегрированных высокоскоростных транспортных систем. В рамках шестого технологического уклада дальнейшее развитие получит гибкая автоматизация производства, космические технологии, производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами, атомная промышленность, авиаперевозки, будет расти атомная энергетика, потребление природного газа будет дополнено расширением сферы использования водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, существенно расширится применение возобновляемых источников энергии.

В этой связи хотелось лишь указать на то, что наша страна находится сегодня, в основном, в третьем, четвертом и на первых этапах пятого технологического уклада [8]. При этом к последнему относятся, главным образом, предприятия высокотехнологичного военно-промышленного комплекса.

Таким образом, перед нашей страной стоит наиважнейшая и наисложнейшая задача – осуществить переход к шестому укладу (не до конца освоив предшествующий пятый) и догнать в этом направлении передовые страны. Этот этап уже начался и продлится 50–60 лет. За это время мир продвинется далее к седьмому или даже восьмому технологическому укладу. И это надо учитывать в своих долгосрочных прогнозах.

Исследовательская часть

Отечественный технологический прорыв возможен только за счет создания новых наукоемких технологий в первую очередь для экспорта. Обеспечить его в разработке новейших, конкурентоспособных технологий возможно, осуществив долгосрочное прогнозирование и перспективное планирование научных исследований с последующим созданием новейших ноу-хау и продуктов.

Необходимо отметить, что в соответствии с воззрениями Н.Д. Кондратьева, кризисы, войны и революции определяются, прежде всего, сменой технологических укладов [9].

Таким образом, попытки реализации прорывных наукоемких технологий неотвратно будут сопровождаться возникновением и развитием различных ЧС, в том числе и БСЧС.

Основными причинами экспоненциального роста ЧС в Российской Федерации на текущий момент можно считать:

- низкую технологическую дисциплину (например, несоблюдение технологических регламентов и т.п.);
- сравнительно невысокий уровень профессиональной подготовки инженерно-технических работников;
- необоснованный выбор и недостаточное количество оптимальных по тактико-техническим характеристикам конструкционных материалов для промышленного использования;
- рост единичной мощности технологических агрегатов как следствие погони за «сверхприбылью»;
- адресные гибридные атаки извне в отношении объектов экономики и отдельных социальных групп (DDOS-атаки, информационные провокации и т.п.);
- «теневое» спонсирование террористических и экстремистских группировок, действующих на территории Российской Федерации и в приграничных субъектах;
- неуправляемые техногенные процессы изменения климата;
- попытки технологического освоения обширных территорий, характеризующихся экстремальными климатическими условиями;
- втягивание Российской Федерации в «гонку вооружений», заставляющую принимать меры по перераспределению материальных ресурсов между отраслями промышленности и направлениями их целевого применения;
- применение в отношении Российской Федерации, граничащих с ней стран, государств – стратегических партнеров элементов политического и экономического давления, в том числе путем наложения санкций, а также развертывание арсенала, обеспечивающего нарастание угрозы совершения террористических актов, а также применения оружия массового поражения и пр.

Информационной основой для установления корреляционных связей, о которых упоминалось выше, стали сведения о масштабных ЧС, в том числе приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Хронология возникновения основных видов ЧС

Годы	Описание ЧС	Вид ЧС
1 200 до н.э.	Троя, Древняя Греция, территория современной Турции (пожар практически полностью уничтожил г. Микены)	ПЧС
1579	Пожар на химическом производстве в Италии из-за разлива азотной кислоты	ТЧС
1883	Извержение Кракатау вызвало цунами высотой 40 м, из-за обрушения которого погибло 34 тыс. человек	ПЧС
1915	Применение химического оружия (хлор) (г. Ипр, Бельгия)	БСЧС
1921	Взрыв нитрата аммония (г. Оппау, Германия)	ТЧС
1943	Огненный шторм, взрыв парового облака (г. Гамбург, Людвигсхафен, Германия)	ТЧС
1944	Пожар СУГ (г. Кливленд, США)	ТЧС
1945	Применение ядерного оружия (г. Хиросима, Нагасаки, Япония), применение бактериологического оружия (Манчжурия)	БСЧС / ПЧС
1957	Ядерная авария в производстве плутония (г. Уиндскейл, Великобритания)	ТЧС
1968	Разливание аммиака (г. Лион, Франция)	ТЧС
1976	Трудноустраняемое токсичное заражение (г. Севезо, Италия)	ТЧС
1985	Выброс метилизоцианата (г. Бхопал, Индия)	ТЧС
1986	Ядерная авария на Чернобыльской АЭС (СССР), заражение р. Рейн (Зап. Европа)	ТЧС / ПЧС
2000	Разлив более миллиона галлонов нефти в р. Игуасу (Бразилия)	ТЧС
2001	Взрыв нитрата аммония на химическом производстве (г. Тулуза, Франция)	ТЧС
2002	Разлив в море 64 тыс. т высокосернистого мазута (Испания)	ТЧС
2004	Авария на АЭС «Михама» – сверхмощный выброс раскаленного пара (г. Токио, Япония)	ТЧС

Годы	Описание ЧС	Вид ЧС
2007	Взрывы на шахте (Кемеровская обл., Россия)	ТЧС
2009	Авария на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия)	ТЧС
2010	Взрыв на электростанции (г. Миддлтаун, США) из-за утечки природного газа	ТЧС
2010	Утечка нефти из-за взрыва на буровой платформе (Мексиканский залив, США)	ТЧС / ПЧС
2010	Взрыв на глиноземном комбинате Ajkai Timfoldgyar Zrt. (г. Колонтар, Венгрия)	ТЧС
2011	Землетрясение, цунами, взрывы на АЭС «Фукусима-1», выброс йода-131 и цезия-137 (Япония)	ПЧС
2011	Взрыв боеприпасов на военно-морской базе (г. Лимасол, Кипр)	ТЧС
2013	Мощный взрыв на заводе удобрений, Вест (штат Техас)	ТЧС
2015	Взрывы мощностью 3 и 21 т в тротиловом эквиваленте на складе пиротехники, сильный пожар (г. Тяньцзинь, Китай)	ТЧС
2016	Взрыв метана и угольной пыли на шахте «Северная» (г. Воркута, Россия)	ТЧС
2019	Лесные пожары в Сибири	ПЧС
2020	Разлив 60 т нефтепродуктов (г. Норильск, Россия)	ТЧС
2020	Масштабные лесные пожары в Сибири, Австралии, Западной Европе, США	ПЧС
2020	Взрыв склада аммиачной селитры (г. Бейрут, Ливан)	ТЧС
2021	Масштабные лесные пожары в Сибири, Западной Европе	ПЧС
2022	Локаут Балхашского металлургического комбината (Казахстан)	БСЧС

Примечание: СУГ – сжиженный углеводородный газ

Предпринятая попытка систематизации и установления связи этапов развития научно-технического прогресса с возникновением и взаимными трансформациями различных видов ЧС первоначально привела лишь к созданию корреляционной таблицы (табл. 2), осмысление которой позволило в последующем предложить новые сценарии реализации ЧС и попытаться разработать новый дидактический подход к объяснению их генезиса и взаимодействия.


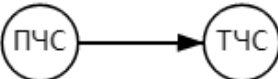
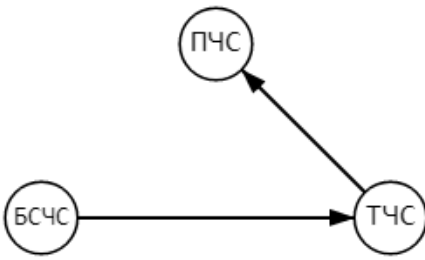
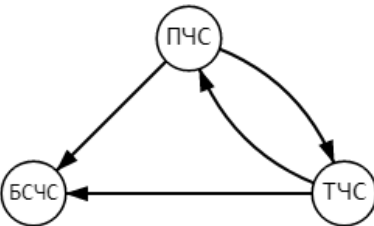
При составлении корреляционной таблицы стал четко формироваться тезис о том, что крупномасштабные лесные пожары, наводнения, землетрясения (ПЧС), как и ТЧС вызывают отклик в виде различных биосоциальных проявлений (БСЧС) – от протестных акций населения [10] до экологического и политического терроризма [11, 12] и, наоборот.

С военной точки зрения экологический терроризм – это действия, направленные на умышленное загрязнение окружающей среды территорий и мест дислокации противника с целью нанесения экологического урона. Подобные действия могут приводить к трудноустраняемым последствиям. Экологический терроризм включает в себя: применение дефолиантов, распространение отравляющих боевых химических веществ; точечное использование изотопов и иных радиоактивных материалов, вплоть до «грязных» атомных бомб; заражение населения с помощью птиц и рыб инфекционными заболеваниями с целью вызвать эпидемии и эпизоотии; выжигание лесных массивов, джунглей, сельвы, тайги; попытки взорвать крупные плотины, тепловые и атомные электростанции; масштабное сжигание запасов нефтяных скважин.

В качестве примера экологического терроризма можно привести события 1991 г. в Персидском заливе, которые продемонстрировали использование загрязнения окружающей среды в качестве эффективного оружия. Уходя из г. Кувейта, армия Ирака умышленно повредила нефтепроводы. Большой объем нефти попал в Персидский залив, уничтожив огромное количество морских животных, рыб и птиц. Иракские военнослужащие подожгли в Кувейте около 600 нефтяных скважин, вызвав пожары, продолжавшиеся почти год. По этой причине в регионе ежемесячно осаждалось около 800 тыс. т нефтяной сажи, выпадали сернокислотные дожди. Экологическая обстановка была восстановлена лишь через два года.

Таким образом, различные события на театре военных действий, которые классифицируются и по сути своей являются БСЧС, также становятся своеобразным импульсом к возникновению техногенных и природных ЧС.

Таблица 2. **Периодизация развития химической науки, научно-технического прогресса и их связь с возникновением различных видов ЧС**

№ п/п	Периодизация становления химической науки	Этапы развития промышленных химических технологий	Эпохи «царствования» энергоносителей	Технологические уклады	ЧС, их взаимная трансформация и характеристики
1.	Алхимический (от Р.Х. до конца XVI в.)	Зачатки кустарных технологий красителей и мощных средств	Энергия ветра и воды	Нет сведений	Главенство ПЧС (преимущественно пожаров). ТЧС и БСЧС отсутствуют
	Представление этапа взаимодействия ЧС в виде графа				
2.	Объединение (ятрохимия + химия газов + флогистон и антифлогистон); Парацельс, Пристли, Тримегист, Фонтана, Шталь, Лавуазье (XVI в.–XVIII в.)	Фармацевтика и текстильная промышленность	Возобновляемые виды органических топлив	Нет сведений	ТЧС (преимущественно взрывы и пожары, переходящие в ПЧС). БСЧС отсутствуют
	Представление этапа взаимодействия ЧС в виде графа				
3.	Количественных законов: Авагадро, Канницаро, Дальтон, Вантоф, Ле-Шателье и др. (конец XVIII в. – первая половина XIX в.)	Технологии связанного азота, основной органический и нефтехимический синтезы	Каменный уголь и продукты его пиролиза	Первый технологический уклад	Первые БСЧС (движение луддитов и пр.), вызывающие ТЧС, влияющие на возможность возникновения ПЧС
	Представление этапа взаимодействия ЧС в виде графа				
4.	Систематизации и структурирование химических знаний (Менделеев, Аррениус, Фарадей, Нернст, Бутлеров, Семенов и др.) (начало XIX в. – 50-е гг. XX в.)	Газохимия, ядерно-химические технологии	Нефть и нефтепродукты, в том числе и сжиженный нефтяной газ (СНГ)	Второй и третий технологические уклады	Масштабные ТЧС и ПЧС, провоцирующие возникновение БСЧС. Первый закон о промышленной безопасности (Великобритания)
	Представление этапа взаимодействия ЧС в виде графа				

№ п/п	Периодизация становления химической науки	Этапы развития промышленных химических технологий	Эпохи «царствования» энергоносителей	Технологические уклады	ЧС, их взаимная трансформация и характеристики
5.	Биотехнологий, химической физики и нано-химических технологий (Бор, Резефорд, Абрикосов, Чарльз Као Куэн, Алферов, Ёсинори Осуми) (вторая половина XX в. – по настоящее время)	Каталитические био- и органическая химия, нанотехнологии в микроэлектронике и катализе	Природный сжатый и сжиженный газ (СПГ), ядерно-химическое топливо, водород и «зеленая энергетика»	Четвертый и пятый технологические уклады	Взаимная трансформация различных видов ЧС. Концепция устойчивого развития (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), Монреальский (1987 г.), Киотский протоколы (1997 г.), Стокгольмская конвенция (2001 г.), Парижское соглашение по климату (2015 г.)
Представление этапа взаимодействия ЧС в виде графа					

Политический терроризм – борьба различных группировок против существующего политического режима, метод политической борьбы, который связан с осуществлением насильственных, в том числе вооруженных акций с целью устрашения и подавления политических противников и имеет своей целью нагнетание чувства социальной нестабильности среди населения и оказание, вследствие этого, попытки воздействия на власть.

Примером политического террориста-одиночки является неолуддит Теодор Качинский. Он рассылал американцам посылки, в которых содержались самодельные взрывные устройства. 16 устройств выпускника Гарвардского университета убили троих и ранили 23 человека, в том числе профессоров ведущих университетов США. Свою деятельность Т. Качинский обосновывал позицией против экономической и технологической основ современного общества.

Примером группового политического терроризма служит исламистское движение ХАМАС, цель которого, по словам его основателя, состоит в освобождении всей Палестины – от Средиземного моря и до р. Иордан.

Таким образом, становится очевидным, что экологический и политический терроризм есть ни что иное, как результат проявления причинно-следственных связей между БСЧС, ПЧС и ТЧС [11].

Проведенная систематизация и анализ связей между этапами развития научно-технического прогресса и возникновением и взаимной трансформацией различных видов ЧС показывает, что графически концепция их взаимодействия может быть выражена в виде предлагаемого графа-треугольника, несущего понятную дидактическую нагрузку (рис. 2).

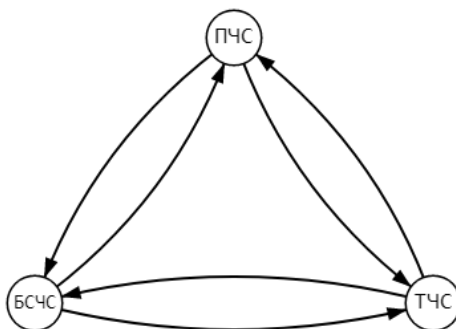


Рис. 2. **Графическая интерпретация процессов возникновения и взаимной трансформации различных видов ЧС**

Предложенный мнемонический подход к историко-философскому трактованию понятия «каскадность ЧС» и его графическое представление, по сути, являются неким переосмыслением известного всем специалистам в области пожарной безопасности «пожарного треугольника» (рис. 3 а), модернизированного профессором Я.С. Киселевым (рис. 3 б) [13] и позволяющего трактовать механизмы как вынужденного, так и самопроизвольного воспламенения применительно к явлениям возникновения и взаимной трансформации различных видов ЧС.

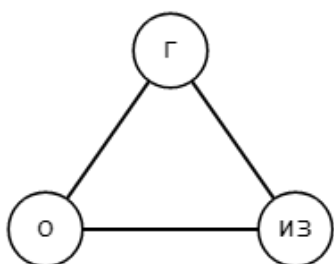


Рис. 3 а. **Пожарный треугольник:**
Г – горючее; О – окислитель;
ИЗ – источник зажигания

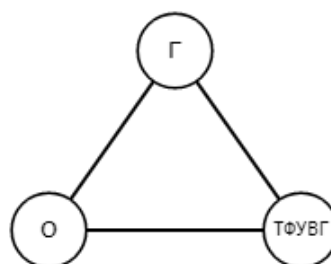


Рис. 3 б. **Треугольник Я.С. Киселева:**
Г – горючее; О – окислитель;
ТФУВГ – теплофизические условия
возникновения горения

Проанализировав последствия любого вида ЧС можно утверждать, что они являются триггером для каскадного перехода одного вида в другой.

Яркой иллюстрацией сказанного могут послужить события 2011 г. в Японии. ПЧС – землетрясение, вызвавшее цунами, привело к серии аварий на АЭС «Фукусима-1» (ТЧС), сопровождавшихся выбросами йода-131 и цезия-137, приведших к массовым негативным социальным проявлениям по всему миру (БСЧС).

Рассматривая вопрос более широко можно вспомнить, например, техногенные аварии на предприятиях нефтегазового комплекса, которые приводят к масштабным загрязнениям окружающей среды, имеющим как серьезные экологические последствия, так и вызывающим активизацию протестных настроений у населения.

В свою очередь, проявления экологического или политического терроризма (поджоги лесных массивов и т.п.) либо непреднамеренные или умышленные технологические аварии на производствах приводят к ТЧС, провоцирующим поступление многочисленных загрязнителей в атмо-, гидро и литосферу (ПЧС).

Другой пример – нехватка вследствие климатических или географических причин как питьевой, так и поливной воды, ведущая к инцидентам и авариям на объектах экономики и возникновению вооруженной межгосударственной конфронтации, нацеленной на перераспределение водных ресурсов.

Следовательно, БСЧС можно рассматривать как источник (причину) новых, ранее не выделенных в особые группы негативных явлений: экологический, политический и нарастающий в последние десятилетия религиозный (межконфессиональный) терроризм. О вопиющих масштабах этих БСЧС свидетельствует карта условной плотности проявлений терроризма по странам мира (рис. 4 [12]). Последняя заставляет задуматься и дает возможность предвосхитить основные векторы приложения политических, экологических и техногенных усилий по их минимизации.

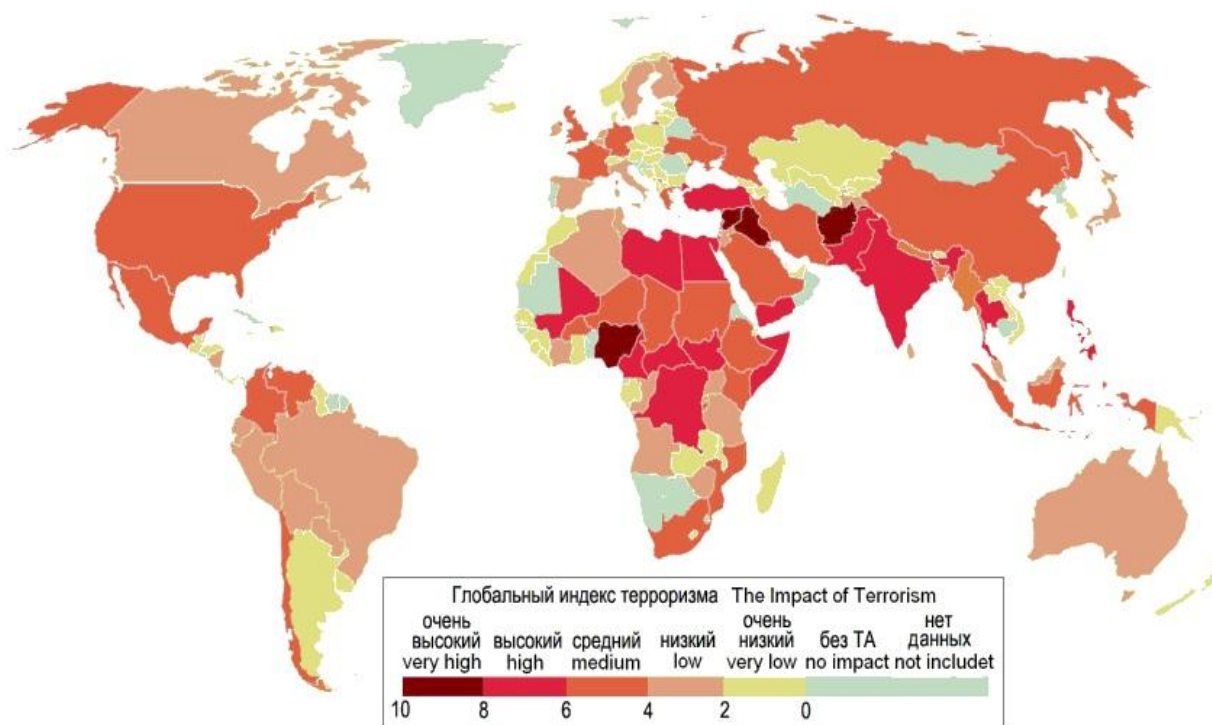


Рис. 4. Плотность распределения террористических актов в 2018 г. по условному индексу их проявления по странам мира

Таким образом, существуют объективные причины, обосновывающие и объясняющие каскадные сценарии взаимного перехода ЧС одного вида в другие, графически отображаемые в виде соответствующего графа-треугольника, знаменующего новый гносеологический этап в осознании разделения методических подходов и перехода на более высокую ступень понимания их генезиса и трансформации: от аппаратно-машинных – к причинно-следственным сценариям.

Выводы

1. Выявлена корреляционная закономерность между уровнем развития производства (технологические уклады) и возникновением, взаимной трансформацией и тяжестью последствий ЧС.
2. Установлена генетическая связь сценариев каскадного развития ЧС.
3. Предложена новая дидактическая модель – «треугольник ЧС» для понимания причинно-следственной связи их каскадного развития.
4. Показано, что основными побудителями и сценариями взаимного перехода различных видов ЧС являются не только техногенные и природные процессы, но и генетически объединяющие их с социальными, проявления политического, экологического и религиозного – БСЧС.

Список источников

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы: оценка и предупреждение. М.: Экономика, 1991.
2. Джуа М. История химии. М.: Мир, 1975.
3. ГОСТ 22.1.02–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения. М., 2000.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989.
5. Глазьев С.Ю. Рынок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах. М.: Книжный мир, 2018.
6. Гринин Л.Е. Первый технологический уклад // Кондратьевские волны. 2018. № 6. С. 296–298.
7. Гринин Л.Е. Первый и второй технологические уклады. Модернизация европейских стран и США. Гл. 2. Девятнадцатый век: экономические и политические трансформации: пособие для студентов. Волгоград: Учитель, 2017. С. 29–59.
8. Авербух В.М. Шестой технологический уклад и перспективы России (краткий обзор) // Вестник Ставропольского государственного университета. 2010. № 6. С. 159–166.
9. Кондратьев Н.Д. Избранные сочинения. М.: Экономика, 1993.
10. Sale, Kirkpatrick. Rebels against the future: the luddites and their war on the industrial revolution. Basic Books, 1996.
11. Классификационный анализ экологической преступности как метод выявления приоритетных угроз экологической безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций / А.М. Воронцов [и др.] // Гражданин и право. 2009. № 5. С. 80–86.
12. Евдокимов В.И., Чернов К.А. Медико-биологические последствия терроризма в России и мире (2005–2018 гг.) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2020. № 1. С. 85–118.
13. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.Н. Физические модели горения в системе пожарной безопасности: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009.

References

1. Beschastnov M.V. Promyshlennye vzryvy: ocenka i preduprezhdenie. M.: Ekonomika, 1991.
2. Dzhua M. Istoriya himii. M.: Mir, 1975.
3. GOST 22.1.02–97. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Monitoring i prognozirovanie. Terminy i opredeleniya. M., 2000.
4. Marshall V. Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv. M.: Mir, 1989.
5. Glaz'ev S.Yu. Ryvok v budushchee. Rossiya v novyh tekhnologicheskom i mirohozyajstvennom ukladah. M.: Knizhnyj mir, 2018.
6. Grinin L.E. Pervyj tekhnologicheskij uklad // Kondrat'evskie volny. 2018. № 6. S. 296–298.
7. Grinin L.E. Pervyj i vtoroj tekhnologicheskie układy. Modernizaciya evropejskih stran i SSHA. Gl. 2. Devyatnadcatyj vek: ekonomicheskie i politicheskie transformacii: posobie dlya studentov. Volgograd: Uchitel', 2017. S. 29–59.
8. Averbuh V.M. Shestoj tekhnologicheskij uklad i perspektivy Rossii (kratkij obzor) // Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 6. S. 159–166.
9. Kondrat'ev N.D. Izbrannye sochineniya. M.: Ekonomika, 1993.
10. Sale, Kirkpatrick. Rebels against the future: the luddites and their war on the industrial revolution. Basic Books, 1996.
11. Klassifikacionnyj analiz ekologicheskoy prestupnosti kak metod vyyavleniya prioritetnyh ugroz ekologicheskoy bezopasnosti i preduprezhdeniya chrezvychajnyh situacij / A.M. Voroncov [i dr.] // Grazhdanin i pravo. 2009. № 5. S. 80–86.
12. Evdokimov V.I., Chernov K.A. Mediko-biologicheskie posledstviya terrorizma v Rossii i mire (2005–2018 gg.) // Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah. 2020. № 1. S. 85–118.

13. Kiselev Ya.S., Horoshilov O.A., Demekhin F.N. Fizicheskie modeli goreniya v sisteme pozharnoj bezopasnosti: monografiya / pod obshch. red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2009.

Информация об авторах:

Сергей Григорьевич Ивахнюк, заместитель начальника научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Information about the authors:

Sergey G. Ivakhnyuk, deputy head of the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022; принята к публикации: 11.02.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 03.02.2022; accepted for publication: 11.02.2022.

УДК 621.1

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Юрьевич Лабинский✉.

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

✉labinskyi.a@igps.ru

Аннотация. Рассмотрены математическая модель и реализующая ее программа на ЭВМ статического и динамического расчета системы охлаждения оборудования на основе контура естественной циркуляции. Основное внимание уделено разработке математической модели и численным методам решения системы дифференциальных уравнений. Для описания течения однофазных теплообменивающихся сред используются дифференциальные уравнения неразрывности и сохранения теплового баланса и количества движения в частных производных. В математическую модель дополнительно введены эмпирические зависимости для расчета теплоотдачи и перепада давления и аналитические зависимости для расчета теплофизических параметров. Математическая модель реализована в виде программы для ЭВМ, созданной в интегрированной среде разработки программ Delphi на алгоритмическом языке высокого уровня Object Pascal. Результаты расчета представлены в наглядном графическом виде.

Ключевые слова: система охлаждения, естественная циркуляция, алгоритм расчета, статический расчет, динамический расчет, математическая модель, разностная схема, система обыкновенных дифференциальных уравнений, IDE Delphi, язык Object Pascal, программа для ЭВМ

Для цитирования: Лабинский А.Ю. Система охлаждения энергетического оборудования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 78–85.

THE SYSTEM OF COOLING THE POWER EQUIPMENTS

Aleksander Yu. Labinskiy.

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

✉labinskyi.a@igps.ru

Abstract. This article presents the mathematical model and computing program the statically and dynamical calculation of the system of cooling on the base the contour natural circulation. The centre of attention use development the mathematical model and numerical methods of the decision system of difference equations. For description the flow of one-faze heat exchange medium use the difference equations indissoluble, heat balance and quantity motion. The mathematical model use the experimental data for calculation the heat rejection, pressure differential and characteristic parameters. Mathematical model realize in form the computing program. Computing program create in IDE Delphi with use computing language Object Pascal. Calculation results presents in clear graphic form.

Keywords: system of cooling, natural circulation, algorithm of calculation, static calculation, dynamic calculation, mathematical model, difference schema, system of differential equation, IDE Delphi, computing language Object Pascal, computing program

For citation: Labinskiy A.Yu. The system of cooling the power equipments // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 78–85.

Введение

Совершенствование систем охлаждения энергетического оборудования, входящего в состав энергоемких объектов (тепловые электростанции, котельные центрального

отопления и т.п.), снижает техногенные риски выхода из строя дорогостоящего энергетического оборудования, уменьшает вероятность аварийных ситуаций и больших материальных потерь [1–10].

Система охлаждения на основе контура естественной циркуляции может быть использована на таких энергетических объектах, которые расположены в непосредственной близости к сравнительно большим естественным аккумуляторам тепла (реки, каналы, озера и т.п.). В качестве аварийных ситуаций, приводящих к прекращению отвода тепла от энергоемкого оборудования, можно рассматривать, например, прекращение подвода электрической энергии, что, в свою очередь, может привести к остановке циркуляционных насосов. Предлагаемая система охлаждения отводит тепло за счет естественной циркуляции в обогреваемом контуре, замыкающемся на естественный аккумулятор тепла.

Разработанная математическая модель системы охлаждения обеспечивает возможность выполнения как статических, так и динамических расчетов. Расчетная схема системы охлаждения включает в себя греющий и обогреваемый контуры, которые разбиты на геометрические участки из условия постоянства проходного сечения, эквивалентного диаметра и расчетного шага по длине. Каждый геометрический участок разбит на определенное число расчетных участков.

Передача тепла происходит в теплообменном аппарате (ТА). В обогреваемом контуре имеет место естественная циркуляция, для чего после ТА предусмотрен подъемный участок.

В математической модели используется неявная разностная схема – значения параметров на расчетном участке равны значениям на выходе из участка.

Программа позволяет задавать различного типа возмущения по значениям расхода греющей среды и входной температуры обогреваемой среды.

Сначала выполняется статический расчет – для заданной величины теплообменной поверхности подбираются геометрические характеристики ТА (число труб, проходные сечения и т.п.). Затем выполняется расчет динамики – определяется изменение во времени температур греющей и обогреваемой сред, а также расхода естественной циркуляции. ТА может быть прямотрубного или змеевикового типов.

Динамический расчет контура естественной циркуляции

Среди численных методов решения уравнений динамики наибольшую универсальность имеет метод конечных разностей (сеток), основанный на замене производных по всем направлениям конечными разностями. Путем выбора рациональной величины шага сетки достигается необходимая точность аппроксимации [1–3].

Система обыкновенных дифференциальных уравнений интегрируется любым из известных одношаговых методов. Одношаговые методы по сравнению с многошаговыми обладают при их численной реализации следующими преимуществами:

- отпадает необходимость в хранении большого объема информации с предыдущих узлов интегрирования;
- обеспечивается возможность изменения во время счета шага интегрирования, необходимость в которой появляется при счете продолжительных переходных процессов.

При решении задач динамики наибольшее распространение среди одношаговых методов нашли методы Рунге-Кутты, позволяющие получать решения различного порядка точности.

Математическая модель

Для описания течения однофазных теплообменивающихся сред используются следующие дифференциальные уравнения неразрывности и сохранения теплового баланса и количества движения в частных производных.

Греющая среда

Уравнение неразрывности:

$$F_1 * \partial \gamma_1 / \partial \tau + \partial G_1 / \partial z = 0. \quad (1)$$

Уравнение теплового баланса:

$$F_1 * \partial(\gamma_1 * I_1) / \partial \tau + \partial(G_1 * I_1) / \partial z = - q_1. \quad (2)$$

Обогреваемая среда

Уравнение неразрывности:

$$F_2 * \partial \gamma_2 / \partial \tau + \partial G_2 / \partial z = 0. \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса:

$$F_2 * \partial(\gamma_2 * I_2) / \partial \tau + \partial(G_2 * I_2) / \partial z = q_1. \quad (4)$$

Уравнение сохранения количества движения:

$$\gamma_2 * \partial W_2 / \partial \tau + \gamma_2 * \partial W_2^2 / \partial z + g * \partial P_2 / \partial z = - g * \partial P_c / \partial z - \gamma_2 * g. \quad (5)$$

Уравнения (1–5) дополняются уравнениями состояния, эмпирическими зависимостями для определения коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления, эмпирическим уравнением теплопередачи и системой граничных и начальных условий. В качестве внешней силы при решении уравнений задавались возмущения по расходу греющей среды и энтальпии обогреваемой среды на входе в канал: $G_1(0, t)$ и $I_2(0, t)$.

Начальные условия к уравнениям (1–5) имеют вид:

$$G_1(0, t) = G_{10}; I_1(0, t) = I_{10}; I_2(0, t) = I_{20}; q_1(z, 0) = q_{10}; P_2(z, 0) = P_{20}.$$

Для решения системы уравнений (1–5) применяется неподвижная прямоугольная сетка (рис. 1).

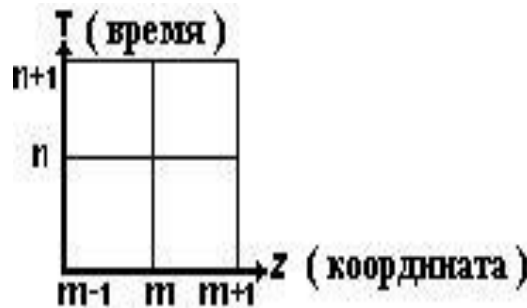


Рис. 1. Схема расчетной модели динамического расчета

Производные по времени и координате аппроксимируются конечно-разностными соотношениями, и исходная система дифференциальных уравнений сводится к системе конечно-разностных соотношений, на основе которых были получены рекуррентные формулы, пригодные для устойчивого решения методом двухточечного бегущего счета. При составлении математической модели были сделаны следующие допущения:

- распределенность параметров в контурах учитывалась только вдоль одной пространственной координаты, совпадающей с направлением движения потока;
- теплопроводность вдоль оси потока не учитывалась;
- по сечению канала параметры среды принимались постоянными и равными среднему значению;
- модель теплообменника, состоящая из большого числа параллельных каналов, сведена к одному эквивалентному каналу;
- давления сред в контурах считаются сосредоточенными параметрами;

Укрупненный алгоритм программы для ЭВМ в виде основных модулей программы представлен в табл. 1 (модуль подключения стандартных библиотек), табл. 2 (модуль определения используемых компонентов) и табл. 3 (модуль загрузки файла с данными).

Таблица 1

Укрупненный текст модуля на языке Object Pascal
Uses Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Menus, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, Grids, Math, ComCtrls;

Таблица 2

Укрупненный текст модуля на языке Object Pascal
Type TForm = class(Tform) Memo1: Tmemo; StringGrid1: TstringGrid; MainMenu1: TmainMenu; HelpBtn: Tbutton; InputBtn: Tbutton; CalcBtn: Tbutton; GraphBtn: Tbutton; ClearGraphBtn: Tbutton; ClearBtn: Tbutton; CloseBtn: Tbutton; ComboBox1: TcomboBox; PageControl1: TpageControl; TabSheet1: TtabSheet; TabSheet2: TtabSheet; Chart1: Tchart; Series1: TlineSeries;

Таблица 3

Укрупненный текст модуля на языке Object Pascal
Procedure TForm.LoadBtnClick(Sender: TObject); var I, j, d: byte; bt: array[1..5] of string; FNS, s: string; begin ShowMessage('Выберите файл ВХОДНОЙ переменной!'); OpenDialog.Title:='FM входной 82ереем-й'; if OpenDialog.Execute then begin FNI:=OpenDialog.FileName; FNS:=ExtractFileName(FNI); end; s:='Загрузить данные из файла '+FNS+'?'; if MessageDlg(s, mtConfirmation, [mbYes,mbNo],0)=mrYes then begin ShowMessage('Загрузка из файла '+FNS+'!'); AssignFile(FTI, FNS); {\$I-} Reset(FTI); {\$I+} if IOResult<>0 then begin ShowMessage('Ошибка открытия файла '+FNS); end else begin for i:=1 to N do begin Readln(FTI, s); bt[i]:=s; end; end; CloseFile(FTI); end; end; end;

Укрупненная блок-схема программы представлена на рис. 3.

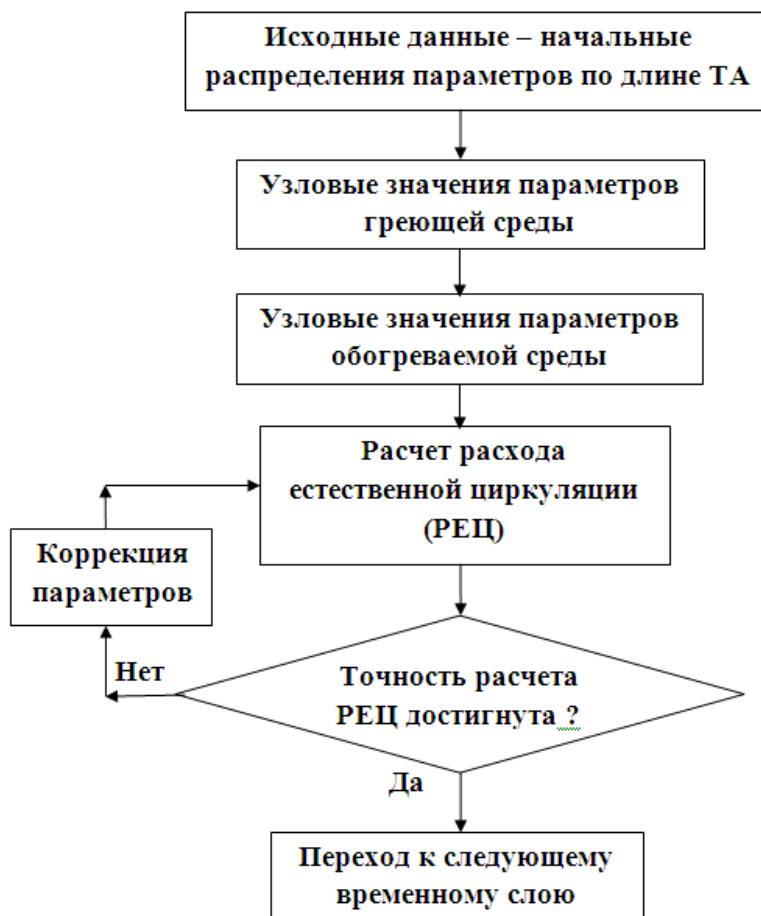


Рис. 3. Укрупненная блок-схема программы для ЭВМ

Программа позволяет задавать возмущения по параметрам расхода греющей среды G_1 и температуры входной обогреваемой среды t_2^{BX} .

Устойчивость разработанного алгоритма расчета проверялась при расчете одного и того же варианта динамического режима с различными шагами по времени τ , меняющимися от 1 до 5 с. Результаты динамического расчета представлены ниже (рис. 4, 5).

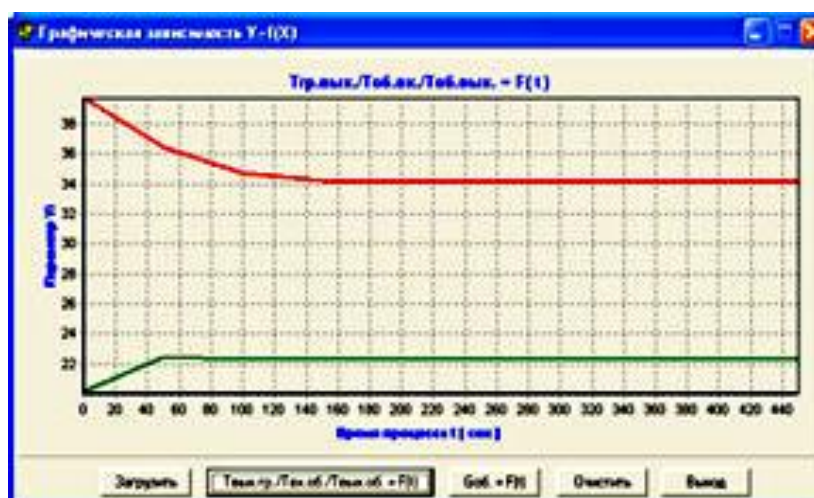


Рис. 4. Изменение выходных температур

На рис. 4 даны зависимости температур ($^{\circ}\text{C}$) греющей (красный) и обогреваемой (зеленый) сред на выходе из канала от времени процесса (сек.).

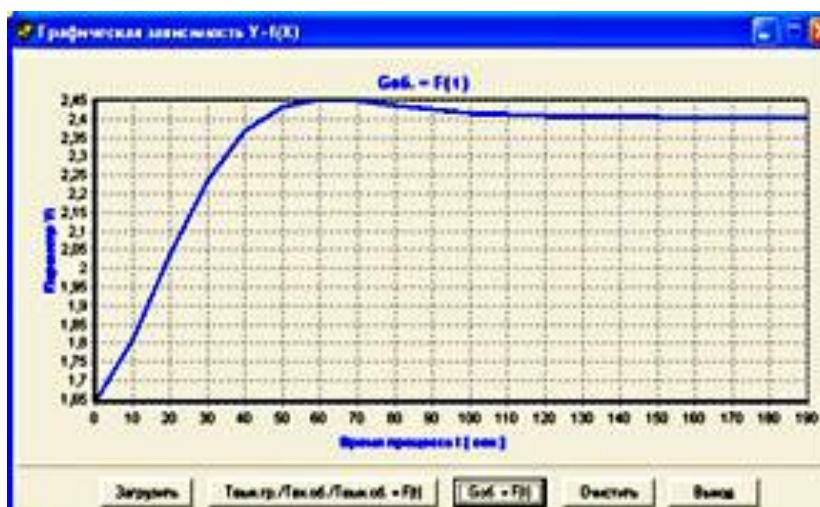


Рис. 5. Изменение расхода естественной циркуляции

На рис. 5 представлена зависимость расхода естественной циркуляции (кг/сек.) обогреваемой среды от времени процесса (сек.).

Вывод

Разработана математическая модель системы охлаждения, в которой тепло отводится за счет естественной циркуляции в обогреваемом контуре, замыкающемся на естественный аккумулятор тепла. Математическая модель реализована в виде программы для ЭВМ, которая позволяет выполнять как статические, так и динамические расчеты контура естественной циркуляции.

Список источников

1. Вульман Ф.А., Хорьков Н.С. Тепловые расчеты на ЭВМ теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1975.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989.
3. Пирумов У.Г. Численные методы. М.: МАИ, 1998.
4. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника. М.: Лань, 2012.
5. Теплотехника. Практический курс / Г.А. Круглов [и др.]. М.: Лань, 2017.
6. Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М. Тепломассообмен. М.: Лань, 2018.
7. Цирельман Н.М. Конвективный тепломассоперенос. М.: Лань, 2018.
8. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
9. Eckert E., Drake R. Heat and mass transfer. London, 2015.
10. Keenan J.H. Thermodynamics. New York, 2018.

References

1. Vul'man F.A., Hor'kov N.S. Teplovye raschety na EVM teploenergeticheskikh ustanovok. M.: Energiya, 1975.
2. Samarskij A.A., Gulin A.V. CHislennye metody. M.: Nauka, 1989.
3. Pirumov U.G. CHislennye metody. M.: MAI, 1998.
4. Kruglov G.A., Bulgakova R.I., Kruglova E.S. Teplotekhnika. M.: Lan', 2012.
5. Teplotekhnika. Prakticheskij kurs / G.A. Kruglov [i dr.]. M.: Lan', 2017.
6. Deryugin V.V., Vasil'ev V.F., Ulyasheva V.M. Teplomassoobmen. M.: Lan', 2018.
7. Cirel'man N.M. Konvektivnyj teplomassoperenos. M.: Lan', 2018.

8. Jakob M. Heat transfer. New York and London, 2016.
9. Eckert E., Drake R. Heat and mass transfer. London, 2015.
10. Keenan J.H. Thermodynamics. New York, 2018.

Информация об авторах:

Александр Юрьевич Лабинский, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: labinskyi.a@igps.ru

Information about the authors:

Alexander Yu. Labinsky, associate professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: labinskyi.a@igps.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.01.2022; одобрена после рецензирования: 14.02.2022;
принята к публикации: 24.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 26.01.2022; approved after review: 14.02.2022;
accepted for publication: 24.02.2022

УДК 699.88.004.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ С УТЕЧКОЙ БЫТОВОГО ГАЗА

Олег Николаевич Савчук✉;

Алексей Сергеевич Смирнов;

Сергей Аркадьевич Нефедьев.

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

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Аннотация. Приведен анализ причин и статистика аварий, связанных с утечкой бытового газа, за последние пять лет, выявлены основные причины, вызывающие такие аварии, рассмотрены основные сценарии аварий с утечкой бытового газа, которые случаются в практике использования газовых плит. Рассмотрены причины и последствия крупных аварий со взрывом бытового газа на территории России, в частности в г. Магнитогорске и Шахты. Проведен анализ таких аварий по причинам и их последствиям, рассмотрены проблемы по обеспечению безопасности населения в случае таких аварий. Приведены расчеты по оценке поражающего действия взрывов бытового газа для стандартных кухонь в многоквартирных жилых зданиях, вскрыты причины образования критической концентрации бытового газа, при котором возможен взрыв. Предлагаются методы профилактики случаев взрыва бытового газа: переход с газового оборудования на электрические печи, а также внесение изменений в законодательство о возложении функции надзора за внутриквартирным газовым оборудованием на Ростехнадзор, установка датчиков на газовое оборудование в квартирах, использование при строительстве материалов с повышенными характеристиками по устойчивости к взрыву.

Ключевые слова: бытовой газ, газовый баллон, избыточное давление взрыва, внутриквартирное газовое оборудование

Для цитирования: Савчук О.Н., Смирнов А.С., Нефедьев С.А. Совершенствование обеспечения безопасности населения при авариях с утечкой бытового газа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 86–96.

IMPROVING THE SECURITY OF THE POPULATION IN CASE OF ACCIDENTS WITH LEAKAGE OF HOUSEHOLD GAS

Oleg N. Savchuk✉; **Aleksey S. Smirnov;** **Sergey A. Nefed'ev.**

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

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of the reasons and statistics of accidents associated with the leakage of household gas over the past 5 years, the main causes of such accidents are opened, the main scenarios of accidents with leakage of household gas, which occur in the practice of using gas stoves. The causes and consequences of large accidents with the explosion of household gas in Russia, in particular in the city of Magnitogorsk and the mines. An analysis of such accidents for reasons and consequences of them was carried out, problems of ensuring the safety of the population in case of such accidents. Calculations are given according to the assessment of the striking action of explosions with household gas for standard kitchens in apartment buildings, reasons for the critical concentration of household gas, in which an explosion is possible. Ways to improve the safety of the population in cases with an explosion of household gas are offered: the transition from gas equipment to electric furnaces, where gas cylinders are used, as well as making changes to the layering legislation for intra-quarter gas

equipment for Rostechnadzor, installation of sensors in apartments on gas equipment, use During the construction of materials with elevated characteristics on the resistance of the explosion.

Keywords: household gas, gas cylinder, excessive explosion pressure, intra-quarter gas equipment

For citation: Savchuk O.N., Smirnov A.S., Nefed'ev S.A. Improving the security of the population in case of accidents with leakage of household gas // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 86–96.

Введение

В последние годы вызывает озабоченность всех уровней исполнительной власти обеспечение безопасности населения в связи с продолжающимися случаями пожаров и взрывов при авариях с утечкой бытового газа. Под авариями, связанными с утечкой бытового газа, будем понимать аварии с более широким спектром причин и последствий, представленных в табл. 1. Последствиями таких аварий в многоквартирных домах являются отравления, пожары и взрывы, приводящие к разрушению целых подъездов вследствие эффекта «объемного взрыва» в закрытых помещениях.

Цель исследования: на основе анализа причин и последствий аварий с утечкой бытового газа в жилых помещениях сформулировать направления по совершенствованию безопасности населения.

Анализ основных причин аварий с утечкой бытового газа и особенностей характера протекания аварийного взрыва

Анализ аварий, связанных с утечкой бытового газа, в России за последние пять лет показал существенный рост (табл. 1) [1].

Таблица 1. Количество аварий с утечкой бытового газа в России за период 2016–2020 гг.

Год	Количество аварий	Причины и последствия аварии
2016	18	Отравление угарным газом
	34	Взрыв газа
	8	Взрыв баллона
	8	Утечка газа
	2	Отравление газом
	4	Горение газа
	1	Злонамеренные действия
	2	Повреждение газопровода
Итого	77	
2017	30	Отравление угарным газом
	93	Взрыв газа
	18	Взрыв баллона
	27	Утечка газа
	8	Отравление газом
	6	Горение газа
	3	Авария на ГРП
	8	Повреждение газопровода
	5	Иное
1	Подача высокого давления	
Итого	199	
2018	79	Отравление угарным газом
	139	Взрыв газа
	31	Взрыв баллона

	49	Утечка газа
	2	Отравление газом
	14	Горение газа
	3	Иное
	41	Повреждение газопровода
Итого	361	
2019	172	Отравление угарным газом
	186	Взрыв газа
	83	Взрыв баллона
	96	Утечка газа
	3	Нарушение одоризации
	7	Горение газа
	4	Нарушение нормативов
	87	Повреждение газопровода
	5	Суицид
Итого	643	
2020	49	Отравление угарным газом
	59	Взрыв газа
	12	Взрыв баллона
	23	Утечка газа
	7	Отравление газом
	2	Взрыв газовоздушной смеси
	6	Авария на газопроводе
	9	Повреждение газопровода
	2	Иное
Итого	169	

Примечание: ГРП – стационарный газорегуляторный пункт

Анализ динамики количества аварий, вызванных утечкой бытового газа (рис. 1), показывает, что в 2020 г. произошло их резкое снижение благодаря проведению превентивных профилактических работ в жилищно-коммунальной сфере.



Рис. 1. Динамика количества аварий с бытовым газом за 2016–2020 гг.

Основными причинами аварий из-за утечки бытового газа в квартирах и в домах, где используются баллоны с бытовым газом, являются:

- утечки газа в кранах, сварных и резьбовых соединениях, в местах присоединения вентиля и регулятора к баллону;
- задувание (заливание) или неисправность горелки;

- произвольное отключение или неполное сгорание газа;
- неисправность баллона или его переполнение и перегрев.

Аварии, связанные с утечкой бытового газа, чаще всего могут происходить по двум сценариям:

1) при выбросе большого количества газа за короткое время в результате, например, аварийной разгерметизации подводящей газовой трубы.

2) поступление небольшого количества газа в течение длительного времени в помещение, например, за счет потухшей горелки газовой плиты;

При этом после утечки происходит накопление газа до взрывоопасной концентрации, и при возникновении искры или другого источника воспламенения происходит взрыв в загазованном помещении [2].

Так, например, одна из крупных аварий со взрывом бытового газа в жилом доме произошла в г. Магнитогорске Челябинской области в 2018 г. (рис. 2).

В результате взрыва обрушился один из подъездов здания (перекрытия с третьего по десятый этаж), возник пожар, из-под завалов извлекли тела погибших 39 человек. В случае аварии в жилом доме в г. Шахты Ростовской области в 2019 г. были разрушены 4 квартиры, при этом погибло 5 человек, пострадали 10 человек, спасено 43 человека, 7 извлекли из-под завалов, эвакуировано 140 человек. На территории города был введен режим чрезвычайной ситуации. В обоих случаях причиной взрыва послужила утечка газа. Так, например, в г. Шахты утечка газа произошла вечером, когда люди ложились спать, а утром при включении электрического света произошел взрыв.

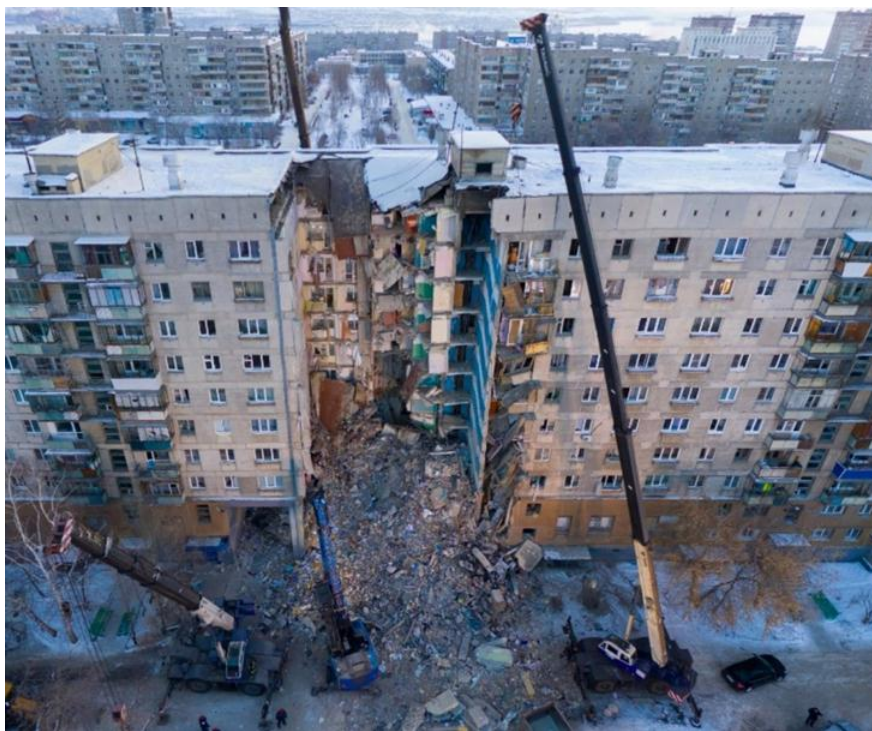


Рис. 2. Взрыв бытового газа в жилом доме г. Магнитогорска

Динамика изменений количества аварий за счет утечек бытового газа за 2016–2020 гг. представлена на рис. 3. Как видно, в 2020 г. количество таких аварий уменьшилось в 4,2 раза. Это связано с тем, что население стало более внимательно относиться к правилам безопасности. Также многие граждане установили специальные датчики, которые фиксируют утечку газа.



Рис. 3. Количество аварий за счет утечек бытового газа за 2016–2020 гг.

Динамика изменений количества аварий из-за взрыва бытового газа за 2016–2020 гг. представлена на рис. 4. Уменьшение количества взрывов газа в 3,15 раз в 2020 г. связано с повышением качества надзорной деятельности и повышением культуры безопасности жизнедеятельности на производствах и в быту при пользовании газом.



Рис. 4. Количество аварий за счет взрывов бытового газа за 2016–2020 гг.

Динамика изменений количества аварий из-за взрыва баллонов с газом за 2016–2020 гг. представлена на рис. 5. Количество взрывов уменьшилось в 2020 г. по сравнению с 2019 г. в 6,9 раза. Это обусловлено повышением сознательности населения при обращении с баллонным газом и осуществлением пожарного надзора, проводимого сотрудниками Государственной противопожарной службы МЧС России.

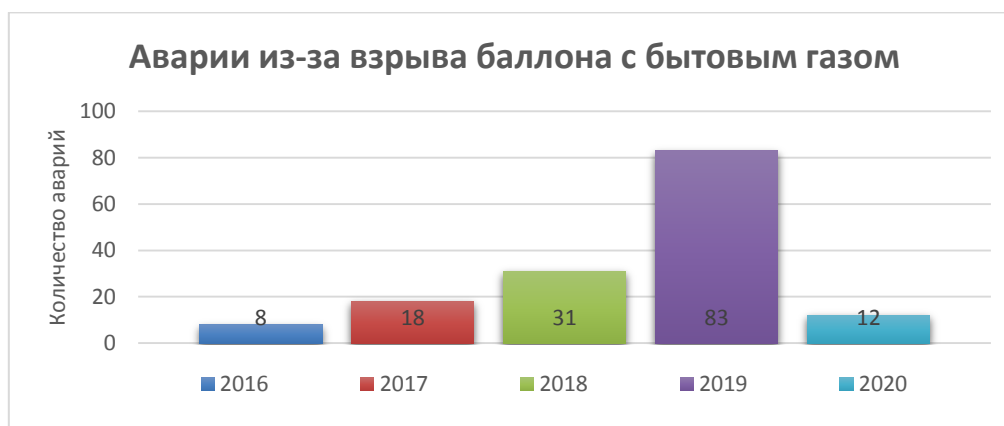


Рис. 5. Количество аварий за счет взрыва баллона с бытовым газом за 2016–2020 гг.

Динамика изменений количества аварий, сопутствующих отравлению газом людей за 2016–2020 гг., представлена на рис. 6. Количество отравлений газом, к сожалению, увеличилось в 2020 г. и это связано, прежде всего, с халатностью людей при эксплуатации газового оборудования.



Рис. 6. Количество аварий, сопутствующих отравлению бытовым газом за 2016–2020 гг.

Отсутствие таких случаев на производстве обусловлено, прежде всего, строгим соблюдением техники безопасности при эксплуатации газового оборудования, а также установкой приборов обнаружения утечки газов в помещениях.

Динамика изменений количества аварий за счет повреждений газопровода за 2016–2020 гг. представлена на рис. 7. В 2020 г. число таких аварий уменьшилось в 8,7 раз. С середины 2019 г. начались диагностика и внешний осмотр каждого участка трубопроводной системы. Газопроводы периодически осматривают для определения их устойчивости и прочности. Надежные конструкции продолжают эксплуатировать, а дефектные участки трубопровода вовремя ремонтируют или заменяют. Динамика изменений количества аварий по иным причинам, приводящим к утечке или взрыву газа за 2016–2020 гг., представлена на рис. 8.



Рис. 7. Количество аварий за счет повреждений газопровода за 2016–2020 гг.

К иным причинам аварий с утечкой бытового газа относятся аварии, вызванные суицидом, злонамеренными действиями, нарушением одоризации и т.д. В 2020 г. иные причины аварий уменьшились незначительно по сравнению с 2019 г. Чаще всего эти причины связаны с человеческим фактором.



Рис. 8. Количество иных причин аварий, приводящих к утечке или взрыву газа, за 2016–2020 гг.

В состав промышленного бытового газа входит в основном метан с примесью этана и пропана. В состав баллонного бытового газа входят пропан с бутаном. При аварии при наличии источника зажигания топливовоздушное облако воспламеняется, горение может развиваться в режиме дефлаграционного или детонационного горения, а при концентрации газа в пределах от 5 до 15 % в объеме помещения возможен взрыв. Наиболее вероятен взрыв при концентрации газа 9,5 %. Скорость взрывного превращения в значительной степени будет зависеть от параметров подстилающей поверхности, которая классифицируется в соответствии со степенью ее загроможденности [3].

Следует отметить особенности характера протекания аварийного взрыва бытового газа [4, 5]. Он зависит от массы поступающего природного газа, объема помещения, наличия вентиляции, характера остекления, наличия проемов, состава несущих конструкций здания. В случаях аварий, связанных с утечкой бытового газа в закрытом помещении кухни, как показали исследования [4, 5], при концентрации газа в пределах от 5 до 15 % и при детонации газовоздушной смеси возможен взрыв в виде «хлопка». В этом случае взрыв, как правило, сопровождается расстеклением окон и сбросом давления взрыва и не приводит к разрушению несущих конструкций здания. При открытых дверях в кухне наблюдается «двухстадийный взрыв» [6]: вначале «хлопок», а через 10–15 с взрыв большей мощности, приводящий к разрушению или деформации несущих конструкций здания. При этом разрушение несущих конструкций происходит за счет избыточного давления взрыва $\Delta P_{\text{ф}}$, а выброс обломков происходит за счет давления скоростного напора.

Исследования поражающего действия взрывов бытового газа в многоквартирных домах

Проведем оценку поражающего действия при аварии бытового газа в стандартных помещениях кухонь многоквартирных жилых зданий на основе предлагаемых методик в работах [7, 8]. Объекты исследования: кухня А с объемом воздушного пространства ($6,5 \text{ м}^2 \times 2,5 \text{ м} = 16,25 \text{ м}^3$), кухня Б – ($10 \text{ м}^2 \times 2,5 \text{ м} = 25 \text{ м}^3$), студия – ($33 \text{ м}^2 \times 2,5 \text{ м} = 82,5 \text{ м}^3$). Бытовой газ в многоквартирных домах поступает в газовые плиты с избыточным давлением 2,2 кПа. Расход при всех включенных конфорках составляет $7,86 \times 10^{-3}$ кг/мин [9]. При расчетах принимаем, что топливовоздушное облако при утечке бытового газа представляет собой смесь стехиометрического состава [7] с плотностью $\rho_{\text{стх}}$ и объемной долей горючего газа $S_{\text{стх}}$. Вентиляция отсутствует, температура воздуха в помещении 20 °С.

Оценка поражающего действия при взрыве определяется на основе расчета избыточного давления, определяемого согласно формуле [9]:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H \cdot P_0 \cdot Z}{V_{св} \cdot \rho_0 \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K_H}, \quad (1)$$

где m – масса газа в кг, поступившая в помещение при аварии при концентрационном пределе распространения пламени (КППП) (9,5 %); H – удельная теплота сгорания горючего газа 46 100 КДж/кг; P_0 – начальное давление воздуха, принимаемое 101 кПа, $Z=0,5$ – коэффициент участия горючего газа во взрыве; $V_{св}$ – свободный объем помещения (0,8 от геометрического объема помещения), м³; ρ_0 – плотность воздуха до взрыва [кг/м³] при начальной температуре T_0 [К]; C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении равная 1,01·10³ Дж/(кг/К); $K_H=3$ – поправочный коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

Масса газа, поступающая в помещение, определялась из условия представления топливовоздушного облака в виде смеси стехиометрического состава по формуле [9]:

$$m = \rho_{стх} \cdot V_{св} \cdot C_{стх}, \quad (2)$$

где $\rho_{стх}=1,315$ кг/м³; $C_{стх}=0,04$.

Результаты расчетов массы газа, избыточного давления при аварии и времени достижения КППП $t_{кпп}$ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения массы бытового газа, избыточного давления и время достижения КППП при аварии

Наименование объекта	$V_{св}$, м ³	m , кг	ΔP , кПа	$t_{кпп}$, мин
Кухня А	13	0,68	113,8	86,5
Кухня Б	20	1,05	114,2	133,6
Студия	66	3,47	114,4	441,5

Результаты исследования и их обсуждения

Согласно табл. 4.2 [10] при значениях ΔP , приведенных в табл. 2, возможно расстекление окон (>2 кПа), разрушение перегородок и кровли кирпичных зданий (>15 кПа), железобетонных каркасных зданий (>17 кПа), разрушение перекрытий кирпичных зданий (>28 кПа), железобетонных каркасных зданий (>30 кПа). Это может также приводить к разрыву барабанных перепонок у людей и более серьезным повреждениям. Однако в случаях при закрытых дверях в кухне или студии за счет резкой разгерметизации помещения, вследствие расстекления окон и разрушения оконных рам, наблюдается снижение избыточного давления, что не приводит к разрушению перегородок и перекрытий в здании. Теоретически и экспериментально было подтверждено, что наличие стеклопакетов усугубляет поражающее действие при таких авариях, а при открытых дверях в кухне приводит к разрушению перекрытий [7, 9]. Время достижения критической концентрации газа, при которой возможен взрыв, практически прямо пропорционально зависит от объема помещения [7, 9].

Следует отметить, что снижение случаев аварий, вызванных утечкой бытового газа (рис. 4, 5, 7), в последнее время связано также с организацией круглосуточного режима функционирования ситуационных центров жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и проведением мониторинга и контроля устранения аварий на объектах ЖКХ с учетом использования автоматизированной информационной системы «Реформа ЖКХ» [11].

В целях повышения безопасности населения при авариях, обусловленных утечкой бытового газа, актуальны следующие пути совершенствования:

1. Привитие культуры безопасности жизнедеятельности населения при эксплуатации внутриквартирного газового оборудования путем широкой пропаганды в средствах массовой

информации, проведением разъяснительных бесед работниками газовой службы и сотрудниками ГПС МЧС России при проверках, чтением лекций по линии общества «Знание».

2. Повышение качества и периодичности технического диагностирования внутриквартирного газового оборудования. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 14 мая 2013 г. № 410 «О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного оборудования» диагностирование возложено на собственников квартир, которые должны заключать договор на их проведение со специализированными организациями, что повсеместно не делается ввиду отсутствия надлежащей информации о наличии таких организаций и, чаще всего, нежелания собственников тратить на это деньги. Поэтому следует внести изменения в законодательство, вменив диагностирование в обязанность Ростехнадзора с проведением проверок не реже одного раза в год.

3. В целях предотвращения взрывов с бытовым газом устанавливать датчики на газовое оборудование по прекращению подачи газа при достижении нижнего предела КППРП в объеме помещения кухни.

4. В домах, где применяется баллонный газ, целесообразно перейти от практики использования 50 л баллонов на баллоны меньшей вместимости. В условиях электрификации домов в сельской местности перейти на использование индукционных электрических плит.

5. В целях недопущения разрушения несущих конструкций здания использовать стеклопакеты, позволяющие осуществить разгерметизацию кухни при взрыве при избыточном давлении менее 5 кПа. Следует закрывать двери кухни, если человек собирается отсутствовать в квартире.

6. При строительстве новых домов следует использовать материалы с повышенными характеристиками по устойчивости к взрыву.

7. В перспективе следует устанавливать переносные датчики по обнаружению утечки газа с автоматизированной передачей сигнала в аварийно-диспетчерскую службу в квартирах заболевших COVID-19 и получивших осложнения в виде потери обоняния. Это снизит количество случаев аварий с гибелью людей и значительным материальным ущербом. Так, например, 7 февраля 2021 г. в подмосковном г. Щелкове погибли супруги и сын от отравления бытовым газом. Они не почувствовали запаха вследствие потери обоняния из-за коронавирусной инфекции.

Заключение

На основе проведенного анализа причин аварий, связанных с утечкой бытового газа в общественных зданиях, характера и сценариев их развития, возможных последствий взрывов, вскрыты недостатки в профилактике и обеспечении безопасности населения, сформулированы направления по совершенствованию повышения безопасности. Реализация данных мер позволит существенно снизить количество аварий из-за утечки бытового газа с последствиями гибели и травмирования населения.

Список источников

1. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2016–2020 гг.: гос. доклады. М.: МЧС РФ, 2016–2019.

2. Чешко И.Д., Смирнов А.С., Тумановский А.А. Загорание утечек бытового газа, инициированное электрическими аварийными режимами // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 4.

3. Мاستрюков Б.С. Безопасность в ЧС в природно-техногенной сфере // Прогнозирование последствий. М.: Академия, 2011.

4. Комаров А.А. Анализ последствий аварийного взрыва природного газа в жилом доме // Пожаровзрывобезопасность. 1999. Т. 8. № 4.

5. Пепеляев А.А. Численное моделирование внутреннего взрыва бытового газа и его воздействие на кирпичные жилые здания: дис. ... канд. техн. наук. Пермь: Пермский научно-исследовательский политехнический университет, 2011.

6. Гимранов Ф.М. Оценка последствий взрыва природного газа в жилых домах // Промышленная экологическая безопасность. Охрана труда. 2012. № 2 (64).

7. О взрывах природного газа и их последствиях в многоэтажном жилом секторе / Е.А. Сушко [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. Воронеж: Воронежский ин-т ГПС МЧС России, 2013. С. 20–23.

8. Латышенко Г.И., Новосельский Н.К. Исследование ситуации и пути решения проблемы, связанной с ЧС, вызванными взрывами бытового газа в жилых домах // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11 (101). Ч. 2.

9. Карибьянц В.Р., Надеждин А.В. К вопросу о методике оценки степени разрушения многоэтажного жилого дома при взрыве природного газа в одном из помещений // Вестник Астраханского технического университета. 2004. Вып. 1.

10. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.: ВНИИПО, 2006.

11. Внедрение инновационных технологий для предотвращения ЧС, связанных со взрывом бытового газа в жилых домах / Н.К. Новосельский [и др.] // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2019. Т. 2. С. 751–753.

References

1. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera za 2016–2020 gg.: gos. doklady. M.: MCHS RF, 2016–2019.

2. Cheshko I.D., Smirnov A.S., Tumanovskij A.A. Zagoranie utechek bytovogo gaza, iniciirovannoe elektricheskimi avarijnymi rezhimami // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2017. № 4.

3. Mastryukov B.S. Bezopasnost' v CHS v prirodno-tekhnogennoj sfere // Prognozirovanie posledstvij. M.: Akademiya, 2011.

4. Komarov A.A. Analiz posledstvij avarijnogo vzryva prirodnoho gaza v zhilom dome // Pozharovzryvobezopasnost'. 1999. T. 8. № 4.

5. Pepelyaev A.A. Chislennoe modelirovanie vnutrennego vzryva bytovogo gaza i ego vozdejstvie na kirpichnye zhilye zdaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk. Perm': Permskij nauchno-issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2011.

6. Gimranov F.M. Ocenka posledstvij vzryva prirodnoho gaza v zhilyh domah // Promyshlennaya ekologicheskaya bezopasnost'. Ohrana truda. 2012. № 2 (64).

7. O vzryvah prirodnoho gaza i ih posledstvijah v mnogoetazhnom zhilom sektore / E.A. Sushko [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. Voronezh: Voronezhskij in-t GPS MCHS Rossii, 2013. S. 20–23.

8. Latyshenko G.I., Novosel'skij N.K. Issledovanie situacii i puti resheniya problemy, svyazannoj s CHS, vyzvannymi vzryvami bytovogo gaza v zhilyh domah // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2020. № 11 (101). Ch. 2.

9. Karib'yanc V.R., Nadezhdin A.V. K voprosu o metodike ocenki stepeni razrusheniya mnogoetazhnogo zhilogo doma pri vzryve prirodnoho gaza v odnom iz pomeshchenij // Vestnik Astrahanskogo tekhnicheskogo universiteta. 2004. Vyp. 1.

10. Rukovodstvo po ocenke pozharnogo riska dlya promyshlennyh predpriyatij. M.: VNIPO, 2006.

11. Vnedrenie innovacionnyh tekhnologij dlya predotvrashcheniya CHS, svyazannyh so vzryvom bytovogo gaza v zhilyh domah / N.K. Novosel'skij [i dr.] // Aktual'nye problemy aviicii i kosmonavtiki. 2019. T. 2. S. 751–753.

Информация об авторах:

Олег Николаевич Савчук, профессор кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный профессор университета, e-mail: savchuk.o@igps.ru

Алексей Сергеевич Смирнов, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Сергей Аркадьевич Нефедьев, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: doktorsan@mail.ru

Information about the authors:

Oleg N. Savchuk, professor of the department of security service of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, honorary professor of the university, e-mail: savchuk.o@igps.ru

Alexey S. Smirnov, first deputy head of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Sergey A. Nefed'ev, professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: doktorsan@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.01.2022; одобрена после рецензирования: 09.02.2022; принята к публикации: 02.03.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 26.01.2022; approved after review: 09.02.2022; accepted for publication: 02.03.2022.

УДК 543.26

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОПАСНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АММИАКА

Ольга Владимировна Ложкина[✉].

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

Татьяна Георгиевна Никитина.

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия.

Валерий Александрович Цветков.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

[✉]*oljkina@yandex.ru*

Аннотация. Описаны этапы разработки и результаты апробации методики анализа аммиака в воздушной среде методом ионной хроматографии с предварительным хроматомембранным концентрированием. На первом этапе были определены условия ионохроматографического анализа NH_3 с использованием полученных авторами катионообменных сорбентов. На втором этапе была разработана новая непрерывная хроматомембранная схема генерирования стандартных газовых смесей NH_3 заданной концентрации, позволяющая получать стабильные во времени стандартные газовые смеси в диапазоне скоростей газовой фазы 15–85 мл/мин. На третьем этапе была изучена возможность использования хроматомембранного метода для предварительного концентрирования аммиака из газовой фазы. Было установлено, что противоточное хроматомембранное концентрирование обеспечивало надежную полноту выделения аммиака в диапазоне скоростей газовой фазы 15–50 мл/мин в небольшой объем элюента (500 мкл), что позволило создать комбинированную схему анализа хроматомембранное концентрирование – ионохроматографическое определение и сократить время анализа до 15 мин.

Ключевые слова: аммиак, загрязнение атмосферы, инструментальный анализ, ионная хроматография, хроматомембранный метод

Для цитирования: Ложкина О.В., Никитина Т.Г., Цветков В.А. Совершенствование инструментальных методов анализа опасных загрязнителей воздуха на примере определения аммиака // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 97–107.

IMPROVEMENT OF INSTRUMENTAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF HAZARDOUS AIR POLLUTANTS ON THE EXAMPLE OF AMMONIA DETERMINATION

Olga V. Lozhkina[✉].

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

Tat'ayna G. Nikitina.

Saint-Petersburg State chemical pharmaceutical university, Saint-Petersburg, Russia.

Valery A. Tsvetkov.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnical university, Saint-Petersburg, Russia

[✉]*oljkina@yandex.ru*

Abstract. The paper describes the stages of development and the results of approbation of the technique for the analysis of ammonia in air by ion chromatography with preliminary chromatomembrane concentration. At the first stage, there were determined the conditions

for ion-chromatographic analysis of NH_3 . At the second stage, there was developed a new continuous chromato-membrane technique for generating standard gas mixtures of NH_3 , which allows to obtain time-stable standard gas mixtures at the gas phase velocity 15–85 ml/min. At the third stage, the was studied the chromatomembrane technique for preliminary concentration of ammonia from the gas phase. We found that countercurrent chromatomembrane concentration provided a reliable ammonia extraction from the gas phase into a small volume of eluent (500 μL), which made it possible to create a combined analysis scheme chromatographic concentration – ion-chromatographic determination and reduce the analysis time to 15 minutes.

Keywords: ammonia, air pollution, instrumental analysis, ion chromatography, chromatomembrane method

For citation: Lozhkina O.V., Nikitina T.G., Tsvetkov V.A. Improvement of instrumental methods for the analysis of hazardous air pollutants on the example of ammonia determination // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 97–107.

Введение

Аммиак – бесцветный газ с резким характерным запахом нашатыря, относится к 4 классу опасности, вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей. Согласно принятому в 2021 г. нормативному документу СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» максимально разовая ПДК_{МР} NH_3 составляет 0,2 мг/м³, среднесуточная ПДК_{СС} – 0,1 мг/м³, а среднегодовая ПДК_{СГ} – 0,04 мг/м³, в воздухе рабочей зоны ПДК_{РЗ} – 20 мг/м³. Как экотоксикант, аммиак способствует эвтрофикации и подкислению среды [1–4]. Кроме того, было установлено, что NH_3 играет немаловажную роль в образовании опасных взвешенных частиц размером менее 2,5 мкм, реагируя с аэрозолями, содержащими SO_2 , NO_x , SO_3^{2-} и пр. [5, 6]. Основной антропогенный источник его поступления в воздушную среду – агропромышленный комплекс [1–4]. К другим источникам относятся предприятия промышленности по производству азотсодержащих соединений и транспорт [7–11].

Для определения полярных неорганических загрязнителей атмосферы, а аммиак тоже к ним относится, наибольшее распространение получили методы, основанные на выделении компонентов в водные растворы и последующем определении образовавшихся ионов различными физико-химическими методами. Определение иона аммония в водных растворах может проводиться методами спектрофотометрии (основаны на образовании окрашенных соединений NH_4^+ с соответствующим реагентом (например, метод Несслера и метод Берглю [12]), потенциометрии (отечественной промышленностью выпускаются мембранные электроды с NH_4^+ -функцией, которые широко используются для аналитического контроля состава вод [13]) и ионной хроматографии [14].

При определении газообразных поллютантов в воздушной среде нередко возникает необходимость их предварительного концентрирования. Широкие возможности для решения этой проблемы представляет хроматомембранный (ХМ) метод, разработанный в Санкт-Петербургском государственном университете под руководством Л.Н. Москвина [15–18]. Идея заключается в использовании капиллярных эффектов, возникающих в гидрофобной пористой среде с двумя типами пор: микропорами и макропорами. Размер пор подбирается таким образом, чтобы капиллярное давление в макропорах не препятствовало свободному движению полярной фазы, а капиллярное давление в микропорах, напротив, препятствовало проникновению полярной жидкости, но обеспечивало достаточную проницаемость для неполярной или газовой фазы. Такой подход, с одной стороны, обеспечивает независимое движение двух фаз, а с другой – эффективный массообмен между ними. Процесс реализуется в хроматомембранной ячейке (ХМЯ) из политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Целью настоящей работы явилась разработка методики определения аммиака в воздухе методом ионной хроматографии с предварительным ХМ-концентрированием анализируемого вещества.

Методы исследования

Ионохроматографическое (ИХ) определение проводилось на хроматографе «Цвет 3006» с кондуктометрическим детектором. Разделительные колонки из нержавеющей стали размером 50*6 мм и 100*6 мм заполняли синтезированными катионитами с разными функциональными группами и разной объемной емкостью (0,014–0,031 мг-экв/г). Для подавительной колонки размером 100*6 мм использовался анионит Dowex 50 (фракция 98–140 мкм).

Генерирование стандартных газовых смесей (СГС) аммиака осуществлялось традиционным способом и с помощью ХМ-метода. Оба способа подробно описаны в разделе статьи «Генерирование стандартных газовых смесей аммиака».

Стандартизация схемы генерирования газовых смесей проводилась с использованием двух последовательно соединенных барбаторов, содержащих по 2 мл поглотительного раствора (HNO_3 , 3 ммоль/л). Определение NH_4^+ -ионов проводилось ИХ-методом.

Предварительное концентрирование проводилось с использованием двух видов ХМЯ: 1) двухмембранной (размер массообменного бипористого слоя в каждой камере ячейки 18x10x4 мм); 2) одномембранной противоточной (сечение по направлению движения фазы 108 мм², высота слоя 15 мм).

Результаты и обсуждение

Выбор условий ИХ-определения ионов аммония

В рамках проведенного исследования сначала была решена важная задача выбора оптимальных условий ИХ-определения катионов аммония в присутствии катионов натрия, учитывая их значимое содержание в аэрозолях атмосферного воздуха и мешающее влияние на определение NH_4^+ .

Селективность ИХ-разделения NH_4^+ и Na^+ оптимизировали за счет варьирования сорбентов и геометрических параметров разделительной колонки. Было синтезировано четыре катионообменника с разной обменной емкостью сорбента и разными функциональными группами. Их основные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Геометрические параметры разделительных колонок и характеристики полученных катионообменных сорбентов

№ колонки	Размер колонки (длина и диаметр), мм	Полимерная основа	Функциональная группа	Размер частиц сорбента, мкм	Обменная емкость сорбента, мг-экв/г
1	50x6	Стирол-ДВБ	-COOH	40–50	0,0141
2	50x6	Стирол-ДВБ	-SO ₃ H	40–50	0,0156
3	50x6	Стирол-ДВБ	-SO ₃ H	40–50	0,0312
4	100x6	Стирол-ДВБ	-SO ₃ H	40–50	0,0312

Примечание: ДВБ – дивинилбензол

Для оценки эффективности колонок использовали стандартный раствор, содержащий 4,50 мг/л NH_4^+ и 5,75 мг/л Na^+ . Полученные хроматограммы приведены на рис. 1.

Анализ хроматограмм свидетельствует о том, что при использовании слабокислотной карбоксильной смолы (рис. 1 а) пики ионов Na^+ и NH_4^+ не разрешаются, кроме того, присутствует посторонний пик, природа которого не была установлена. При использовании сильнокислотного катионообменника с сульфогруппами с обменной емкостью 0,0156 мг-экв/г ионы натрия и аммония элюировались вместе (рис. 1 б). Проблема была решена за счет увеличения обменной емкости до 0,0312 мг-экв/г и увеличения длины колонки до 100 мм (рис. 1 г). Все последующие исследования проводились на разделительной колонке № 4.

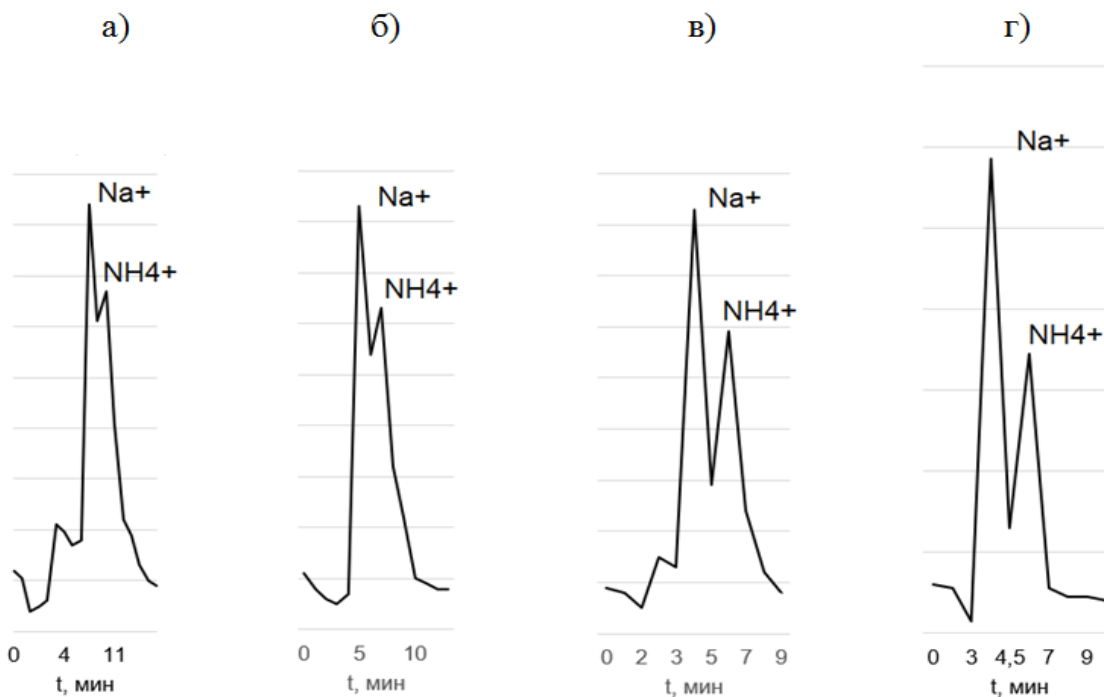


Рис. 1. Хроматограммы разделения катионов Na^+ и NH_4^+ методом ионной хроматографии на колонках № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в); № 4 (г) (элюент: 2,5 моль/л HNO_3 ; $F=2$ мл/мин)

Дальнейшая оптимизация условий ИХ-определения NH_4^+ достигалась за счет выбора оптимальной концентрации элюента. Теоретический расчет концентрации элюента (C_{HNO_3}) проводили по основному уравнению ионной хроматографии:

$$C_{\text{HNO}_3} = k_x^e \frac{Q \cdot V_s}{t \cdot F},$$

где k_x^e – константа ионного обмена (используемый авторами катионообменник по свойствам близок сильнокислотной катионообменной смоле DOWEX 50XB, поэтому при расчете использовали известные для него значения k_x^e , равные 1,56 и 2,08); Q – объемная емкость сорбента; $V_s = (1 - E) \cdot V$ – объем сорбента (E – его пористость (в данном случае равна 0,5), V – объем колонки (2,83 мл); t – время удерживания определяемого иона (авторы исходили из предположения, что время анализа не должно превышать 10–15 мин); F – объемная скорость элюента (2 мл/мин).

Проведенные расчеты показали, что оптимальная концентрация элюента находится в диапазоне 2,29–3,44 ммоль/л. В дальнейшем результаты расчета были подтверждены экспериментально (табл. 2).

Таблица 2. Время удерживания Na^+ и NH_4^+ в зависимости от концентрации HNO_3 в подвижной фазе

F , мл/мин	C_{HNO_3} , ммоль/л	t_{Na^+} , мин	$t_{\text{NH}_4^+}$, мин
2	2	4,8	6,9
2	2,5	4	6
2	3	3,5	5,6

Данные табл. 2 также свидетельствуют о том, что оптимальная концентрация HNO_3 находится в интервале 2–3 ммоль/л. При использовании раствора с содержанием HNO_3 1 ммоль/л наблюдалось размытие пиков анализируемых катионов и увеличивалось время

анализа, а при концентрации элюента 4 ммоль/л наблюдалось совместное элюирование Na^+ и NH_4^+ . В дальнейших исследованиях в качестве подвижной фазы использовали водный раствор HNO_3 с концентрацией 3 ммоль/л.

Генерирование стандартных газовых смесей аммиака

Для определения загрязнителей атмосферного воздуха требуется приготовление стандартных газовых смесей (СГС). Генерирование стабильных СГС аммиака представляет объективные сложности.

В данной работе были изучены три способа генерирования СГС NH_3 .

Сначала был опробован традиционный подход. В сосуд объемом 100 мл помещалось 40 мл водного раствора аммиака с концентрацией 15 ммоль/л, а затем над поверхностью раствора с помощью перистальтического насоса в течение 30–40 мин продувался воздух. Ранее было установлено, что этого времени достаточно для достижения равновесия между водным раствором NH_3 и его газовой фазой. Изучение зависимости концентрации NH_3 в газовой фазе от скорости потока воздуха в диапазоне скоростей от 10 до 40 мл/мин показало, что при скорости потока более 15 мл/мин содержание аммиака в газовой фазе уменьшалось (рис. 2). Это может быть объяснено тем, что при относительно больших скоростях равновесие между генерирующим раствором и его газовой фазой не достигается.

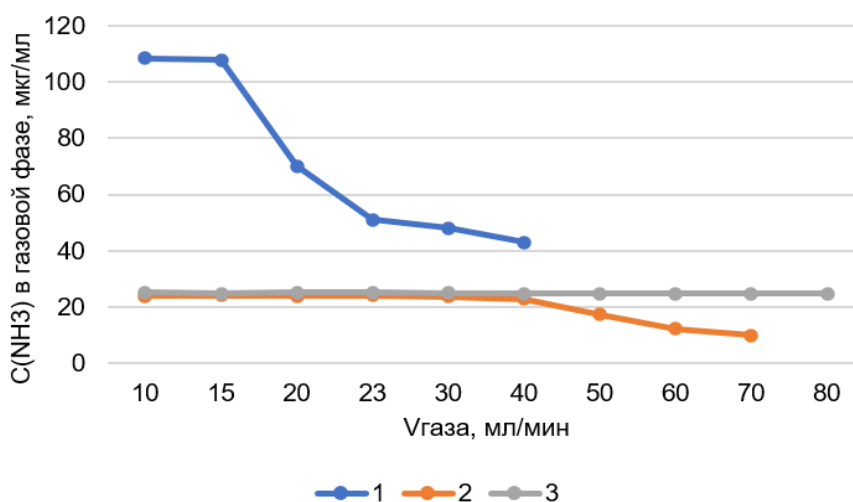


Рис. 2. Зависимость концентрации аммиака в газовой фазе от скорости потока газа через генератор:

- 1 – традиционный способ генерирования СГС NH_3 ($C_{\text{NH}_4\text{OH}}$ в генерирующем растворе 15 ммоль/л); 2 – упрощенный хроматомембранный способ генерирования СГС NH_3 ($C_{\text{NH}_4\text{OH}}$ в генерирующем растворе 3,65 ммоль/л); 3 – автоматизированный хроматомембранный способ генерирования СГС NH_3 ($C_{\text{NH}_4\text{OH}}$ в генерирующем растворе 3,65 ммоль/л)

Для решения этой проблемы авторы обратились к ХМ-методу. Возможность использования ХМЯ как генератора СГС с известным малым содержанием анализируемых веществ была ранее исследована на примере генерирования микроконцентраций HF и HCl в дискретном режиме [18]. В данном случае были предложены две новые схемы генерирования с непрерывной подачей двух фаз в ячейку: упрощенная схема (жидкая фаза подавалась самотеком из бюретки за счет перепада давления, скорость подачи регулировалась с помощью зажима на трубке, соединяющей бюретку с раствором аммиака и ХМЯ) и автоматизированная, в которой в качестве насоса использовалась бюретка автоматическая, позволяющая непрерывно подавать генерирующий раствор в ХМЯ со скоростью 2,5 мл/мин.

В обеих схемах была использована специальная ячейка из пористого ПТФЭ с двумя типами пор (200–500 мкм и 0,1–0,5 мкм) с массообменным слоем следующих размеров: сечение по направлению потока газовой фазы 24x12 мм, сечение по направлению потока водной фазы 12x4 мм. Сечение по направлению потока газовой фазы гарантирует ее равновесное насыщение компонентами раствора и обеспечивает возможность регулирования скорости газового потока в пределах 10–80 мл/мин без существенного дополнительного перепада давлений в системе.

Скорость потока раствора NH_4OH , подаваемого в ХМЯ по упрощенной схеме, поддерживалась на уровне 0,9–1,2 мл/мин. При этой скорости потока теоретически рассчитанное изменение концентрации аммиака в генерирующем растворе за счет равновесного распределения между двумя фазами в ячейке составило <1 % в выбранном диапазоне скоростей газовой фазы. Экспериментально было установлено, что равновесие в системе между обменивающимися фазами устанавливалось в течение 5–10 мин. Исследование содержания NH_3 в газовой фазе в зависимости от его концентрации в генерирующем растворе показало, что характер зависимости аналогичен зависимости парциальных давлений аммиака от его концентрации в водных растворах, что подтверждает предположение о равновесном распределении аммиака в ХМЯ. Изучение зависимости концентрации NH_3 в газовой фазе от скорости потока воздуха показало, что содержание аммиака в газовой фазе оставалось стабильным в диапазоне скоростей от 10 до 40 мл/мин (рис. 2). Также было установлено, что при больших скоростях потока газовой фазы (50–80 мл/мин) жидкая фаза проникала в микропоры мембраны на выходе неполярной фазы из ячейки, из-за чего нарушались условия массообменного процесса – давление газовой фазы во всем объеме ячейки превышало капиллярное давление в микропорах.

Наблюдаемые недостатки удалось устранить за счет автоматизации подачи генерирующего раствора в ХМЯ с постоянной скоростью, так чтобы разница давлений на входе и выходе полярной фазы соответствовала условиям ХМ-процесса. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

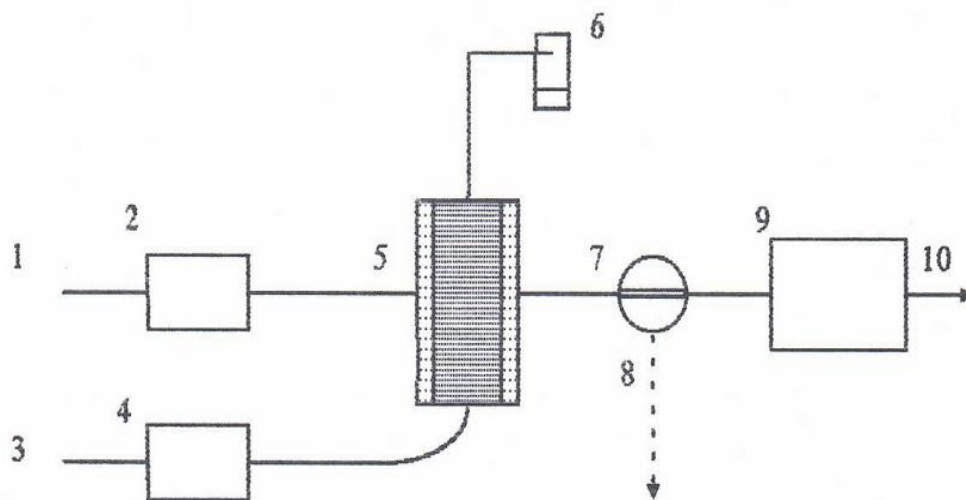


Рис. 3. Автоматизированная схема непрерывного хроматомембранного генерирования СГС аммиака:

1 – линия подачи газовой фазы; 2 – перистальтический насос; 3 – линия подачи генерирующего раствора; 4 – бюретка автоматическая; 5 – хроматомембранная ячейка; 6 – сосуд для отработанного генерирующего раствора; 7 – кран-переключатель; 8 – канал сброса; 9 – поглотительная система; 10 – канал сброса после поглотительной системы

Предложенная схема была апробирована для генерирования СГС NH_3 на уровне ПДК рабочей зоны. На основании предварительных экспериментов в качестве генерирующего раствора был выбран раствор NH_4OH с концентрацией 3,65 ммоль/л. Исследование

содержания NH_3 в газовой фазе подтвердило стабильность работы данной схемы в диапазоне скоростей газовой фазы от 10 до 80 мл/мин (рис. 2).

В результате проведенных экспериментов был разработан эффективный подход для генерирования СГС с использованием ХМ-метода.

Предварительное ХМ-концентрирование аммиака из газовой фазы

Экспериментальные исследования по подбору условий для предварительного ХМ-концентрирования (определения необходимого объема элюирования поглощенного вещества и оценки эффективности поглощения в ХМЯ) проводились с применением вышеописанных традиционного и хроматомембранного способа генерирования газовых смесей. Сначала была использована двухкамерная ХМЯ (рис. 4 а).

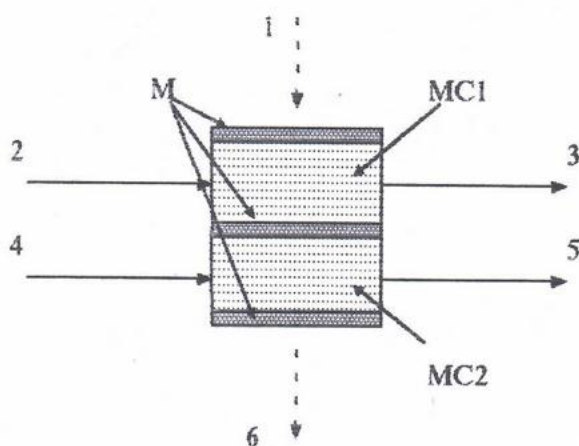


Рис. 4 а. Схема двухкамерной ХМЯ:
М – микропористые фторопластовые мембраны; **МС1** и **МС2** – соответственно 1-й и 2-й массообменные блоки;
1 и **6** – соответственно каналы входа и выхода газовой фазы; **2** и **4** – каналы входа поглотительного раствора; **3** и **5** – каналы выхода поглотительного раствора

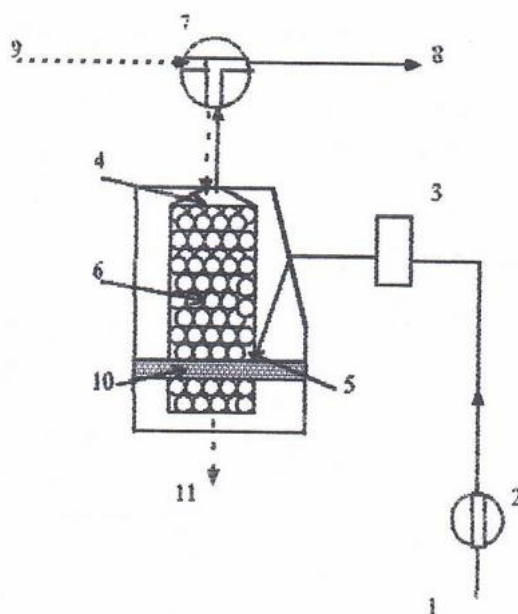


Рис. 4 б. Схема противоточной ХМЯ:
1 – линия подачи поглотительного раствора; **2** – кран-переключател;
3 – компенсатор давления;
4 и **5** – соответственно выходной и входной коллекторы; **6** – массообменный слой;
7 – трехходовой кран-переключател;
8 – линия отвода поглотительного раствора;
9 – линия подачи газовой фазы;
10 – микропористая фторопластовая мембрана; **11** – линия отвода газовой фазы

Предварительно ХМЯ заполнялась поглотительным раствором HNO_3 с концентрацией 3 ммоль/л. Концентрирование аммиака осуществлялось в дискретном режиме при закрытых каналах ввода и отвода жидкой фазы в диапазоне скоростей газовой фазы 15–40 мл/мин. По завершении концентрирования поглотительные растворы вымывались из ячейки раствором HNO_3 . Экспериментально было установлено, что минимальный объем, гарантирующий максимальное элюирование, составляет 2 мл. Определение содержания аммиака в пробе осуществлялось методом ионной хроматографии.

При реализации концентрирования по этой схеме была обнаружена неполнота элюирования (табл. 3).

Таблица 3. Оценка полноты элюирования NH_4NO_3 при использовании для генерирования СГС NH_3 традиционного и хроматомембранного способа и для предварительного концентрирования двухкамерной ХМЯ ($V_{\text{газ}}=25$ мл/мин, $t_{\text{конц}}=15$ мин., $n=3$, $p=0,95$)

Тип генератора СГС	Введено $C_{\text{NH}_3}^{\text{газ}} \pm \Delta$, мкг/л	Найдено $C_{\text{NH}_3}^{\text{газ}} \pm \Delta$, мкг/л
Традиционный	185±40	172±30
	53±9	46±5
	32,3±1,5	28,5±2,7
Хроматомембранный	124±12	119±16
	95±5	95 ±14
	21,2±2,3	19,2±2,2

Анализ данных табл. 3 показывает, что неполнота элюирования варьировалась от 4 до 13 %. Авторы предполагают, что это может быть связано с поглощением аммиака каплями раствора HNO_3 , конденсирующимися в микропорах гидрофобных мембран.

Для нивелирования этого эффекта была применена противоточная схема хроматомембранного процесса с использованием противоточной ХМЯ (рис. 4 б).

Поглотительный раствор подается в ячейку по линии 1 со скоростью 0,125 мл/мин. Такая скорость гарантирует равномерное заполнение макропор жидкой фазой. Газовая фаза подается при закрытии канала подачи жидкой фазы. Газ, подаваемый под избыточным давлением, вытесняет водный раствор из коллектора (4) в компенсатор давления (3). Когда уровень поглотительного раствора в ХМЯ опускается ниже верхней грани массообменного слоя, газовый поток начинает двигаться по микропорам гидрофобной бипористой среды и удаляет из ХМЯ микропористую мембрану (10) по каналу сброса (11). При этом анализируемое вещество концентрируется в верхней части массообменного слоя.

Результаты исследования показали, что полнота выделения аммиака достигается в диапазоне скоростей газовой фазы 15–50 мл/мин. Также было экспериментально установлено, что данная схема позволила существенно уменьшить объем элюирования (до 500 мкл), гарантирующего полноту вымывания аналита. Это, в свою очередь, позволило создать комбинированную схему анализа с элюированием поглощенного аммиака из ХМЯ непосредственно в дозирующую петлю ионного хроматографа и существенно сократить время анализа – до 15 мин.

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана методика анализа аммиака в воздушной среде методом ионной хроматографии с предварительным ХМ-концентрированием, апробированная на примере определения микропримесей NH_3 в воздухе на уровне ПДК рабочей зоны.

Были синтезированы катионообменные сорбенты и изучены их свойства в отношении обеспечения эффективного ИХ-определения аммиака в присутствии мешающих катионов щелочных металлов. Установлено, что наилучшими характеристиками обладает сорбент с $-\text{SO}_3\text{H}$ функциональными группами емкостью 0,312 мг-экв/г, с использованием которого были выбраны оптимальные условия определения ионов NH_4^+ в водных растворах.

Была предложена новая непрерывная хроматомембранная схема генерирования СГС с использованием бипористой ХМЯ, позволяющая получать стабильные во времени СГС в диапазоне скоростей газовой фазы 15–85 мл/мин.

Была предложена хроматомембранная схема для предварительного концентрирования аммиака. Было установлено, что при использовании двухмембранной ХМЯ наблюдалось частичное поглощение (4–13 %) NH_3 поглотительным раствором, конденсированным в микропорах мембраны, а противоточное ХМ-концентрирование обеспечивало надежную полноту выделения аммиака в диапазоне скоростей газовой фазы 15–50 мл/мин в небольшой

объем элюента (500 мкл), что позволило создать комбинированную схему анализа ХМ-концентрирование – ИХ-определение и сократить время анализа до 15 мин.

Список источников

1. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т., Шведов А.А. Эмиссия аммиака и ее последствия для окружающей среды // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 1 (29). С. 42–49.
2. Behera S.N., Sharma M., Aneja V.P., Balasubramanian R. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2013. V. 20 (11). P. 8092–8131.
3. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty / R. Xu [et al.] // Glob. Chang. Biol. 2019. V. 25 (1). P. 314–326.
4. Atmospheric ammonia and its impacts on regional air quality over the megacity of Shanghai, China / S. Wang [et al.] // Sci. Rep. 2015. V. 5. P. 15842. Doi: 10.1038/srep15842.
5. Plautz J. Ammonia, a poorly understood smog ingredient, could be key to limiting deadly pollution // Science Magazine. 2018. URL: <https://www.sciencemag.org/news/2018/09/ammonia-poorly-understood-smog-ingredient-could-be-key-limiting-deadly-pollution> (date of application: 18.01.2022).
6. Role of atmospheric ammonia in particulate matter formation in Houston during summertime / L. Gong [et al.] // Atmospheric Environment. 2013. V. 77. P. 893–900.
7. Tanner P.A. Vehicle-related ammonia emissions in Hong Kong // Environ. Chem. Lett. 2009. V. 7. P. 37–40.
8. Suarez-Bertoa R., Zardini A.A., Astorga C. Ammonia exhaust emissions from spark ignition vehicles over the New European Driving Cycle // Atmospheric Environment. 2014. V. 97. P. 43–53.
9. Vehicle Emissions as an Important Urban Ammonia Source in the United States and China / K. Sun [et al.] // Environ. Sci. Technol. 2017. V. 51 (4). P. 2472–2481.
10. Suarez-Bertoa R., Astorga C. Isocyanic acid and ammonia in vehicle emissions // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2016. V. 49. P. 259–270.
11. Link M.F., Kim J. Elevated production of NH_4NO_3 from the photochemical processing of vehicle exhaust: Implications for air quality in the Seoul Metropolitan Region // Atmospheric Environment. 2017. V. 156. P. 95–101.
12. Определение аммиака в атмосферном воздухе спектрофотометрическим методом / Н.Н. Роева [и др.] // Экологические системы и приборы. 2021. № 12. С. 19–24.
13. Баранова Е.И., Рувинский О.Е., Баранова З.А. Потенциометрическое определение ионов аммония в водных растворах // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2014. № 1 (337). С. 16–18.
14. Малышева А.Г., Абрамов Е.Г., Неженцев К.Н. Определение аммиака в воздухе методом ионной хроматографии // Гигиена и санитария. 2011. № 4. С. 81–83.
15. Automized procedures for the determination of ozone and ammonia contents in air by using the chromatomembrane method for gas-liquid extraction / H. Erxleben [et al.] // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2000. T. 366. № 4. С. 0332–0335.
16. Moskvina L.N., Nikitina T.G. Determination of trace concentrations of HNO_2 and NO_2 in the atmosphere by ion chromatography with chromatomembrane preconcentration // Journal of Analytical Chemistry. 1999. T. 54. № 3. С. 290–295.
17. Москвин Л.Н., Никитина Т.Г. Мембранные методы разделения веществ в аналитической химии // Журнал аналитической химии. 2004. Т. 59. № 1. С. 6–22.
18. Moskvina L.N., Nikitina T.G. Chromate-membrane generation of standard gas mixtures – pollutant of air at mkg/l level // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2005. T. 71. № 3. С. 3–6.

References

1. Gridnev P.I., Gridneva T.T., Shvedov A.A. Emissiya ammiaka i ee posledstviya dlya okruzhayushchej sredy // Vestnik VNIIMZH. 2018. № 1 (29). С. 42–49.
2. Behera S.N., Sharma M., Aneja V.P., Balasubramanian R. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2013. V. 20 (11). P. 8092–8131.
3. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty / R. Xu [et al.] // Glob. Chang. Biol. 2019. V. 25 (1). P. 314–326.
4. Atmospheric ammonia and its impacts on regional air quality over the megacity of Shanghai, China / S. Wang [et al.] // Sci. Rep. 2015. V. 5. P. 15842. Doi: 10.1038/srep15842.
5. Plautz J. Ammonia, a poorly understood smog ingredient, could be key to limiting deadly pollution // Science Magazine. 2018. URL: <https://www.sciencemag.org/news/2018/09/ammonia-poorly-understood-smog-ingredient-could-be-key-limiting-deadly-pollution> (date of application: 18.01.2022).
6. Role of atmospheric ammonia in particulate matter formation in Houston during summertime / L. Gong [et al.] // Atmospheric Environment. 2013. V. 77. P. 893–900.
7. Tanner P.A. Vehicle-related ammonia emissions in Hong Kong // Environ. Chem. Lett. 2009. V. 7. P. 37–40.
8. Suarez-Bertoa R., Zardini A.A., Astorga C. Ammonia exhaust emissions from spark ignition vehicles over the New European Driving Cycle // Atmospheric Environment. 2014. V. 97. P. 43–53.
9. Vehicle Emissions as an Important Urban Ammonia Source in the United States and China / K. Sun [et al.] // Environ. Sci. Technol. 2017. V. 51 (4). P. 2472–2481.
10. Suarez-Bertoa R., Astorga C. Isocyanic acid and ammonia in vehicle emissions // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2016. V. 49. P. 259–270.
11. Link M.F., Kim J. Elevated production of NH_4NO_3 from the photochemical processing of vehicle exhaust: Implications for air quality in the Seoul Metropolitan Region // Atmospheric Environment. 2017. V. 156. P. 95–101.
12. Opređenje ammiaka v atmosfernom vozduhe spektrofotometričeskim metodom / N.N. Roeva [i dr.] // Ekologičeskie sistemy i pribory. 2021. № 12. S. 19–24.
13. Baranova E.I., Ruvinskij O.E., Baranova Z.A. Potenciometričeskoe opredelenie ionov ammoniya v vodnyh rastvorah // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaya tekhnologiya. 2014. № 1 (337). S. 16–18.
14. Malysheva A.G., Abramov E.G., Nezhencev K.N. Opređenje ammiaka v vozduhe metodom ionnoj hromatografii // Gigiena i sanitariya. 2011. № 4. S. 81–83.
15. Automated procedures for the determination of ozone and ammonia contents in air by using the chromatomembrane method for gas-liquid extraction / H. Erxleben [et al.] // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2000. T. 366. № 4. S. 0332–0335.
16. Moskvina L.N., Nikitina T.G. Determination of trace concentrations of HNO_2 and NO_2 in the atmosphere by ion chromatography with chromatomembrane preconcentration // Journal of Analytical Chemistry. 1999. T. 54. № 3. S. 290–295.
17. Moskvina L.N., Nikitina T.G. Membrannye metody razdeleniya veshchestv v analiticheskoj himii // Zhurnal analiticheskoj himii. 2004. T. 59. № 1. S. 6–22.
18. Moskvina L.N., Nikitina T.G. Chromate-membrane generation of standard gas mixtures – pollutant of air at mkg/l level // Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2005. T. 71. № 3. S. 3–6.

Информация об авторах:

Ольга Владимировна Ложкина, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Татьяна Георгиевна Никитина, доцент кафедры аналитической химии Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета (197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 14, лит. А), кандидат химических наук

Валерий Александрович Цветков, доцент высшей школы киберфизических систем и технологий института компьютерных наук и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, доцент, e-mail: sva_1946@mail.ru

Information about the authors:

Olga V. Lozhkina, professor of the department of physico-chemical foundations of gorenje and extinguishing processes of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Tatiana G. Nikitina, associate professor of the department of analytical chemistry of the Saint-Petersburg state chemical and pharmaceutical university (197022, Saint-Petersburg, Professor Popov str., 14, lit. A), candidate of chemical sciences

Valery A. Tsvetkov, associate professor of the higher school of cyberphysical systems and technologies of the institute of computer science and management of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: sva_1946@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.02.2022; одобрена после рецензирования: 09.03.2022; принята к публикации: 11.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.02.2022; approved after review: 09.03.2022; accepted for publication: 11.03.2022

УДК 614.842.847

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРНОГО РИСКА ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Мария Сергеевна Леонтьева;

Юрий Евгеньевич Актерский✉.

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

✉aue2002@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемы, связанные с пожароопасными и взрывоопасными грузами, перевозимыми железнодорожным транспортом. Снизить пожарный риск можно путем повышения эффективности мониторинга и информационного сопровождения перевозки опасных грузов. Современные условия перевозки опасных веществ и материалов требуют необходимости решения актуальной проблемы, заключающейся в поиске и совершенствовании методики снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Разработка и практическое использование новой методики снижения пожарного риска на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров позволит снизить вероятность возникновения на подвижном составе пожаров и других чрезвычайных ситуаций и тем самым минимизировать возможные материальные потери, случаи травмирования и гибели людей. Разработано предложение по решению выявленной проблемы.

Ключевые слова: опасные грузы, пожарный риск, железнодорожные грузоперевозки, предотвращение пожара, транспорт

Для цитирования: Леонтьева М.С., Актерский Ю.Е. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 108–116.

ANALYSIS OF THE COMPLEX PROBLEM AND THE MAIN FIRE RISK FACTORS IN THE TRANSPORTATION OF FLAMMABLE SUBSTANCES AND MATERIALS BY RAIL

Maria S. Leontyeva; Yuriy E. Akterskiy✉.

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

✉aue2002@yandex.ru

Abstract. The article deals with the problems associated with fire and explosive cargoes transported by rail. Fire risk can be reduced by increasing the effectiveness of monitoring and information support for the transportation of dangerous goods. Modern conditions for the carriage of hazardous substances and materials require the need to solve an urgent problem, which consists in finding and improving methods for reducing fire risk during railway transportation of flammable substances and materials. The development and practical use of a new methodology for reducing fire risk based on adaptive technology of guaranteed fire prevention will reduce the likelihood of fires and other emergencies on the rolling stock and, thereby, minimize possible material losses, cases of injury and loss of life. A proposal has been developed to solve the identified problem.

Keywords: dangerous goods, fire risk, railway cargo transportation, fire prevention, transport

For citation: Leontyeva M.S., Akterskiy Yu.E. Analysis of the complex problem and the main fire risk factors in the transportation of flammable substances and materials by rail // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 108–116.

Введение

Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в современном развитии экономики. Доля железнодорожных перевозок в общем грузообороте Российской Федерации превышает 80%. Большая протяженность железных дорог и широкий перечень взрывоопасных и пожароопасных грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, усложняют тушение возможных пожаров. Пожары и взрывы с участием опасных грузов приносят значительный материальный ущерб железнодорожной инфраструктуре, нередко приводят к человеческим жертвам, наносят ущерб окружающей среде. Складывающаяся обстановка приводит к необходимости совершенствования систем мониторинга безопасности перевозки грузов, наблюдения за параметрами грузов и факторами, которые могут привести к возгоранию.

Цель статьи – обоснование и разработка методических основ целевого функционирования и структуры аппаратно-программного комплекса дистанционного раннего обнаружения признаков и предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) при железнодорожных перевозках опасных грузов.

В ходе проведенного анализа статистических данных [1–3] были выявлены основные причины пожаров на грузовом подвижном составе: самовозгорание груза, неосторожное обращение с огнем, искры от тепловозов и линий отвода и др. Разнообразие перевозимых грузов и обновление вагонного парка диктует необходимость адаптировать систему обеспечения пожарной безопасности к любому грузовому составу, перевозящему легковоспламеняющиеся вещества и материалы.

После взрыва вагонов 4 октября 1988 г. на станции Свердловск-Сортировочный (суммарно взорвалось 104,5 т тротила и гексогена) в целях предотвращения подобных случаев и повышения пожарной безопасности транспортировки различных опасных грузов железнодорожным транспортом был издан приказ Министерства путей сообщения СССР, Министерства машиностроения СССР от 28 октября 1988 г. № 39Ц/523, определены первоочередные меры по обеспечению транспортирования разрядных грузов.

26 августа 2013 г. в полувагоне движущегося грузового поезда Западно-Сибирской железной дороги произошло самовозгорание серы в результате попадания на нее влаги. Имело место нарушение требований безопасности при погрузке и перевозке опасных грузов. Подобные инциденты свидетельствуют о необходимости мониторинга физических и химических свойств веществ и материалов, их реакции на изменение температуры, влажности и давления, биохимических процессов, происходящих в транспортируемых грузах различного происхождения. На данный момент такая комплексная система мониторинга отсутствует.

Пример взрыва в г. Бейруте 4 августа 2020 г. иллюстрирует возможность подобного инцидента и при железнодорожных перевозках аммиачной селитры, также перевозящейся в цистернах. Разрушения и ущерб инфраструктуре г. Бейрута составили 15 млрд долл. Жертвами взрыва стали около 6 тыс. человек, 300 тыс. остались без крова [4]. Всего прогремело два взрыва. Через 33 с во время второго, более мощного, взорвалось 2 750 т аммиачной селитры, хранившейся в портовой зоне.

С целью раннего обнаружения первичных признаков и предпосылок возгорания или взрыва транспортируемых железнодорожным транспортом опасных грузов предлагается построить комплексную систему дистанционного мониторинга параметров как подвижного состава, так и перевозимых грузов, при изменении которых до критических значений резко

возрастает вероятность возникновения ЧС. Предлагаемая мониторинговая система обеспечивает контроль и оценивание опасных параметров дистанционно без остановки грузового железнодорожного состава, что исключает существенные временные потери при транспортировке грузов.

Разработанная концепция построения мониторинговой системы может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ в морских портах, складах, при их транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных местах [5–7].

Материалы и методы исследования

Исследованию проблем пожарной безопасности железнодорожных перевозок опасных грузов, особенностям возникновения и тушения пожаров в процессе их транспортировки посвящены работы большого количества отечественных и зарубежных ученых [8–17], которые можно рассматривать в качестве базовой научно-практической основы для расширения и углубления исследований в данной области.

В настоящее время ведется активная работа по совершенствованию научно-методического аппарата и программно-технических средств, направленная на снижение риска ЧС при перевозках опасных грузов.

При подготовке данной статьи был проведен углубленный анализ и поиск методов и возможностей снижения рисков ЧС на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов. Было установлено, что к наиболее эффективным и экономически рациональным методам снижения пожарных рисков могут быть отнесены методы и способы, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению ЧС. Для обоснования данного утверждения были использованы теоретико-эмпирические методы и методы комплексного анализа и обработки известных статистических данных о рисках при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Для формирования общей концепции и конкретных предложений по снижению пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов были проведены всесторонние исследования технических характеристик грузового железнодорожного подвижного состава, используемого для их перевозки, а также проанализированы особенности и параметры взрывопожарной опасности таких грузов.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно действующим нормативным документам опасные грузы по характеру пожароопасных свойств делятся на девять классов. При их перевозке железнодорожным транспортом необходимо учитывать особенности и характеристики данных классов опасности [9, 11, 18].

Наиболее опасны грузы подкласса 3.1. К данному подклассу относятся легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки ниже -18°C . Общим свойством таких веществ (грузов) является способность создавать над поверхностью горючую концентрацию паров. Это происходит при любых температурах окружающей среды выше температуры вспышки [13, 19, 20].

Также высокой опасностью обладают вещества и материалы 4 класса. К ним относятся легковоспламеняющиеся (твердые), самовоспламеняющиеся вещества и вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой. При транспортировке опасных грузов 4 класса необходимо уделять внимание их влажности – недостаточная влажность может способствовать их самовозгоранию. При контакте с кислородом воздуха некоторые вещества (например, фосфор желтый) способны самовозгораться, а при взаимодействии с водой грузы подкласса 4.3 могут взрываться, так как являются высокоактивными по отношению к воде. Поэтому при их транспортировке во время дождя

или повышенной влажности окружающей среды эти опасные свойства грузов нужно обязательно учитывать и контролировать [21, 22].

Пожар может распространяться от вагона, где находится его очаг, к вагонам по ходу движения, в том числе за счет ветрового воздействия. В общем случае горение происходит за счет комбинированного термодиффузионного механизма. Процессы горения опасных грузов 4 класса характеризуются критическими условиями. Условия зависят от состава перевозимой смеси, от давления внутри железнодорожной цистерны, от температуры груза, температуры окружающей среды. Кроме этого, критические условия зависят и от других параметров возникновения пламени и его распространения по грузовому подвижному составу.

Установлено, что одним из направлений снижения риска возникновения подобных ЧС является организация мониторинга состояния перевозимых грузов и подвижного состава в процессе перевозки опасных грузов. На сегодняшний день известны системы мониторинга подвижного состава, но они предполагают в большинстве случаев контактную работу с грузом, что существенно замедляет скорость транспортировки грузов и тем самым снижает экономическую эффективность перевозок.

Снижение пожарного риска грузовых железнодорожных перевозок может быть достигнуто путем учета физических и химических свойств веществ и материалов, их реакции на изменение температуры, влажности и давления, биохимических процессов, происходящих в транспортируемых грузах различного происхождения. При этом дополнительно необходимо учитывать и факторы пожарного риска, создаваемые различными локомотивами.

В настоящее время основу локомотивного парка составляют электровозы и тепловозы. У тепловозов дизельное топливо располагается в специальных топливных баках в достаточно большом количестве. Важнейшей характеристикой пожарной опасности такого топлива является температура вспышки, которая составляет 40–65 °С. Также высокую пожарную нагрузку создают различные технические масла и другие смазочные материалы, которые могут интенсивно гореть.

На фоне увеличения численности общего парка грузовых вагонов для перевозки опасных грузов и различных локомотивов актуальным является совершенствование методики снижения риска возникновения пожаров и взрывов на железнодорожном транспорте [23], в частности, при перевозке опасных грузов.

По прогнозу ОАО «РЖД» спрос на новые вагоны до 2030 г. будет постоянно увеличиваться (рис. 1).

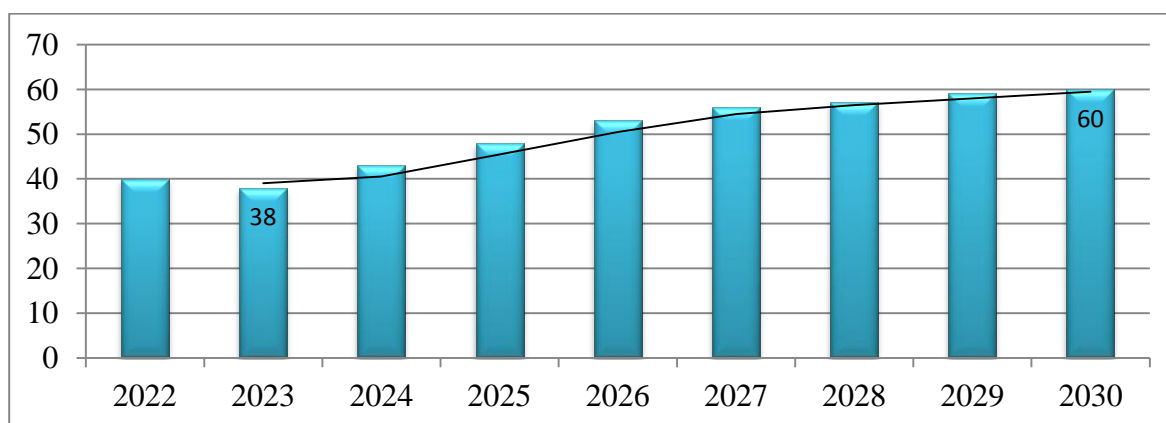


Рис. 1. Прогноз спроса на новые вагоны в 2022–2030 гг.

В ходе проведенного анализа было установлено, что наибольшая вероятность аварии состоит в пожарах и взрывах при перевозке легковоспламеняющихся веществ и материалов, это объясняется тем, что обеспечению и контролю пожарной безопасности, в частности, снижению пожарного риска путем мониторинга параметров груза, вагона и окружающей

среды при перевозке легковоспламеняющихся веществ и материалов уделяется недостаточно внимания.

Предлагается новый подход к организации мониторинга взрывопожарной опасности грузовых перевозок легковоспламеняющихся и самовоспламеняющихся опасных грузов на основе интеллектуализации систем мониторинга и использования высокочувствительных быстродействующих комбинированных датчиков.

Особенность нового подхода заключается в разработке комплексной мониторинговой системы контроля пожарной опасности перевозимых грузов, позволяющей дистанционно выявлять предпосылки к возникновению ЧС во время движения грузового состава. Структура аппаратно-программного комплекса, обобщенный комплексный алгоритм ее функционирования и взаимодействия с информационно-управляющими подсистемами более высокого уровня представлены на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы мониторинга

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс дистанционного мониторинга пожарного риска (АПКДМ ПР) предназначен для централизованного контроля грузового состава, регистрации технического состояния (автоматизированного выявления отказов и предотказных состояний) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а также идентификации груза, предоставления информации о его характеристиках. АПКДМ ПР осуществляет сбор, обработку, хранение и отображение информации о состоянии грузового состава в режиме реального времени. Информация передается в автоматическом режиме при смене локомотива, а также выдается на автоматизированные рабочие места оперативного персонала центрального пункта управления безопасностью в различной степени детализации в зависимости от уровня риска для принятия решений о дальнейших действиях с грузовым составом.

Совершенствование научно-методического аппарата снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе адаптивной технологии предотвращения пожаров; практическая реализация и внедрение

в эксплуатацию предлагаемого АПК позволят обеспечить раннее обнаружение предпосылок к возникновению взрывопожароопасных ЧС при железнодорожных перевозках опасных грузов и тем самым существенно снизить риски причинения вреда здоровью и жизни людей, а также масштабных материальных потерь. Анализируются возможности использования различных по физическим принципам действия высокочувствительных быстродействующих датчиков дистанционного контроля параметров взрывопожарной опасности перевозимых грузов.

Информация о достижении критических значений параметров грузов должна оперативно поступать диспетчеру ОАО «РЖД» и одновременно в Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации для принятия мер по предотвращению чрезвычайной ситуации, возможного взрыва или самовоспламенения. Оперативность передачи информации о возможной ЧС может быть достигнута путем использования современных систем и средств связи, включая спутниковую связь, что особенно актуально при перемещении грузовых вагонов на дальние расстояния, в Арктическом регионе (Мурманская область, Ямало-Ненецкий автономный округ и др.), восточной части России (Амурская область, Приморский край и др.).

Заключение

Снижение пожарного риска грузовых железнодорожных перевозок может быть достигнуто путем учета физических и химических свойств веществ и материалов, их реакции на изменение температуры, влажности и давления, биохимических процессов происходящих в транспортируемых грузах различного происхождения.

Совершенствование комплексных систем мониторинга опасных грузов на основе их интеллектуализации и комбинированных датчиков, а также использование современных систем и средств связи для оперативной передачи информации позволит снизить пожарные риски при железнодорожных перевозках [24]. Проблема, рассмотренная в статье, продолжает оставаться чрезвычайно актуальной, так как численность общего парка грузовых вагонов увеличивается, а номенклатура перевозимых взрывопожароопасных грузов ежегодно расширяется.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сб. / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021.
2. Exploratory analysis of fire statistical data and prospective study applied to security and protection systems / G.P.A. Lima [et al.] // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021. Т. 61. С. 102.
3. Analysis of Chinese fire statistics during the period 1997–2017 / Y. Luo [et al.] // *Fire Safety Journal*. 2021. Т. 125. С. 103.
4. Удаленные геофизические эффекты аварийного взрыва в Бейруте 04.08.2020 г. / А.А. Спивак [и др.] // *Динамические процессы в геосферах*. 2020. № 12. С. 114–122.
5. Nagi A., Schroeder M., Kersten W. Risk management in seaports: a community analysis at the port of Hamburg // *Sustainability*. 2021. С. 803.
6. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect / S. Shin [et al.] // *Journal of hazardous materials*. 2018. С. 279–289.
7. Chmieliński M.F. Safe handling of explosives containers in seaports // *Materiały Wysokoenergetyczne*. 2019. Т. 11.
8. Стручалин В.Г. Обеспечение пожаровзрывобезопасности котлов железнодорожных цистерн для перевозки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 172 с.

9. Крупенин С.С. Развитие системы и организация работы по обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. 2004. № 4. С. 16–29.
10. Зычков Э.А. Закономерности процессов эвакуации людей при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1998. 184 с.
11. Применение потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта / Л.А. Королева [и др.] // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2021. 30 (1). С. 16–31.
12. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Y. Michael [et al.] // Science of The Total Environment. 2021. Т. 764. С. 142.
13. Masoumi Z., van L Genderen J., Maleki J. Fire risk assessment in dense urban areas using information fusion techniques // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2019. Т. 8. № 12. С. 579.
14. Vadrevu K.P., Eaturu A., Badarinath K.V.S. Fire risk evaluation using multicriteria analysis – a case study // Environmental monitoring and assessment. 2010. Т. 166. № 1. С. 223–239.
15. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread / Y. Carmel [et al.] // Forest Ecology and Management. 2009. Т. 257. № 1. С. 370–377.
16. Integrating geospatial information into fire risk assessment / E. Chuvieco [et al.] // International journal of wildland fire. 2012. Т. 23. № 5. С. 606.
17. Quantitative fire risk assessment of cotton storage and a criticality analysis of risk control strategies / L. Ding [et al.] // Fire and Materials. 2020. Т. 44. № 2. С. 165–179.
18. Похилко С.П., Виховская Л.И. Организация маневровой работы на технических станциях с вагонами, которые запрещено распускать с горки: сб. науч. трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2016. № 43. С. 59–65.
19. Риски транспортировки опасных грузов / В.А. Акимов [и др.]. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 276 с.
20. Рогачева Е.С., Щербак Ю.С. Ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов // Проблемы техносферной безопасности: сб. статей Междунар. научно-практ. студ. конф. Воронеж, 2019. С. 74–77.
21. The effects of particular factors connected with maritime transport on quality and safety of cereal as a cargo / A. Ociecek [et al.] // Transport Problems: an International Scientific Journal. 2021. Т. 16. № 2.
22. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // Trans Motauto World. 2021. Т. 6. № 1. С. 27–29.
23. Тарасенко В.А. Анализ рисков чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на железнодорожном транспорте России // Междунар. науч. конф.: сб. науч. трудов. 2008. Т. 1. № 2. С. 4–5.
24. Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л., Леонтьева М.С. Перспективные автоматизированные системы контроля пожарной безопасности грузовых железнодорожных перевозок // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сб. тезисов по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2021. С. 23–25.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: statisticheskij sb. / pod obshch. red. D.M. Gordienko. М.: VNIИРО, 2021.
2. Exploratory analysis of fire statistical data and prospective study applied to security and protection systems / G.P.A. Lima [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2021. Т. 61. S. 102.
3. Analysis of Chinese fire statistics during the period 1997–2017 / Y. Luo [et al.] // Fire Safety Journal. 2021. Т. 125. S. 103.

4. Udalennye geofizicheskie efekty avariynogo vzryva v Bejrute 04.08.2020 g. / A.A. Spivak [i dr.] // *Dinamicheskie processy v geosferah*. 2020. № 12. S. 114–122.
5. Nagi A., Schroeder M., Kersten W. Risk management in seaports: a community analysis at the port of Hamburg // *Sustainability*. 2021. S. 803.
6. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect / S. Shin [et al.] // *Journal of hazardous materials*. 2018. S. 279–289.
7. Chmieliński M.F. Safe handling of explosives containers in seaports // *Materiały Wysokoenergetyczne*. 2019. T. 11.
8. Struchalin V.G. Obespechenie požarovzryvobezopasnosti kotlov zheleznodorozhnyh cistern dlya perevozki legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2016. 172 s.
9. Krupenin S.S. Razvitie sistemy i organizaciya raboty po obespecheniyu požarnoj bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte // *Nauka i tekhnika transporta*. 2004. № 4. S. 16–29.
10. Zychkov E.A. Zakonomernosti processov evakuacii lyudej pri požare podvizhnogo sostava v tonnele metropolitena: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 1998. 184 s.
11. Primenenie potenciala goryuchesti i eksergeticheskogo pokazatelya dlya ocenki požarnoj opasnosti gruzov zheleznodorozhnogo transporta / L.A. Koroleva [i dr.] // *Požarovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2021. 30 (1). S. 16–31.
12. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series / Y. Michael [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2021. T. 764. S. 142.
13. Masoumi Z., van L Genderen J., Maleki J. Fire risk assessment in dense urban areas using information fusion techniques // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. T. 8. № 12. S. 579.
14. Vadrevu K.P., Eaturu A., Badarinath K.V.S. Fire risk evaluation using multicriteria analysis – a case study // *Environmental monitoring and assessment*. 2010. T. 166. № 1. S. 223–239.
15. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread / Y. Carmel [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2009. T. 257. № 1. S. 370–377.
16. Integrating geospatial information into fire risk assessment / E. Chuvieco [et al.] // *International journal of wildland fire*. 2012. T. 23. № 5. S. 606.
17. Quantitative fire risk assessment of cotton storage and a criticality analysis of risk control strategies / L. Ding [et al.] // *Fire and Materials*. 2020. T. 44. № 2. S. 165–179.
18. Pohilko S.P., Vihovskaya L.I. Organizaciya manevrovoj raboty na tekhnicheskikh stanciyah s vagonami, kotorye zapreshcheno raspuskat' s gorki: sb. nauch. trudov Doneckogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. 2016. № 43. S. 59–65.
19. Riski transportirovki opasnyh gruzov / V.A. Akimov [i dr.]. M.: FGU VNII GOCHS (FC), 2011. 276 s.
20. Rogacheva E.S., Shcherbak Yu.S. Likvidaciya posledstvij avariynyh razlivov nefteproduktov // *Problemy tekhnosfernoj bezopasnosti: sb. statej Mezhdunar. nauchno-prakt. stud. konf. Voronezh*, 2019. S. 74–77.
21. The effects of particular factors connected with maritime transport on quality and safety of cereal as a cargo / A. Ociecek [et al.] // *Transport Problems: an International Scientific Journal*. 2021. T. 16. № 2.
22. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // *Trans Motauto World*. 2021. T. 6. № 1. S. 27–29.
23. Tarasenko V.A. Analiz riskov chrezvyčajnyh situacij, svyazannyh s požarami na zheleznodorozhnom transporte Rossii: sb. nauch. trudov Mezhdunar. nauch. konf. 2008. T. 1. № 2. S. 4–5.
24. Akterskij Yu.E., Shidlovskij G.L., Leont'eva M.S. Perspektivnye avtomatizirovannye sistemy kontrolya požarnoj bezopasnosti gruzovyh zheleznodorozhnyh perevozok // *Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii*

tehnologij bezopasnosti: sb. tezisov po materialam XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 2021. S. 23–25.

Информация об авторах:

Мария Сергеевна Леонтьева, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: mariL97@mail.ru

Юрий Евгеньевич Актерский, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Information about the authors:

Maria S. Leontieva, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: mariL97@mail.ru

Yury E. Akterskiy, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.02.2022; одобрена после рецензирования: 04.03.2022; принята к публикации: 15.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 24.02.2022; approved after review: 04.03.2022; accepted for publication: 15.03.2022

УДК 614.8

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Андрей Климентьевич Черных;

Елена Евгеньевна Горшкова✉.

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

Валерий Борисович Вилков.

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии

А.В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

✉ gorshkovaelena@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрена задача о прогнозировании расхода огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров. При возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с многочисленными лесными пожарами, большой площадью, которую они проходят, и значительными сопутствующими потерями, возникает задача о прогнозировании необходимых объемов расходных материалов, в частности, огнетушащего вещества. В рамках решения этой задачи для прогноза качественной характеристики расхода огнетушащего вещества привлекаются элементы теории нечетких множеств и нечеткая логика. Решение задачи определения среднего значения расхода огнетушащего вещества основано на идеях Мамдани. Поскольку используемые исходные данные определены неоднозначно, то для решения задачи используется теория нечетких множеств и нечеткая логика, в частности, нечеткий логический вывод. Результатом решения задачи является прогноз качественной характеристики расхода огнетушащего вещества (высокий, средний, низкий) и устанавливается среднее значение расхода огнетушащего вещества в зависимости от площади пожара в момент обнаружения и расстояния до пожарного ствола. Приводится алгоритм решения задачи, проиллюстрированный содержательным примером.

Ключевые слова: лесной пожар, задача о прогнозе расхода огнетушащего вещества, нечеткий логический вывод, нечеткая логика, нечеткое множество

Для цитирования: Черных А.К., Горшкова Е.Е., Вилков В.Б. Прогнозирование расхода огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 117–125.

FORECASTING THE FLOW OF FIRE EXTINGUISHING AGENT WHEN HAVING FUN FIRES

Andrey K. Chernykh; Elena E. Gorschkova✉.

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

Valery B. Vilkov.

Military academy of logistics named after army general A.V. Khrulev, Saint-Petersburg, Russia

✉ gorshkovaelena@rambler.ru

Abstract. The article considers the task of predicting the consumption of a fire extinguishing agent in the extinguishing of forest fires. Since the source data used is not defined, the theory of fuzzy sets and fuzzy logic is used to solve the problem, in particular, fuzzy logic output. The result of the solution of the problem is the forecast of the qualitative characteristics of the expenditure of the fire extinguishing agent (high, medium, low) and the average value of the expenditure of the fire extinguishing agent is set depending on the fire area at the time

of detection and distance to the branch of the brand. An algorithm for solving a problem illustrated by a meaningful example is given.

Keywords: forest fire, task of the forecast of the expenditure of a fire extinguishing agent, fuzzy logic conclusion, fuzzy logic, a fuzzy set

For citation: Chernykh A.K., Gorschkova E.E., Vilkov V.B. Forecasting the flow of fire extinguishing agent when having fun fires // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 117–125.

Введение

Лесные пожары последних лет как в нашей стране, так и за рубежом, приводят к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС). 2021 г. проходил в смоге от гигантских лесных пожаров – сотни тысяч охваченных огнем гектаров стали настоящей проверкой на прочность для многих стран: от России и Турции до США и Бразилии. Не считая вреда от человеческой деятельности, основной причиной возгораний является именно глобальное потепление. Огонь беспрестанно поглощает леса и жилые массивы, никого не оставляя в живых [1].

Вышесказанное, а также неопределенность исходных данных, характеризующих лесные пожары, указывают на актуальность решения предлагаемой задачи.

В результате ЧС, связанной с многочисленными лесными пожарами, огромной площадью, которую они проходят, и значительными сопутствующими потерями, в том числе и людскими, возникает задача о прогнозировании необходимых объемов расходных материалов, в частности, огнетушащего вещества. В рамках решения данной задачи для прогноза качественной характеристики расхода огнетушащего вещества предлагается использовать подходы, изложенные в публикациях [2–4], определение среднего значения расхода огнетушащего вещества определять с использованием идей Мамдани [5–7].

Методы исследования

Указанные подходы к решению сформулированных задач, определяют, по мнению авторов, как актуальность, так и новизну статьи.

Все используемые в дальнейшем теоретические положения теории нечетких множеств и нечеткой логики детально рассмотрены в публикациях [8–11].

В рамках статьи представляет интерес нечеткое множество «пожар рядом с населенным пунктом». Это нечеткое множество можно трактовать как «около R метров». Для $R = 160$ м на рис. 1 для указанного нечеткого множества приведена графическая иллюстрация функции принадлежности.

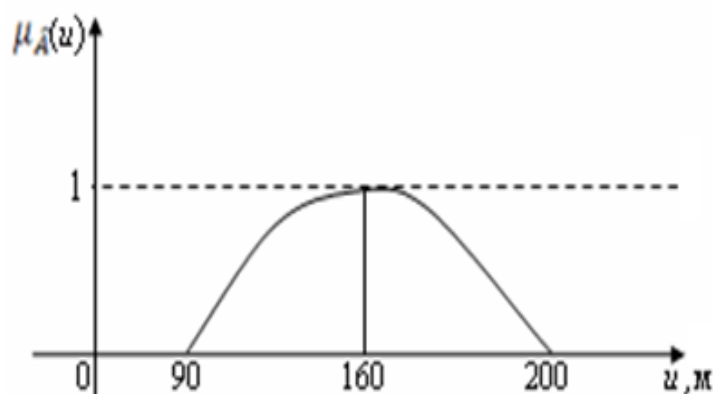


Рис. 1. Графическое представление функции принадлежности для нечеткого множества «около 160 метров»

Следует подчеркнуть взаимозаменяемость в рамках статьи понятий: степень принадлежности, надежность и значение функции принадлежности.

В дальнейшем потребуется формула, определяющая функцию принадлежности нечеткого трапециевидного числа – (1), а также операция объединения (дизъюнкция) – (2) и пересечения (конъюнкция) – (3) для нечетких множеств:

$$\mu_{\hat{A}}(u) = \begin{cases} \frac{u-a}{b-a}, & \text{если } u \in [a,b], \\ 1, & \text{если } u \in [b,c], \\ \frac{c-u}{c-b}, & \text{если } u \in [b,c], \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}; \quad (1)$$

$$\mu_{\hat{C}}(u) = \min \{ \mu_{\hat{A}}(u), \mu_{\hat{B}}(u) \}; \quad (2)$$

$$\mu_{\hat{D}}(u) = \max \{ \mu_{\hat{A}}(u), \mu_{\hat{B}}(u) \}. \quad (3)$$

В статье будем использовать фаззификацию (преобразование четкого множества в нечеткое множество) и дефаззификацию (преобразование нечеткого множества в число) [8].

Дефаззификацию нечеткого множества в соответствии с методом центра тяжести [8, 9] будем осуществлять по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^k u_i \cdot \mu_{\hat{A}}(u)}{\sum_{i=1}^k \mu_{\hat{A}}(u)}. \quad (4)$$

где k – число значений нечеткого множества.

Выполним операцию дефаззификации нечеткого множества \hat{A} – «размер пожара при обнаружении средний» с функцией принадлежности, заданной табл. 1 (f – размер пожара при обнаружении, га).

Таблица 1. Данные для дефаззификации множества \hat{A}

f	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_{\hat{A}}(f)$	0,1	0,3	0,8	1,0	0,9	0,7	0,2	0,1

Используя формулу (4), преобразуем множество \hat{A} в число α :

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,8 + 5 \cdot 1,0 + 6 \cdot 0,9 + 7 \cdot 0,7 + 8 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,1}{0,1 + 0,3 + 0,8 + 1,0 + 0,9 + 0,7 + 0,2 + 0,1} = \frac{22,1}{4,1} \approx 5,39.$$

Таким образом, площадь пожара оценивается как 5,39 га.

Результаты исследования и их обсуждение

Вернемся к рассматриваемой в статье задаче о прогнозировании расхода огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров.

Исходными данными в рамках рассматриваемой задачи являются:

– список входных лингвистических переменных с указанием их термов, а также формализующих указанные термы нечетких множеств;

– выходная лингвистическая переменная, ее термы и нечеткие множества, ее формализующие;

– база знаний, соотносящая каждому набору термов входных переменных терм выходной переменной.

При решении указанной задачи используется метод нечеткого логического вывода. С его помощью по заданным числовым значениям входных переменных (в дальнейшем факторов) x_1, x_2, \dots, x_n определяется значение выходной переменной (параметра) y . Выделим следующие основные этапы используемого метода:

1. Задаем значения факторов.

2. Определяем, учитывая заданные значения факторов, степень принадлежности этих факторов нечетким множествам (операция фаззификации). Эти нечеткие множества формализуют термы лингвистических входных переменных.

3. Логический вывод: на основе базы знаний и нечетких логических операций определяем степень истинности (функцию принадлежности) термов параметра (выходной переменной) для заданных числовых значений факторов.

4. Дефаззификация нечеткого множества.

Определим используемые факторы.

X – лингвистическая переменная «площадь лесного пожара при обнаружении» (первая входная переменная), с термами \hat{A}_1 («несильный пожар»), \hat{A}_2 («средний пожар»), \hat{A}_3 («сильный пожар»). Эти термы заданы на универсальном множестве от 0,1 до 10 га. Графики функций принадлежности, соответствующих нечетким множествам, приведены на рис. 2. Площадь лесного пожара будем обозначать f , она измеряется в гектарах.

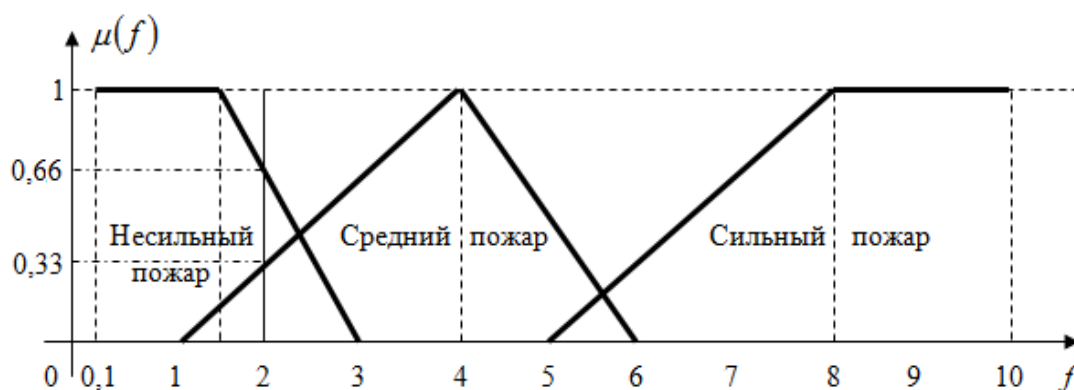


Рис. 2. Графики функций принадлежности для термов переменной «площадь лесного пожара при обнаружении»

Y – лингвистическая переменная «расстояние от ствола брандспойта» (вторая входная переменная) с термами \hat{B}_1 («близко»), \hat{B}_2 («средне»), \hat{B}_3 («далеко»), заданными на универсальном множестве, в качестве которого рассматривается множество возможных расстояний в метрах – промежуток от 20 до 50 м, соответствующие графики приведены на рис. 3. Расстояние обозначим через r , оно измеряется в метрах.

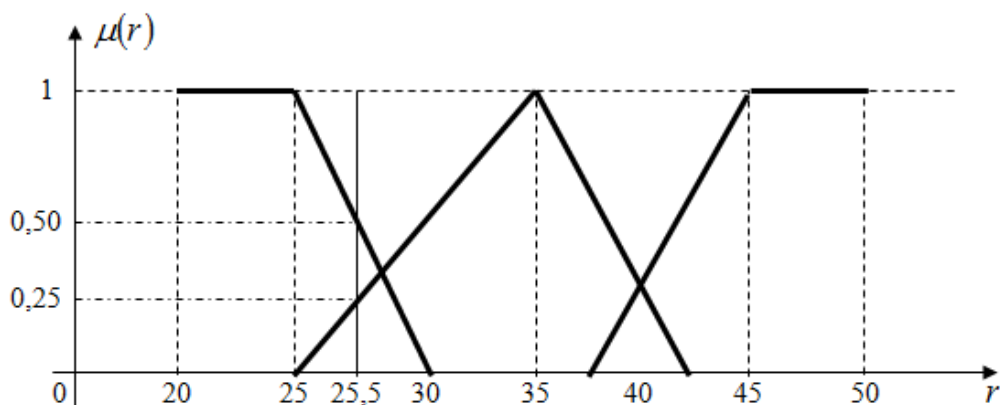


Рис. 3. Графики функций принадлежности для термов переменной «расстояние от ствола брандспойта»

Z – лингвистическая переменная «расход огнетушащего вещества» (выходная переменная) с термами \hat{C}_1 («низкий»), \hat{C}_2 («средний»), \hat{C}_3 («высокий»), заданными на множестве 3 л/сек. – 27 л/сек., его расход принято обозначать буквой p (рис. 4).

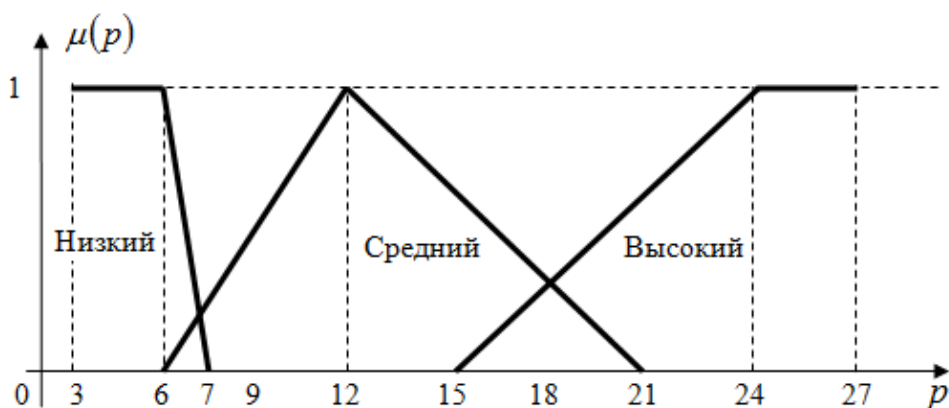


Рис. 4. Графики функций принадлежности термов выходной переменной «расход огнетушащего вещества»

$\mu_{\hat{A}_i}$, $\mu_{\hat{B}_j}$, $\mu_{\hat{C}_k}$ $i, j, k=1,2,3$ – функции принадлежности, формализующие соответствующие термы рассматриваемых лингвистических переменных.

Для решения задачи используем базу знаний (табл. 2).

Таблица 2. Расход огнетушащего вещества в зависимости от площади лесного пожара при обнаружении и расстояния от ствола брандспойта

Расстояние от ствола брандспойта	Площадь лесного пожара при обнаружении		
	«сильный пожар» (\hat{A}_3)	«средний пожар» (\hat{A}_2)	«несильный пожар» (\hat{A}_1)
«близко» (\hat{B}_1)	высокий (\hat{C}_3)	средний (\hat{C}_2)	низкий (\hat{C}_1)
«средне» (\hat{B}_2)	высокий (\hat{C}_3)	средний (\hat{C}_2)	средний (\hat{C}_2)
«далеко» (\hat{B}_3)	высокий (\hat{C}_3)	высокий (\hat{C}_3)	высокий (\hat{C}_3)

Если, например, площадь пожара при обнаружении «средний пожар» и расстояние от ствола брандспойта «далеко», то «расход огнетушащего вещества» принимается равным нечеткому значению «высокий».

Для иллюстрации реализации метода нечеткого логического вывода применительно к обсуждаемой задаче рассмотрим пример для значений входных переменных «площадь лесного пожара при обнаружении» и «расстояние от ствола брандспойта», равных соответственно 2 га и 25,5 м (табл. 3).

Таблица 3. Степень истинности высказываний о том, что значения входных переменных 2 га и 25,5 м принадлежат соответствующим термам и их сочетаниям

	$\mu_{\hat{B}_j}$	(\hat{A}_3)	(\hat{A}_2)	(\hat{A}_1)
$\mu_{\hat{A}_i}$		0	0,33	0,66
\hat{B}_1	0,50	0	0,33	0,5
\hat{B}_2	0,25	0	0,25	0,25
\hat{B}_3	0	0	0	0

Для переменной X – степень истинности нечеткого высказывания «площадь лесного пожара при обнаружении приняла значение \hat{A}_i » $i=1, 2, 3$, определяется по графику (рис. 2) или рассчитывается по формуле (1) и указана в соответствующей клетке строки № 2 в табл. 3.

Для переменной Y – степень истинности нечеткого высказывания «расстояние от ствола брандспойта приняло значение \hat{B}_j », $j=1, 2, 3$, определяется по графику (рис. 3) или рассчитывается по формуле (1) и указана в соответствующей клетке графы № 2 в табл. 3.

Степень истинности нечеткого высказывания «площадь лесного пожара при обнаружении приняла значение \hat{A}_i , и расстояние от ствола брандспойта приняло значение \hat{B}_j » $i, j = 1, 2, 3$ вычисляется по формуле (2) и указана в соответствующей клетке табл. 3.

Для значений переменных: X , равного терму \hat{A}_2 , а Y – терму \hat{B}_2 надежность по правилу конъюнкции равна минимальному из чисел 0,33 и 0,25.

Из табл. 2, 3 (и рис. 2, 3) видно, что при $f = 2 \text{ га}$ и $r = 25,5 \text{ м}$ максимальная надежность имеет место для сочетания термов \hat{A}_1 и \hat{B}_1 , что соответствует терму «низкий» выходной переменной. Это и предлагается использовать в качестве прогноза качественной характеристики расхода огнетушащего вещества.

Пусть известны функции принадлежности термов выходной лингвистической переменной, и их графики представлены на рис. 4. Найдем приближенное решение задачи о среднем расходе огнетушащего вещества в зависимости от площади пожара в момент обнаружения и расстояния до ствола брандспойта при $f = 2 \text{ га}$ и $r = 25,5 \text{ м}$ с использованием метода Мамдани [5–7].

Из табл. 3 видно, что ненулевые надежности получены только в четырех случаях: $\hat{B}_1 - \hat{A}_1$, $\hat{B}_1 - \hat{A}_2$, $\hat{B}_2 - \hat{A}_1$, $\hat{B}_2 - \hat{A}_2$. В этих ситуациях выходная переменная принимает значения \hat{C}_1 , \hat{C}_2 , \hat{C}_2 , \hat{C}_2 соответственно.

Для каждого из термов \hat{C}_1 , \hat{C}_2 и \hat{C}_3 установим, используя формулу (3) для соответствующих значений из табл. 3, в табл. 4 их надежности.

Таблица 4. Надежность термов переменной Z для ситуации $f=2, r=25,5$

Термы выходной переменной	\hat{C}_1	\hat{C}_2	\hat{C}_3
Надежность	0,5	0,33	0

На основе полученных данных проведем логический вывод.

Подчеркнем, что в табл. 4, максимальные надежности (табл. 2, 3) имеют место для вариантов $\hat{B}_1 - \hat{A}_1$ (вторая графа табл. 4) и $\hat{B}_1 - \hat{A}_2$ (третья графа табл. 4).

Для случаев $\hat{B}_1 - \hat{A}_1, \hat{B}_1 - \hat{A}_2$ значений переменных X и Y определим, на основе рис. 4, степени принадлежности термам \hat{C}_1 (строка 2 табл. 5) и \hat{C}_2 (строка 3 табл. 5) значений переменной Z, которую изменяем с шагом 3.

В четвертой строке табл. 5 для полученных значений $\mu_{\hat{C}_1}(z)$ (вторая строка табл. 5) учитываем степени принадлежности термов \hat{A}_1 и \hat{B}_1 , в пятой строке табл. 5 для полученных значений $\mu_{\hat{C}_2}(z)$ (третья строка табл. 5) учитываем степени принадлежности термов \hat{A}_2 и \hat{B}_1 .

Таблица 5. Расчет степеней принадлежности значений переменной Z, если входные переменные имеют значения 2 и 25,5

Значения выходной переменной (z)	3	6	9	12	15	18	21	24	27
$\mu_{\hat{C}_1}(z)$	1,0	1,0	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_{\hat{C}_2}(z)$	0	0	0,5	1,0	0,66	0,33	0	0	0
$e = \mu_{\hat{A}_1}(2) \wedge \mu_{\hat{B}_1}(25,5) \wedge \mu_{\hat{C}_1}(z)$	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0
$f = \mu_{\hat{A}_2}(2) \wedge \mu_{\hat{B}_1}(25,5) \wedge \mu_{\hat{C}_2}(z)$	0	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0	0
$e \vee f$	0,5	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0	0

В шестой строке представлены результаты последней операции логического вывода.

Проведем дефазсификацию выходной переменной.

Как было уже отмечено ранее, для этой цели будем использовать формулу (4), в результате расчетов по которой получим:

$$\frac{3 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,5 + 9 \cdot 0,33 + 12 \cdot 0,33 + 15 \cdot 0,33 + 18 \cdot 0,33 + 21 \cdot 0 + 24 \cdot 0 + 27 \cdot 0}{0,5 + 0,5 + 0,33 + 0,33 + 0,33 + 0,33 + 0 + 0 + 0} = \frac{22,5}{2,33} \cong 9,66.$$

Таким образом, расход огнетушащего вещества оценивается, как 9,66 л/сек.

Заключение

На основе предложенного метода решения задачи о прогнозировании расхода огнетушащего вещества при тушении лесных пожаров несложно, используя программные средства обработки данных [12], разработать компьютерную программу подготовки данных для принятия решения на организацию тушения лесных пожаров, ликвидации ЧС природного и техногенного характера [13, 14].

Список источников

1. Lenta.ru. URL: lenta.ru/photo/2021/08/08/fire_world/Среда обитания (дата обращения: 23.10.2021).
2. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. New York: Springer, 2001.
3. Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8. № 3. P. 338–353.
4. Яхьяева Г.Э. *Нечеткие множества и нейронные сети*. М.: Бином, 2006.
5. Орловский С.А. *Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации*. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
6. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods / V.B. Vilkov [et al.] // *Espacios*. 2018. Т. 39. № 20. С. 16.
7. 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.
8. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
9. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with fuzzy logic controller // *Int. J. Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7. № 1. P. 1–13.
10. Mamdani E.H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers // *International Journal of Man-Machine Studies*. 1976. Vol. 8. P. 669–678.
11. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений*. М.: Мир, 1976.
12. *Информационные системы и технологии. Информационные технологии. Базовый курс: учеб.* / А.В. Костюк [и др.]. СПб.: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. Ч. 1. 242 с.
13. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера объектов экономики / Е.Е. Горшкова [и др.] // *Неделя науки в СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием*. СПб.: С.-Петербург. гос. политехн. ун-т Петра Великого. Институт военно-технического образования и безопасности, 2016. С. 11–14.
14. Вилков В.Б., Черных А.К., Горшкова Е.Е. Прогнозирование числа пострадавших при пожаре в результате чрезвычайной ситуации // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2020. № 2 (54). С. 82–86.

References

1. Lenta.ru URL: lenta.ru/photo/2021/08/08/fire_world/Sreda obitaniya (data obrashcheniya: 23.10.2021).
2. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. New York: Springer, 2001.
3. Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8. № 3. P. 338–353.
4. Yah"yaeva G.E. *Nechetkie mnozhestva i nejronnye seti*. M.: Binom, 2006.
5. Orlovskij S.A. *Problemy prinyatiya reshenij pri nechetkoj iskhodnoj informacii*. M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1981.
6. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods / V.B. Vilkov [et al.] // *Espacios*. 2018. Т. 39. № 20. S. 16.
7. Vilkov V.B., Flegontov A.V., Chernyh A.K. *Matematicheskaya model' zadachi o raspredelenii v usloviyah neopredelennosti* // *Differencial'nye uravneniya i processy upravleniya*. 2018. № 2. S. 180–191.
8. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH*. SPb.: BHV-Peterburg, 2005.
9. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with fuzzy logic controller // *Int. J. Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7. № 1. P. 1–13.
10. Mamdani E.H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers // *International Journal of Man-Machine Studies*. 1976. Vol. 8. P. 669–678.
11. Zade L. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij*. M.: Mir, 1976.

12. Informacionnye sistemy i tekhnologii. Informacionnye tekhnologii. Bazovyy kurs: ucheb. / A.V. Kostyuk [i dr.]. SPb.: Izd. RGPU im. A.I. Gercena, 2014. CH. 1. 242 s.
13. Monitoring i prognozirovanie chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennoho haraktera ob"ektov ekonomiki / E.E. Gorshkova [i dr.] // Nedelya nauki v SPbPU: materialy nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb.: S.-Peterb. gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet Petra Velikogo. Institut voenno-tekhnicheskogo obrazovaniya i bezopasnosti, 2016. S. 11–14.
14. Vilkov V.B., Chernyh A.K., Gorshkova E.E. Prognozirovanie chisla postradavshih pri pozhare v rezul'tate chrezvychajnoj situacii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 2 (54). S. 82–86.

Информация об авторах:

Андрей Климентьевич Черных, профессор кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: nataliachernykh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1008-2057>

Елена Евгеньевна Горшкова, старший преподаватель кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: gorshkovaelenae@rambler.ru

Валерий Борисович Вилков, доцент кафедры общенаучных и общетехнических дисциплин Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: amirusha@rambler.ru

Information about the authors:

Andrey K. Chernykh, professor of the department of retraining and advanced training of specialists of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: chernih.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1008-2057>

Elena E. Gorshkova, senior lecturer of the department of retraining and advanced training of specialists of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: gorshkovaelenae@rambler.ru

Valery B. Vilkov, associate professor of the department of general scientific and general technical disciplines of military academy of logistics named after Army General A.V. Khrulev (199034, St. Petersburg, nab. Makarova, 8), candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, e-mail: amirusha@rambler.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.02.2022; одобрена после рецензирования: 09.03.2022; принята к публикации: 11.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.02.2022; approved after review: 09.03.2022; accepted for publication: 11.03.2022

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.89

ОБЗОР СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ГАРНИЗОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Александр Маркович Филановский;

Елена Сергеевна Иванова;

Максим Сергеевич Бесков✉.

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

✉ bmsmchs@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам устаревания парка специальных пожарных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области, представлены статистические данные по количеству пожаров в Российской Федерации и Архангельской области. Представлены данные по количественному и качественному составу парка специальных пожарных автомобилей. По результатам проведенного анализа выявлено, что 40 % этого парка имеет возраст свыше 20 лет и требует обновления. Предложен обобщенный комплекс для пожарных автолестниц и автоподъемников, который позволяет выбрать автомобиль, имеющий лучшие технические характеристики.

Ключевые слова: пожар, автомобиль, специальная техника, аварийно-спасательные и другие неотложные работы, анализ размерностей

Для цитирования: Филановский А.М., Иванова Е.С., Бесков М.С. Обзор специальных пожарных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 126–134.

REVIEW OF SPECIAL FIRE TRUCKS OF THE FIRE AND RESCUE GARRISON OF THE ARKHANGELSK REGION

Aleksander M. Filanovsky; Elena S. Ivanova; Maxim S. Beskov✉.

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

✉ bmsmchs@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the issues of obsolescence of the fleet of special fire trucks of the fire and rescue garrison of the Arkhangelsk region, statistical data on the number of fires in the Russian Federation and the Arkhangelsk region are presented. Data on the quantitative and qualitative composition of the fleet of special fire trucks are presented. According to the results of the analysis, it was revealed that 40 % of this park is over 20 years old and requires updating. The article proposed a generalized complex for autoladders and cars lift, which allows you to calculate a car with the best technical characteristics.

Keywords: fire, car, special equipment, rescue and other urgent work, dimensional analysis

For citation: Filanovsky A.M., Ivanova E.S., Beskov M.S. Review of special fire trucks of the fire and rescue garrison of the Arkhangelsk region // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 126–134.

Введение

Развитие современных технологий производства и строительства также предъявляет требования к совершенствованию материально-технической базы пожарно-спасательных подразделений, совершенствованию существующих и внедрению новых технических средств, предназначенных для уменьшения времени реагирования пожарно-спасательных подразделений на пожары и чрезвычайные ситуации.

При этом следует отметить, что в настоящее время специальные пожарные автомобили распределяются в пожарно-спасательные гарнизоны без учета специфики региона и условий застройки. В связи с этим возникает необходимость выбора оптимальных из представленных образцов пожарной техники с учетом минимальных финансовых затрат и максимально полезных потребительских качеств. Для выполнения этих условий целесообразно использовать метод анализа размерностей.

Статистические данные по пожарам в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) и парку специальной пожарной техники в Архангельской области

На протяжении последних пяти лет количество пожаров в СЗФО превышает значение в 38 000, при этом количество погибших на пожарах за 2020 г. составило 771 человек, данные представлены на рис. 1, 2. По количеству пожаров в СЗФО Архангельская область занимает шестое место из 11 субъектов, а по числу погибших – третье место, данные представлены на рис. 3, 4 [1].

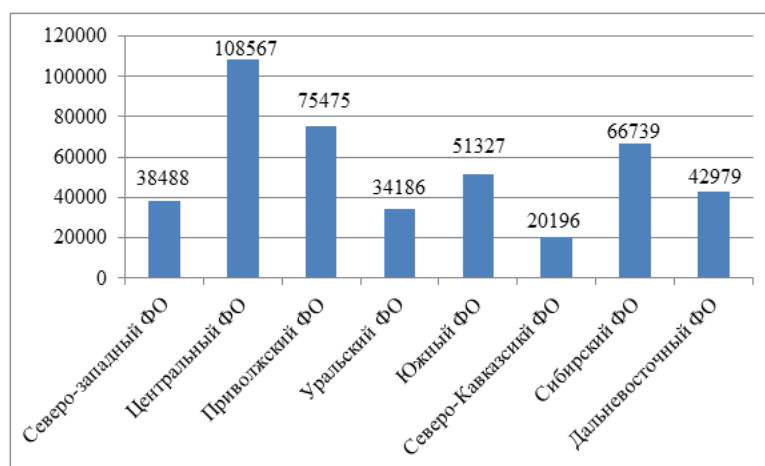


Рис. 1. Количество пожаров, произошедших за 2020 г. по федеральным округам Российской Федерации

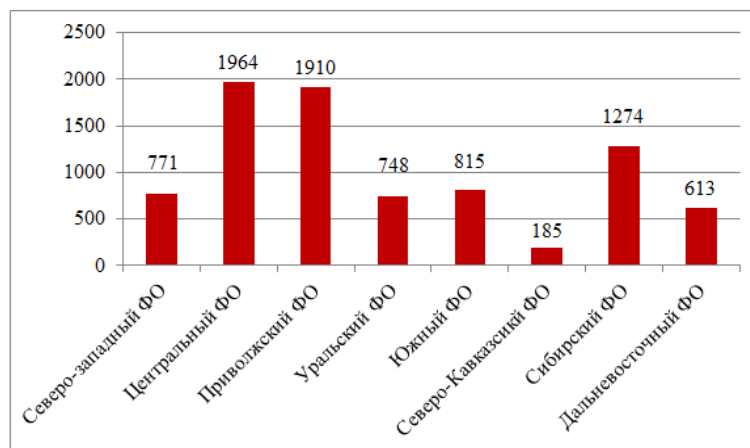


Рис. 2. Количество погибших на пожаре за 2020 г. по округам по федеральным округам Российской Федерации

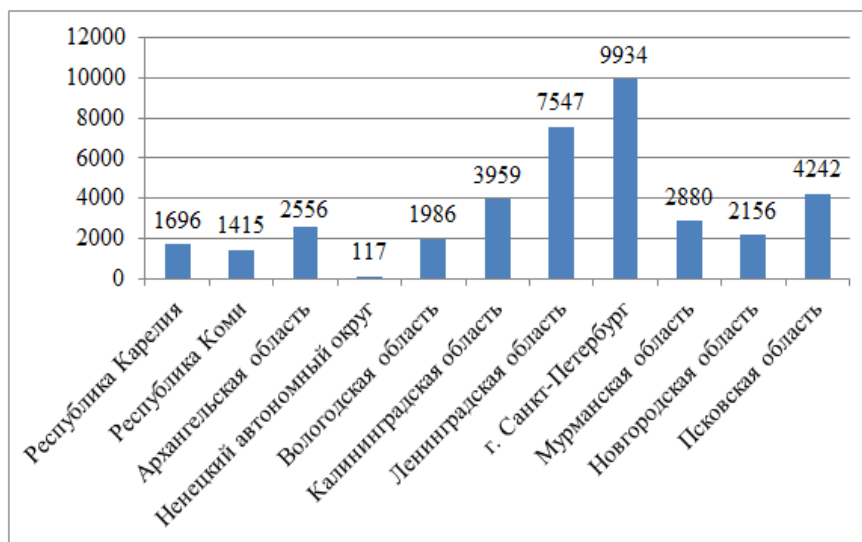


Рис. 3. Количество пожаров произошедших в СЗФО за 2020 г.

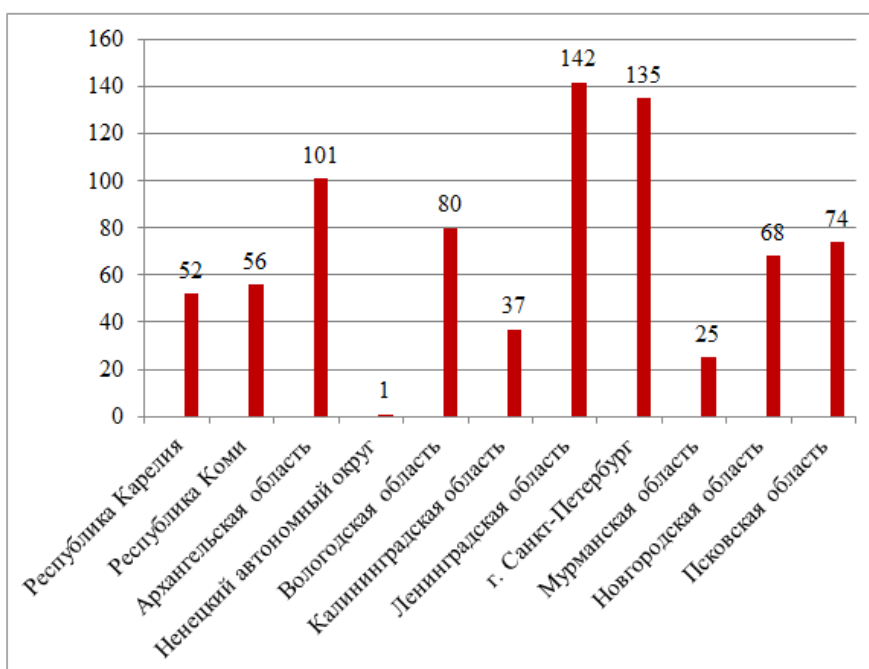


Рис. 4. Количество погибших на пожарах в СЗФО

Из представленных данных можно сделать вывод, что несмотря на постоянное совершенствование законодательства в области обеспечения пожарной безопасности и разработки новых образцов пожарной техники, ситуация с пожарами и гибелью людей не теряет своей значимости.

Успешная локализация и последующая ликвидация пожара, количество спасенных людей и имущества напрямую зависят от состава и состояния пожарной техники, в том числе специальных пожарных автомобилей.

Специальные пожарные автомобили – это автомобили, предназначенные для выполнения специальных работ при пожаре. Состав парка специальных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области представлен в табл. 1 [2–10].

Таблица 1. Парк специальных пожарных автомобилей Архангельского пожарно-спасательного гарнизона по типу и году выпуска

№ п/п	Наименование подразделения (организации)	Тип автомобиля	Производитель базового шасси	Год выпуска
1	ПСЧ № 1 «1 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АЛ-30 (131) ПМ506	ЗИЛ	1989
2	ПСЧ № 3 «1 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АР-2 (131)	ЗИЛ	1982
		АОПТ-100 (3308)	ГАЗ	2007
3	ПСЧ № 2 «1 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АР-2 (5557)	УРАЛ	2007
		АКП-50 (6540)	КАМАЗ	2015
		АЛ-30 (43114)	КАМАЗ	2009
4	ПСЧ № 4 «1 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АКП-30.3 (53213) Bronto Skylift	КАМАЗ	1985
		АКП-32 (43118)	КАМАЗ	2003
5	ПСЧ № 5 «1 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АЛ-30 (131) 506 ПМ	ЗИЛ	1990
6	ПСЧ № 7 «21 ПСО ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Архангельской области»	АЛ-30 (43502) ПМ 506 Э	КАМАЗ	2019
		АЛ-30 (131) Л21	ЗИЛ	1979
7	СПСЧ ФПС ГПС им. Героя Советского Союза Виктора Михайловича Петрова Главного управления МЧС России по Архангельской области	АЛ-50 (65115)	КАМАЗ	2014
		АСО-20 (3308)-90BP	ГАЗ	2001
		АР-2 133А (131)	ЗИЛ	1985
		АБГ-3 (4308)	КАМАЗ	2014
8	ПЧ № 33 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 7»	АЛ-30 (DLK GL 23 12)	IVECO	2005
9	СПБ и ЧС группа «Илим»	АЛ-30 (596503)	Урал	2013
10	ПСЧ № 16 «2 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Архангельской области»	АЛ-30 (43206)	КАМАЗ	2013
11	Опорный пункт № 2 16 ПСЧ «2 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Архангельской области»	АР-2 (131)	ЗИЛ	1977
		АСО-8 (66)	ГАЗ	1994
12	ПСЧ № 13 «2 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Архангельской области»	АЛ-30(131) ПМ 506	ЗИЛ	1986
13	СПСЧ № 4 ФГКУ «Специальное управление ФПС № 18 МЧС России»	АЛ-50 (65115)	КАМАЗ	2014
		АКП-32 (43118)	КАМАЗ	2008
14	ПЧ № 53 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 20»	IVECO DLK 23-12 N.B. VARIO CS	IVECO	2012
15	ПГСС АО «АЦБК»	RW-2 IVECO	IVECO	1990
16	СПСЧ № 3 «Специальное управление ФПС № 18 МЧС России»	АКП-50(6540)	КАМАЗ	2015
		АЛ-50(65115)	КАМАЗ	2014
		АЛ-30(43502) ПМ506Э	КАМАЗ	2018
17	ПЧ № 26 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 1» г. Вельск	АЛ-21(131) ПМ-506	ЗИЛ	1981
18	ПЧ № 34 г. Сольвычегодск ГКУ Архангельской области «ОГПС № 21»	АЛ-30(131) ПМ 506	ЗИЛ	1988

№ п/п	Наименование подразделения (организации)	Тип автомобиля	Производитель базового шасси	Год выпуска
19	ПЧ № 41 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 12» г. Няндомы (Каргополь-2)	АЛ-30 (131) ПМ-506	ЗИЛ	1986
20	ПЧ № 43 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 13» (г. Онега)	IVECO DLK 23-12 GL VARIO	IVECO	2006
21	ПЧ № 46 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 15» пос. Плесецк	АЛ-30 (43206)	КАМАЗ	2018
22	ПЧ № 54 ГКУ Архангельской области «ОГПС № 16» с. Холмогоры	АЛ-30 (131)	ЗИЛ	1991

Как видно из табл. 1, основной парк составляют автомобили на шасси отечественного производства. Распределение специальных пожарных автомобилей по видам работ представлено на рис. 5.

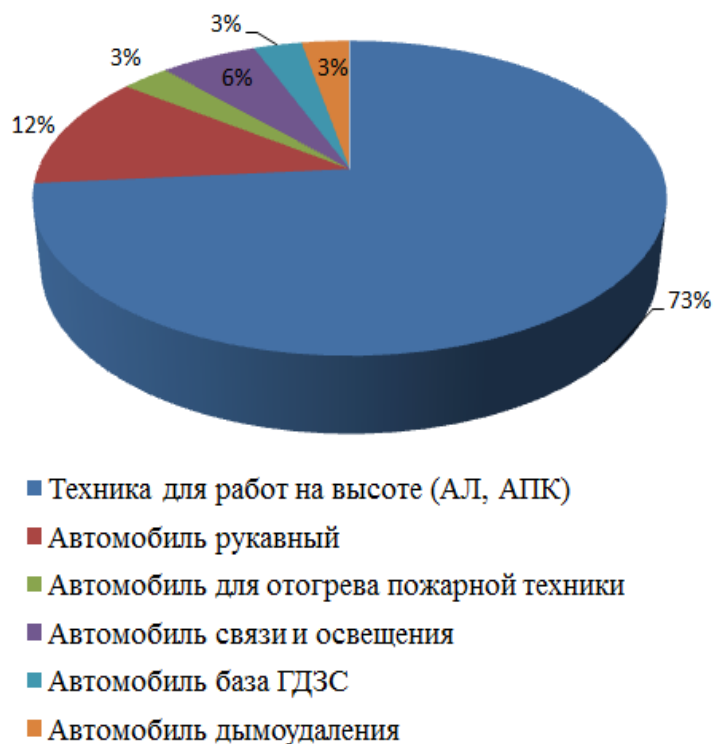


Рис. 5. Соотношение специальных пожарных автомобилей по видам работ:
 АЛ – пожарная автолестница; АПК – пожарный автоподъемник;
 ГДЗС – газодымозащитная служба

Парк специальных пожарных автомобилей Архангельской области в большей степени представлен техникой для проведения аварийно-спасательных работ на высоте, а именно – более 25 %.

Данные о возрасте парка специальных автомобилей представлены на рис. 6.

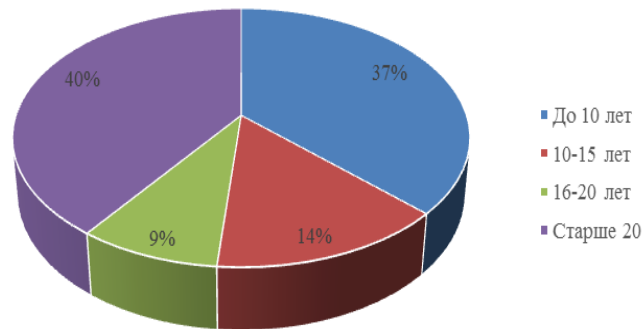


Рис. 6. Возраст парка специальных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области

Как видно из диаграммы, парк специальных автомобилей на 40 % состоит из автомобилей старше 20 лет, что говорит о моральном устаревании и износе данных автомобилей. Исходя из требований [3, 10], срок эксплуатации специальных пожарных автомобилей не должен превышать 20 лет.

Расчет обобщенного комплекса для АЛ и АПК

При выборе новой пожарной техники могут использоваться: метод экспертных оценок и метод анализа размерностей, последний позволяет оценить основные параметры автомобиля и сравнить их с имеющимися экземплярами пожарной техники. Однако следует отметить, что метод экспертных оценок подвержен излишнему субъективизму.

Парк специальных пожарных автомобилей Архангельской области представлен в основном техникой, служащей для проведения спасательных работ на высоте, их основные параметры представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные параметры качества АЛ и АПК

№ п/п	Единичные параметры качества	Единицы измерения (система Si)
Шасси		
1	Мощность двигателя (N)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
2	Скорость максимальная (ϑ)	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
3	Ресурс двигателя (T)	м
4	Полная масса (M)	кг
5	Длина автомобиля (L)	м
6	Расход топлива СПА при полной снаряженности на 100 км (D)	м^3
Агрегат (высотная надстройка)		
7	Грузоподъемность при использовании сложенного пакета колен в качестве крана ($m_{\text{кран}}$)	кг
8	Максимальная нагрузка на стреле/грузоподъемность люльки ($m_{\text{люл}}$)	кг
9	Максимальное время выдвижения на полную длину ($\tau_{\text{выдвиж}}$)	с
10	Максимальное время сдвига ($\tau_{\text{сдвиг}}$)	с
11	Максимальное время поворота основания на 360^0 ($\tau_{\text{поворот}}$)	с
12	Время установки на выносные опоры ($\tau_{\text{опор}}$)	с
13	Максимальная рабочая высота (H_{max})	м
14	Максимальный вылет стрелы/люльки (l)	м
15	Расход топлива при стационарной работе надстройки (d)	$\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$

В табл. 2 отражены основные показатели, влияющие на техническую эффективность и работоспособность при применении АЛ и АПК [11].

В соответствии с π -теоремой [12] в качестве базовых, независимых друг от друга величин, при составлении уравнений связи параметров были использованы: мощность двигателя (N), скорость максимальная (ϑ), ресурс двигателя (T). Путем физического анализа образованы два обобщенных комплекса – полезная работа базового шасси и полезная работа надстройки агрегата – высотной надстройки.

Обобщенный комплекс базового шасси:

$$\pi_{шасси} = \frac{\pi_1}{\pi_2 \cdot \pi_3} = \frac{M \cdot \vartheta^3 \cdot T^3}{N \cdot L \cdot D}$$

Обобщенный комплекс агрегата (высотная надстройка):

$$\pi_{агрегат} = \frac{(\pi_4 + \pi_5) \cdot (\pi_{10} + \pi_{11})}{(\pi_6 + \pi_9) \cdot \pi_{12}} = \frac{(m_{кран} + m_{люл}) \cdot (H_{max} + l) \cdot \vartheta^3}{N \cdot d \cdot (\tau_{выдвиж} + \tau_{сдвиж} + \tau_{поворот} + \tau_{опор})}$$

Обобщенный комплекс АЛ и АПК в целом:

$$\pi_{АЛ/АПК} = \pi_{шасси} \cdot \pi_{агрегат} \quad (1)$$

Используя формулу (1), возможно выбрать АЛ и АПК, находящиеся на вооружении Архангельской области, имеющие лучшие технические характеристики.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что парк специальных автомобилей пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области требует усовершенствования и модернизации. Данную проблему возможно решить путем постановки на вооружение таких пожарных автомобилей, как пожарные цистерны с лестницей, пожарные цистерны с коленчатым подъемником или автомобили насосно-рукавные. Эти автомобили совмещают в себе: насосную установку, емкости с огнетушащими веществами и высотную надстройку, что позволяет им выполнять широкий спектр задач не только по тушению пожаров, но и спасение людей с высоты. При выборе специальных пожарных автомобилей целесообразно пользоваться методом анализа размерностей.

Такой путь решения проблемы позволит не только снизить затраты на обслуживание данной техники, но и снизить время оперативного реагирования на пожары и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ [6, 8].

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сб. / П.В. Полехин [и др.] / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 125 с.
2. План привлечения сил и средств пожарно-спасательного гарнизона Архангельской области для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории Архангельской области (утв. губернатором Архангельской обл. А.В. Цыбульским 26 окт. 2020 г.).
3. Об утверждении Положения об организации ремонта, нормах наработки (сроках службы) до ремонта и списания техники, вооружения, агрегатов, специального оборудования и имущества в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 25 нояб. 2016 г. № 624. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

4. Кичигин М.В., Поляков А.С. О методах сравнения качества пожарных автоцистерн // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2020. № 3 (35). С. 42–48.
5. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники / Д.А. Едимичев [и др.]. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. 148 с.
6. Актуальные подходы совершенствования аварийно-спасательной и пожарной техники / Г.В. Кувшинов [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. С. 763–766.
7. Создание современных типов и моделей пожарно-спасательных автомобилей / А.И. Пичугин [и др.] // Пожарная безопасность. 2020. № 2 (99). С. 70–78. DOI 10.37657/vniipo.2020.99.2.008.
8. Сотников Д.И., Калач Е.В., Калач А.В. Современные тенденции в развитии пожарной техники и аварийно-спасательного транспорта // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 1 (12). С. 31–34.
9. Пожарная техника: учеб.: в 2-х ч. / А.И. Преснов [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2016. Ч. 2. 404 с.
10. ГОСТ Р 53247–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200071901 (дата обращения: 03.11.2021).
11. ГОСТ Р 53248–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей. М.: Стандартинформ, 2009. С. 2.
12. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sb. / P.V. Polekhin [i dr.] / pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 125 s.
2. Plan privlecheniya sil i sredstv pozharno-spatatel'nogo garnizona Arhangel'skoj oblasti dlya tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spatatel'nyh работ na territorii Arhangel'skoj oblasti (utv. gubernatorom Arhangel'skoj obl. A.V. Sybul'skim 26 okt. 2020 g.).
3. Ob utverzhdenii Polozheniya ob organizacii remonta, normah narabotki (srokah sluzhby) do remonta i spisaniya tekhniki, vooruzheniya, agregatov, special'nogo oborudovaniya i imushchestva v Ministerstve Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij: prikaz MCHS Rossii ot 25 noyab. 2016 g. № 624. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
4. Kichigin M.V., Polyakov A.S. O metodah sravneniya kachestva pozharnyh avtoci stern // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2020. № 3(35). S. 42–48.
5. Bazovoe shassi pozharnyh avtomobilej i spatatel'noj tekhniki / D.A. Edimichev [i dr.]. Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj universitet, 2020. 148 s.
6. Aktual'nye podhody sovershenstvovaniya avarijno-spatatel'noj i pozharnoj tekhniki / G.V. Kuvshinov [i dr.] // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Balashiha: Vserossijskij ordena «Znak Pocheta» nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2020. S. 763–766.
7. Sozdanie sovremennyh tipov i modelej pozharno-spatatel'nyh avtomobilej / A.I. Pichugin [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2020. № 2 (99). S. 70–78. DOI 10.37657/vniipo.2020.99.2.008.
8. Sotnikov D.I., Kalach E.V., Kalach A.V. Sovremennye tendencii v razvitii pozharnoj tekhniki i avarijno-spatatel'nogo transporta // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2019. № 1 (12). S. 31–34.

9. Pozharnaya tekhnika: ucheb. v 2-h ch. / A.I. Presnov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2016. CH. 2. 404 s.
10. GOST R 53247–2009. Tekhnika pozharnaya. Pozharnye avtomobili. Klassifikaciya, tipy i oboznacheniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200071901 (data obrashcheniya: 03.11.2021).
11. GOST R 53248–2009. Tekhnika pozharnaya. Pozharnye avtomobili. Nomenklatura pokazatelej. M.: Standartinform, 2009. S. 2.
12. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001.

Информация об авторах:

Александр Маркович Филановский, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: filanovsky@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1401-8319>

Елена Сергеевна Иванова, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доцент, кандидат педагогических наук, e-mail: elena2475@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3202-2434>

Максим Сергеевич Бесков, преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3153-7364>

Information about the authors:

Alexander M. Filanovsky, associate professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: filanovsky@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1401-8319>

Elena S. Ivanova, associate professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), associate professor, candidate of pedagogical sciences, e-mail: elena2475@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3202-2434>

Maxim S. Beskov, lecturer of the department of special training of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3153-7364>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.10.2021; одобрена после рецензирования: 28.12.2021; принята к публикации: 11.01.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.10.2021; approved after review: 28.12.2021; accepted for publication: 11.01.2022.

УДК 614.841.2.001.2

МОРФОЛОГИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ МЕДНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Андрей Юрьевич Мокряк;

Анна Васильевна Мокряк[✉];

Алексей Сергеевич Букаткин.

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

[✉]*mokryakanna@mail.ru*

Аннотация. Пожары в Российской Федерации наносят серьезный материальный ущерб. Так называемые «электротехнические» версии (версии о причастности к возникновению пожара электротехнических приборов, электропроводок и устройств) необходимо обязательно рассматривать, если в очаговой зоне имелось электрооборудование, а электросеть была под напряжением. Это связано с тем, что электрооборудование, как правило, представляет реальную пожарную опасность, и выявить или исключить его причастность к возникновению пожара следует в первую очередь.

В данной статье рассмотрены морфологические признаки, которые формируются при повреждении медных проводников, позволяющие их правильно интерпретировать для последующих инструментальных исследований с целью установления причины пожара. Приведены характерные морфологические признаки, которые могут быть использованы при экспертном исследовании медных проводников после пожара.

Ключевые слова: медные проводники, экспертиза, визуальное исследование, короткое замыкание

Для цитирования: Мокряк А.Ю., Мокряк А.В., Букаткин А.С. Морфология повреждений медных проводников при коротком замыкании // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 135–143.

MORPHOLOGY OF DAMAGE TO COPPER CONDUCTORS DURING A SHORT CIRCUIT

Andrey Yu. Mokryak; Anna V. Mokryak[✉]; Aleksey S. Bukatkin.

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

[✉]*mokryakanna@mail.ru*

Abstract. Fires in the Russian Federation cause serious material damage. The so-called «electrotechnical» versions (versions about the involvement of electrical appliances, electrical wiring and devices in the occurrence of a fire) must necessarily be considered if there was electrical equipment in the focal zone, and the power grid was energized. This is due to the fact that electrical equipment, as a rule, poses a real fire hazard, and it should be identified or excluded from its involvement in the occurrence of a fire in the first place.

This article discusses the morphological signs that are formed when copper conductors are damaged, allowing them to be correctly interpreted for subsequent instrumental studies in order to determine the cause of the fire. The characteristic morphological features that can be used in the expert study of copper conductors after a fire are given.

Keywords: copper conductors, expertise, visual research, short circuit

For citation: Mokryak A.Yu., Mokryak A.V., Bukatkin A.S. Morphology of damage to copper conductors during a short circuit // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 135–143.

Введение

Экспертный анализ медных проводников после пожара является одним из наиболее частых видов исследования в судебной пожарно-технической экспертизе и выполняется с целью поиска возможного источника зажигания при отработке электротехнической версии причины пожара. Обычная электрическая неисправность, приводящая к возгоранию, перегрузке или короткому замыканию приводит к появлению характерных признаков на медных проводниках.

За несколько предыдущих десятков лет специалистами был разработан целый ряд различных методик исследования медных проводников после пожара [1–4]. Анализ данных методик, а также изучение экспертной практики расследования пожаров показывает, что одной из основных проблем является установление причины плавления медных проводников на стадии визуального осмотра.

Существует несколько основных критериев, позволяющих отнести оплавления медных проводников к тому или иному виду повреждений. Среди них локальность расположения оплавления и его специфическая форма. Несмотря на понятность формулировок данных критериев, на практике очень часто сложно дифференцировать причину возникновения оплавления. Этот тезис подтверждают как результаты многочисленных экспериментальных исследований, так и случаи из реальной практики. Данная проблема приобретает актуальность особенно в том случае, когда эксперту на исследование представлен значительный объем токоведущих проводов, на которых имеется множественное количество оплавлений.

После проведения визуального осмотра проводов и их оплавленных участков для дальнейшего исследования инструментальными методами эксперт отбирает те образцы, на которых, по его мнению, было протекание электрической дуги при коротком замыкании (КЗ). Дальнейшее исследование таких образцов выполняется методами рентгенофазового и металлографического анализа, которые являются гораздо более трудоемкими, чем визуальный осмотр. Именно по этой причине важным этапом является так называемая отбраковка оплавлений, которые были вызваны факторами, не связанными с электродуговыми процессами в электрических цепях. Фактически данный вывод по результатам исследования вещественных доказательств, изъятых с места пожара, является ключевым при принятии решения в ходе анализа электротехнической версии причины пожара. Таким образом, правильная оценка морфологических признаков медных проводников при проведении визуального осмотра, на основании которого выполняются дальнейшие исследования и принимаются соответствующие выводы, позволяет установить и обосновать причину пожара.

Материалы и методы

В данной работе проведен анализ экспериментальных исследований и случаев из реальной практики наиболее часто встречающихся возможных повреждений медных проводников при электродуговом процессе КЗ.

Теория

С точки зрения пожарно-технической науки различают полное и неполное КЗ. Ключевым отличием этих разновидностей КЗ является величина тока. Ток КЗ зависит от переходного сопротивления, которое существует в зоне нежелательного контакта токоведущих проводников:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{E}{R+r}. \quad (1)$$

При сопротивлении R , стремящемся к нулевому значению, пропорционально будет увеличиваться и сила тока при КЗ. При практически нулевом значении сопротивления R существует полное или, как его еще называют, металлическое КЗ. Фактически это состояние замкнутых токоведущих проводов без изоляции. Такое возможно, например, при механическом повреждении изоляции, случайном или преднамеренном соприкосновении изначально неизолированных проводников, захлесте проводов линий электропередач (однако последнее характерно для алюминиевых проводников). Металлическое КЗ сопровождается пожароопасным процессом – разлетом расплавленных металлических частиц.

При значении сопротивления R , отличным от нуля, возникает неметаллическое КЗ. Неполному КЗ предшествуют токи утечки, которые в дальнейшем могут развиваться в дуговой процесс, протекающий через карбонизированный слой изоляции. Сопротивление карбонизированного слоя также может ограничивать ток, не давая, таким образом, автоматам обесточить аварийный участок электрической цепи.

Результаты и их обсуждение

Под воздействием электрической дуги при КЗ медные токоведущие проводники подвергаются плавлению. Известно, что при охлаждении и кристаллизации металла возникают повреждения, которые носят локальный характер [1, 2]. В исключительных случаях при КЗ и в отсутствии дальнейшего термического воздействия также сохраняется изоляция с признаками термической деструкции с внутренней стороны (рис. 1).



Рис. 1. При КЗ и в отсутствии дальнейшего термического воздействия сохраняется изоляция с признаками термической деструкции с внутренней стороны

Термическое воздействие пожара может нивелировать все эти признаки, затруднив тем самым экспертный анализ, поскольку возникают оксидные слои, протяженные зоны оплавления, которые вызывают частичное изменения сечения и формы проводника и его оплавлений.

Плавление металла при электродуговом процессе хоть и носит локальный характер, однако это правило не всегда выполняется, что также нередко создает трудности при определении их природы. Образующиеся при КЗ оплавления токоведущих изделий формируются под действием множества различных факторов – объем плавящегося металла, скорость охлаждения, наличие множественного числа проводников в кабеле (пучке кабелей), положения проводников в пространстве, силы поверхностного натяжения, сила тяжести и т.д. За счет этих факторов могут возникать крайне разнообразные формы оплавлений, которые, как известно, принято классифицировать следующим образом: шарообразная, конусообразная, вид косого среза, вид поперечного среза (рис. 2).



Рис. 2. Разновидности оплавлений медных проводников при КЗ

Практика исследования пожаров показывает, что оплавления могут образовываться не только на концевых участках проводников, но и на их промежутке (рис. 3). Это происходит за счет того, что в ходе дугового процесса не возникает полного разделения проводника на части, вероятно, вследствие короткого времени электродугового контакта проводников.



Рис. 3. Последствия неполного разрушения медных проводников при электродуговом процессе КЗ

В ходе электродугового процесса возможно сплавление проводников, между которыми происходит дуговой контакт (рис. 4). Практика показывает, что сплавление двух жил при КЗ происходит примерно в 20 % случаев. Представляется, что сплавление трех и более проводников менее вероятный результат.



Рис. 4. Морфология сплавлений двух медных проводников при КЗ

Последствия КЗ в медном проводке могут быть также выражены в виде образования локальных наплавов около концевое оплавления (рис. 5). Похожие повреждения могут наблюдаться и на проводниках, расплавленных при внешнем тепловом воздействии. Однако в этом случае сам проводник имеет протяженную потерю сечения, а потому наличие на нем таких повреждений не связано с протеканием аварийных режимов работы электросети [1–6].



Рис. 5. Разновидности оплавлений медных проводников при КЗ

О повреждении медного проводника в результате КЗ также могут свидетельствовать сравнительно меньшие термические поражения веществ и материалов, расположенных рядом. На рис. 6 показаны медные проводники, присоединенные к латунным контактам, которые не оплавлены (при более низкой температуре плавления, чем медь).

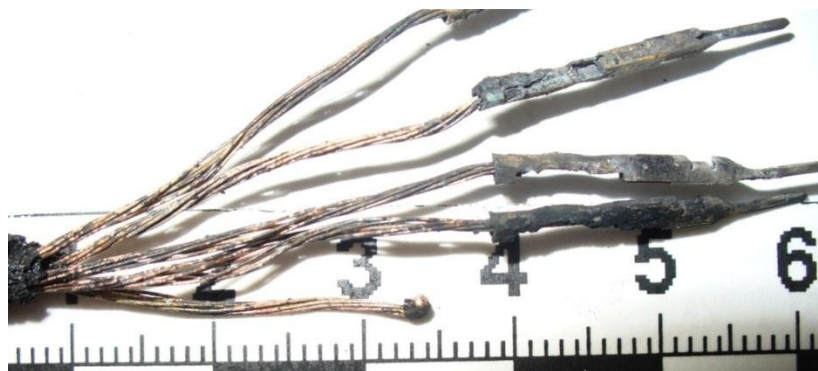


Рис. 6. Разница в термических поражениях на локальных участках медного проводника при КЗ

Морфология оплавлений медных проводников, образующихся при воздействии дуги КЗ, зачастую может иметь нелокальный характер и не обладать «правильными» формами. В этом случае следует обращать внимание на зону перехода между оплавлением и нерасплавленной частью проводника – визуально или с использованием оптической или электронной микроскопией можно наблюдать и зафиксировать явно выраженную границу. Пример таких оплавлений приведен на рис. 7. Кроме того, на электродуговую природу оплавления может указывать тот факт, что сам проводник, исходя из отсутствия на его поверхности оксидного слоя, не подвергался высокотемпературному воздействию, а, значит, не мог расплавиться под влиянием внешнего теплового источника.

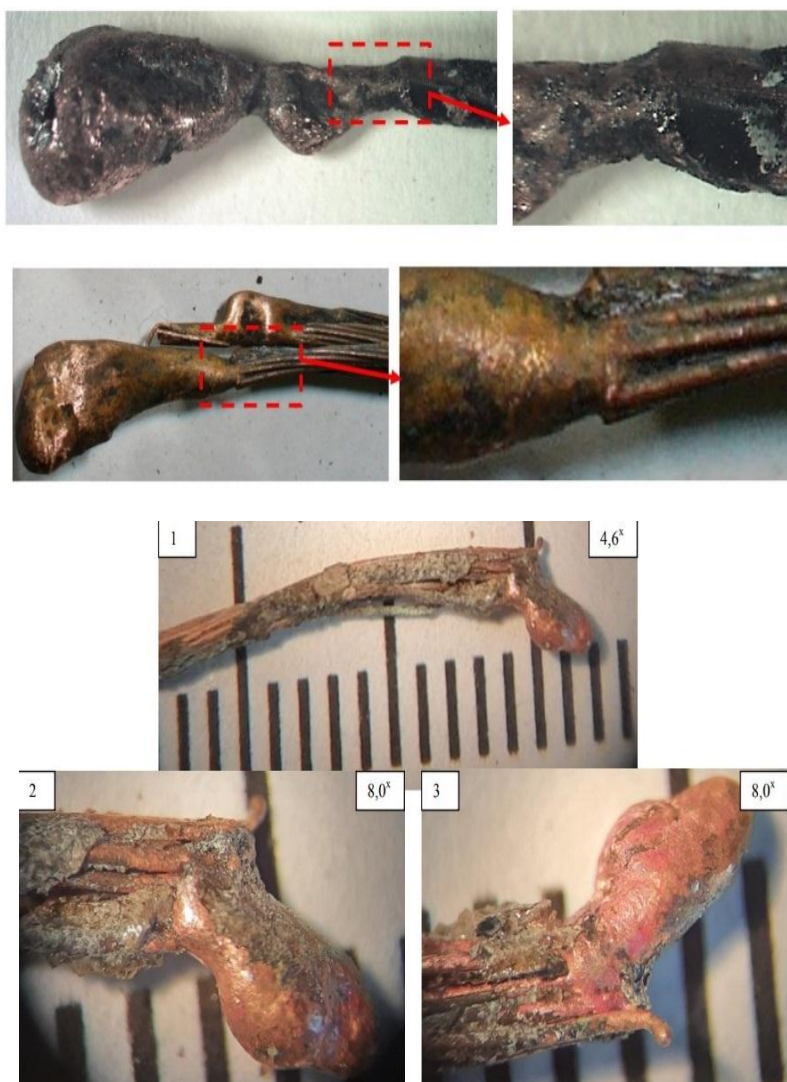


Рис. 7. Разновидности морфологии оплавлений при электродуговом процессе КЗ

При вертикальном положении медного проводника в ходе КЗ могут возникать оплавления специфической формы. Такую форму оплавлений, приведенную на рис. 8, можно назвать «стекающие капли». Процесс формирования такого оплавления вызван действием силы тяжести в момент нахождения металла в расплавленном состоянии. Для экспертного исследования интересен тот факт, что перед оплавлением, образующимся на «верхнем» проводнике, образуется утонение (шейка). На «нижнем» проводнике также возникает утонение, но уже после оплавления относительно самого проводника (рис. 8).



Рис. 8. Разновидности оплавлений медных проводников, находящихся в вертикальном положении при электродуговом процессе КЗ

Это справедливо не только для оплавлений, образующихся при КЗ, но и для оплавлений другой природы.

При так называемом последовательном дуговом пробое [7–9] в месте излома происходит оплавление отдельных проволок в многопроволочных медных проводниках (рис. 9).



Рис. 9. Оплавления на отдельных проволоках медного многопроволочного проводника при последовательном дуговом пробое

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что оплавления медных проводников, возникающие при электродуговых процессах в ходе КЗ, могут принимать достаточно разнообразные формы и размеры. Далек не всегда оплавления имеют правильную шарообразную или в виде косога среза форму. В зависимости от сложившихся на момент КЗ специфических условий в виде положения проводника в пространстве, причины нарушения

изоляции, величины тока КЗ и т.п. могут возникать оплавления сложной геометрической формы. В таких случаях для уточнения природы оплавления необходимо проводить металлографический анализ либо использовать в качестве сравнительного инструмента электронный каталог макро- и микроструктур оплавлений токоведущих электротехнических изделий, изымаемых с мест пожаров, размещенный в интернете на сайте Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России [10]. Благодаря проведенному анализу пожарно-технический эксперт может правильно оценить морфологические признаки медных проводников при проведении визуального осмотра, на основании которых выполняются дальнейшие исследования и принимаются соответствующие выводы, что позволяет установить и обосновать причину пожара.

Список источников

1. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. 328 с.
2. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах): учеб. пособие / А.И. Колмаков [и др.]. М.: ЭКЦ МВД России, 1993. 104 с.
3. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров: метод. рекомендации / А.И. Колмаков [и др.]. М.: ЭКЦ МВД РФ, 1992. 32 с.
4. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: метод. рекомендации / Л.С. Митричев [и др.]. М., 1986. 43 с.
5. Металлографические и морфологические исследования металлических объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / А.Ю. Мокряк [и др.]; под общ. ред. Э.Н. Чижикова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2016. 160 с.
6. Zhang Ming. Study on organization structure of copper wire melting marks fire science and technology. 2014. 33 (5). P. 591.
7. Чешко И.Д., Скодтаев С.В., Теплякова Т.Д. Классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей и схема выявления их следов после пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 1. С. 107–115.
8. Z.N.A.O. Yan-hong experimental study on the ignition characteristics of overload copper wire fire science and technology. 2014. 33 (12). P. 1 469.
9. Jin-zhuan Zhang, Qiang L.I.U., Chun-hua Y.U. Metallographic microcosmic characteristics analysis on overload copper wire fire safety science. 2012. 18 (4). P. 212.
10. Электронный каталог макро- и микроструктур оплавлений токоведущих электротехнических изделий, изымаемых с мест пожаров. URL: <http://dbase.fire-expert.igps.ru/node?destination=node> (дата обращения: 29.11.2021).

References

1. Smelkov G.I. Pozharnaya bezopasnost' elektroprovodok. M.: ООО «KABEL'», 2009. 328 s.
2. Ekspertnoe issledovanie metallicheskih izdelij (po delam o pozharah): ucheb. posobie / A.I. Kolmakov [i dr.]. M.: EKC MVD Rossii, 1993. 104 s.
3. Diagnostika prichin razrusheniya metallicheskih provodnikov, iz"yatyh s mest pozharov: metod. rekomendacii / A.I. Kolmakov [i dr.]. M.: EKC MVD RF, 1992. 32 s.
4. Issledovanie mednyh i alyuminievyh provodnikov v zonah korotkogo zamykaniya i termicheskogo vozdejstviya: metod. rekomendacii / L.S. Mitrichev [i dr.]. M., 1986. 43 s.
5. Metallograficheskie i morfologicheskie issledovaniya metallicheskih ob"ektov sudebnoj pozharno-tekhneskoj ekspertizy: ucheb. posobie / A.Yu. Mokryak [i dr.]; pod obshch. red. E.N. Chizhikova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2016. 160 s.
6. Zhang Ming. Study on organization structure of copper wire melting marks fire science and technology. 2014. 33 (5). P. 591.
7. Cheshko I.D., Skodtaev S.V., Teplyakova T.D. Klassifikaciya avarijnyh pozharoopasnyh rezhimov raboty elektrosetej avtomobilej i skhema vyyavleniya ih sledov posle pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 1. S. 107–115.

8. Z.H.A.O. Yan-hong Experimental Study on the Ignition Characteristics of Overload Copper Wire Fire Science and Technology. 2014. 33 (12). P. 1 469.
9. Jin-zhuan Zhang, Qiang L.I.U., Chun-hua Y.U. Metallographic Microcosmic Characteristics Analysis on Overload Copper Wire Fire Safety Science. 2012. 18 (4). P. 212.
10. Elektronnyj katalog makro- i mikrostruktur oplavlenij tokovedushchih elektrotekhnicheskikh izdelij izyemaemyh s mest pozharov. URL: <http://dbase.fire-expert.igps.ru/node?destination=node> (data obrashcheniya: 29.11.2021).

Информация об авторах:

Андрей Юрьевич Мокряк, начальник отдела экспертизы пожаров и организации подготовки экспертов Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35), кандидат технических наук, e-mail: mokand7@mail.ru

Анна Васильевна Мокряк, научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35), e-mail: mokryakanna@mail.ru

Алексей Сергеевич Букаткин, обучающийся 60.220ТБ.1М Института безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: bukatkin_a_s@mail.ru

Information about the authors:

Andrey Yu. Mokryak, head of the department of fire expertise and organization of expert training of the Research center for fire expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, St. Petersburg, Oktyabrskaya Embankment, 35), candidate of technical sciences, e-mail: mokand7@mail.ru

Anna V. Mokryak, research associate of the Department of innovative and information technologies in the examination of fires, the research center for the examination of fires of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, St. Petersburg, Oktyabrskaya Embankment, 35), e-mail: mokryakanna@mail.ru

Alexey S. Bukatkin, a student of 60.220ТБ.1М of Institute of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: bukatkin_a_s@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.01.2022; одобрена после рецензирования: 02.03.2022; принята к публикации: 15.03.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 26.01.2022; approved after review: 02.03.2022; accepted for publication: 15.03.2022.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

УДК 331.456

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

Ирина Олеговна Литовченко[✉];

Алексей Александрович Шелепенькин;

Роман Александрович Степанов.

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

[✉]litovchenko.irina@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены ключевые понятия соблюдения безопасности при ведении трудовой деятельности с точки зрения соблюдения законодательных норм и правил по охране труда в организациях. Проведен анализ изменений в законодательстве по охране труда за 2021 г., а так же проанализированы поправки в Трудовом кодексе Российской Федерации в части, касающейся норм охраны труда, запланированные на 2022 г. В результате исследования сделан вывод о значимости данных изменений для работодателей и специалистов по охране труда в организациях при разработке и последующем мониторинге функционирования системы управления охраной труда в организации.

Ключевые слова: охрана труда, система управления охраной труда, Трудовой кодекс Российской Федерации, нормативно-правовая база по охране труда, предотвращение аварий и чрезвычайных ситуаций

Для цитирования: Литовченко И.О., Шелепенькин А.А., Степанов Р.А. Влияние изменений в законодательстве Российской Федерации на систему управления охраной труда // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 144–150.

THE IMPACT OF CHANGES IN THE LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

Irina O. Litovchenko[✉]; Aleksey A. Shelepenkin; Roman A. Stepanov.

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

[✉]litovchenko.irina@bk.ru

Abstract. The key concepts of safety compliance in the conduct of labor activity from the point of view of compliance with legal norms and rules on labor protection in organizations are considered. The analysis of changes in labor protection legislation for 2021 was carried out, as well as the article analyzed amendments to the Labor Code of the Russian Federation in terms of labor protection standards planned for 2022. As a result of the study, a conclusion was made about the significance of these changes for employers and occupational safety specialists in organizations during the development and subsequent monitoring of the functioning of the occupational safety management system in the organization.

Keywords: occupational safety, occupational safety management system, Labor code of the Russian Federation, regulatory framework for occupational safety, prevention of accidents and emergencies

For citation: Litovchenko I.O., Shelepenkin A.A., Stepanov R.A. The impact of changes in the legislation of the Russian Federation on the occupational safety management system // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 144–150.

С 1 января 2013 г. в Российской Федерации в качестве национального стандарта вступил в силу ГОСТ Р 54934–2012/OHSAS 18001:2007 «Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования». Данный стандарт разработан на основе BS OHSAS 18001–2007. Основным содержанием стандарта являются методические рекомендации по созданию и функционированию системы управления охраной труда (СУОТ), учитывающие национальное законодательство в этой сфере [1].

Как правило, в законодательстве конкретного государства содержится описание структурных основ службы охраны труда. Так, в Соединенных Штатах Америки и Великобритании установлены стандарты, соответствия требованиям которых требуется добиваться (Британский стандарт BS 8800–96 «Руководство по системам управления охраной здоровья и безопасностью персонала»). Законодательство Франции устанавливает цели в области охраны труда, определяет процедуру их достижения [2]. Предприниматели обязаны обеспечивать специализированные службы охраны труда, привлекать в них прошедших специальную подготовку врачей, подразделения, занимающиеся вопросами охраны труда, предоставляют такие услуги [3].

В ряде министерств Российской Федерации приняты нормативные правовые акты, касающиеся организации охраны труда. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) не является исключением. Приказом от 14 сентября 2020 г. № 681 «Об организации работы по охране труда в системе Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (приказ МЧС России № 681) утверждены Положение об организации работы по охране труда и Типовая программа вводного инструктажа по охране труда в системе МЧС России.

СУОТ является неотъемлемой частью системы безопасного функционирования любой организации. Формулировка данного понятия отражена в ст. 209 Трудового кодекса Российской Федерации (ТК РФ) от 30 декабря 2001 г. и дает понять, что СУОТ – это, прежде всего, методика грамотного и компетентного подхода к охране труда на объектах ведения трудовой деятельности с учетом действующей законодательной базы Российской Федерации в области обеспечения охраны труда [4].

Согласно ст. 212 ТК РФ работодатель обязан создать и обеспечить возможность функционирования СУОТ. Составляющие элементы СУОТ образуют комплекс основополагающих процедур поддержания безопасности труда. Данный перечень процедур включается в себя [5]:

- разработку и введение в действие политики по охране труда в организации;
- оценку профессиональных рисков для каждого рабочего места [6];
- обеспечение советующего уровня безопасности на рабочих местах;
- укомплектованность организации необходимыми средствами индивидуальной и коллективной защиты;
- проведение специальной оценки условий труда;
- ведение документации по охране труда [7];
- обучение и проверку знаний по охране труда как рядовых сотрудников, так и руководителей организации.

Для внедрения СУОТ и правильной разработки документов по охране труда необходимо подвергнуть тщательному анализу результаты специальной оценки условий труда, результаты проверки уровня обучения по охране труда всех сотрудников организации, частоту возникновения профессиональных заболеваний, количество несчастных случаев на производстве, аварий, чрезвычайных ситуаций, уровень травматизма [8].

Все перечисленное является достаточно трудоемким процессом для специалиста по охране труда, требует ответственного подхода и требуемой степени квалификации [9].

Одновременно с введением в действие и поддержанием политики организации по охране труда специалист должен постоянно отслеживать изменения в законодательстве в этой области с целью обновления всей сложившейся СУОТ.

Рассмотрим некоторые уже произошедшие изменения в нормативно-правовых актах Российской Федерации, содержащих нормы охраны труда, за текущий 2021 г. и проанализируем, как они повлияют на ведение данного направления, а так же, как повлияют изменения, предстоящие в 2022 г.

В частности, 1 марта 2022 г. Правительством Российской Федерации запланировано вступление в силу изменений в ТК РФ.

Перечень планируемых, значимых для СУОТ изменений в ТК РФ:

Ст. 22 и ст. 55 ТК РФ – проведение специалистом по охране труда самообследования организации по чек-листам. Данное нововведение предписывает оценивать уровень соблюдения требований по охране труда и дает возможность самостоятельно принимать декларацию соответствия по результат такого самообследования.

Ст. 209.1 – прогнозирование возникновения возможных чрезвычайных и аварийных ситуаций в организации, разработка мер минимизации последствий профессиональных рисков.

Ст. 214.1 – при формировании и вводе в эксплуатацию новых рабочих мест и объектов, на которых присутствует наличие рабочей зоны, обязателен оценочный расчет профессиональных рисков;

– своевременное улучшение условий трудовой деятельности в организации;

– необходимость обучать и переобучать сотрудников правилам использования средств индивидуальной и коллективной защиты, персонал организации, не прошедший данное обучение, к работе не допускается.

Ст. 214.2 – разрешение на контроль посредством аудиозаписи и видеозаписи за исполнением служебных обязанностей в целях увеличения уровня безопасности;

– ведение делопроизводства по охране труда в формате электронного документооборота.

Ст. 216.1 – исключение производства работ в опасных условиях. Для реализации новых условий, поставленных данной редакцией ст. 216.1 ТК РФ, работодателю необходимо в срочном порядке произвести специальную оценку условий труда в организации или перерасчет профессиональных рисков. Полученные результаты должны подтвердить снижение класса опасности производства;

– до полной реализации модернизации и ввода в эксплуатацию новых, соответствующих актуальным нормам, средств индивидуальной и коллективной защиты, работодатель обязан приостановить трудовую деятельность в организации с сохранением средней заработной платы всему персоналу.

Для установления большей конкретики по изменениям в ТК РФ по охране труда, а также понимания, как это повлияет на организацию системы управления охраной труда, проанализируем изменения ст.ст. 22, 76 и 185 ТК РФ более подробно.

Данный перечень статей не относится к разделу X «Охрана труда» ТК РФ, но так же регулирует правовые отношения по вопросам организации и функционирования СУОТ.

Изменения в ст. 22 ТК РФ подразумевают появления у работодателя права самостоятельно проводить инспектирование соблюдения требований охраны труда у себя в организации. Это сделано с целью реализации возможности внедрения системы внутреннего контроля за соблюдением трудового законодательства. Проведения такой оценки качества

норм охраны труда поможет снизить число нарушений и будет носить эффективный предупреждающий характер [10].

Следующим этапом проведения такой самопроверки будет подача работодателем принятой в организации декларации о соблюдении обязательных требований охраны труда в Федеральную службу по труду и занятости для ее последующей регистрации. Но это может произойти лишь в том случае, если по результатам такой внутренней проверки получена высокая оценка. После прохождения успешной регистрации Роструд размещает данную декларацию организации на своем внешнем электронном сайте в сети интернет. Срок действия декларации от одного года до трех лет в зависимости от типа организации [11].

Тем не менее существование действующей декларации не отменяет проведение внеплановых проверок Государственной инспекции по труду. В случае если по итогам внеплановой проверки будут выявлены нарушения существующих требований по охране труда, декларация будет считаться недействительной.

Перейдем к анализу изменений ст. 76 ТК РФ «Отстранение от работы». В содержание данной статьи включены требования для руководителей организаций немедленно отстранить сотрудника от выполнения своих должностных обязанностей или не допускать к выполнению работ в том случае, если последний не использует средства индивидуальной защиты. Это может произойти по вине самого сотрудника, проигнорировавшего нормы требований безопасности труда. Работодатель при этом должен учитывать возможность наступления различных юридических последствий, в том числе и наступления уголовной ответственности, за нарушения прав работников [12].

Сотрудник может сознательно не использовать средства индивидуальной защиты, аргументируя свой отказ тем, что это создает неудобства при работе. В случае внеплановой проверки государственной инспекции труда при выявлении таких нарушений ответственность за то, что сотрудник получил по карточке средства индивидуальной защиты и не использовал их, будет нести непосредственно руководитель организации. Невозможно не упомянуть, что за нарушения правил по охране труда в определенных случаях предусмотрена уголовная ответственность как для работника, так и для работодателя [13].

Незначительные изменения произошли также в ст. 185 ТК РФ «Гарантии работникам, направляемым на медицинский осмотр». С 1 марта 2022 г. во время прохождения обязательного психиатрического освидетельствования и самого медицинского осмотра за сотрудниками сохраняются средний заработок и занимаемая должность.

На данный момент согласно действующей редакции ТК РФ за персоналом организации сохраняется только средний заработок.

Внесенное изменение должно прекратить споры между сотрудниками и работодателем в какое время целесообразно проходить психиатрическое освидетельствование, так как это процедура может быть совмещена с прохождением периодического медицинского осмотра и имеет такой же статус.

Подводя итоги анализа изменений в ТК РФ по охране труда, вступающих в силу 1 марта 2022 г., можно сделать вывод, что данные изменения направлены на снижение общего уровня травматизма, возникновение профессиональных заболеваний и уменьшение количества несчастных случаев на производстве.

Все рассмотренные изменения напрямую влияют на алгоритм разработки и непосредственного функционирования СУОТ в организациях, давая специалистам по охране труда больше правовых возможностей для осуществления реализации данной системы [14].

Также следует отметить, что в связи принятием и рассмотрением изменений трудового законодательства в сфере охраны труда необходимо внести дополнения в приказ МЧС России № 681 в части, касающейся задач и функций управления стратегического планирования и организации работы, а также обязанностей руководителей подразделений всех уровней по вопросам оценки профессионального риска для отдельных рабочих мест.

С практической точки зрения влияние изменений в законодательстве можно будет оценить в следующем году, а пока что следует отметить, что основополагающими составляющими корректного функционирования СУОТ остается наличие в штате

организации квалифицированного специалиста по охране труда и его успешное взаимодействие с руководством организации.

Список источников

1. Удавцова Е.Ю. Разработка типового положения о системе управления охраной труда в МЧС России // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Балашиха: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. С. 151–156.
2. Внедрение системы менеджмента охраны труда и здоровья в соответствии со стандартом ISO 45001: 2018 в Eni France Implementation of safety management system in managing construction projects: Benefits and obstacles / N. S. N. Yiu [et al.] // Safety science. 2019. Т. 117. С. 23–32.
3. Мировой опыт систем управления охраной труда / И.В. Шмалько [и др.] // Проблемы безопасности российского общества. 2020. № 2 (30). С. 31–34.
4. Березина Е.С. Управление охраной труда в России: проблемы и пути их решения // Основы экономики, управления и права. 2019. 1 (7). С. 44–48.
5. Плеханова Е.А. Система управления охраной труда в организации // Трибуна ученого. 2020. № 1. С. 247.
6. Разработка методики оценки состояния системы управления охраной труда в ФПС ГПС / О.В. Стрельцов [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 1 (20). С. 95–100. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.016.
7. Health and safety management in a changing organisation: Case study global steel company / M. Koivupalo [et al.] // Safety science. 2015. Т. 74. С. 128–139.
8. Субботина Н.А. Риск-ориентированный подход к системе управления охраной труда. Проблема реализации и методика для ее решения // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9. № 1 (49). С. 193–199.
9. Айткенова Г.Т., Рахимов Е.Ж., Елубаев Д.К. Апробация новой интегрированной системы управления охраной труда на основе управления профессиональными рисками // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2020. № 3 (114). С. 87–94. DOI 10.52167/1609-1817-2020-114-3-87-94.
10. Ковальчук О.Е., Корчагин А.Б. Совершенствование нормативного обеспечения системы управления охраной труда в организации и мероприятия для его осуществления // Техносферная безопасность: материалы VII Нац. науч.-техн. конф. Омск: Омский государственный технический университет, 2020. С. 22–27.
11. Вахрушева А.В. Специальная оценка условий труда: изменения в порядке организации и проведения процедуры // Скиф. 2021. № 3 (55).
12. Уголовная ответственность работодателя за нарушение прав работников / Е.А. Зорина [и др.] // Современный ученый. 2021. № 4. С. 270–277.
13. Зорина Е.А., Медведева А.А., Трапезникова М.М. К вопросу об уголовно-правовой ответственности за нарушения требований охраны труда // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2021. № 3 (52). С. 93–99.
14. Effective implementation measurability in a health and safety management system / A. Bianchini [et al.] // Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, Zurich. 2015. Т. 2015. С. 3191–3199.

References

1. Udavcova E.Yu. Razrabotka tipovogo polozheniya o sisteme upravleniya ohranoj truda v MCHS Rossii // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Balashiha: Vserossijskij ordena «Znak Pocheta» nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2020. S. 151–156.

2. Vnedrenie sistemy menedzhmenta ohrany truda i zdorov'ya v sootvetstvii so standartom ISO 45001: 2018 v Eni France Implementation of safety management system in managing construction projects: Benefits and obstacles / N. S. N. Yiu [et al.] // Safety science. 2019. T. 117. S. 23–32.
3. Mirovoj opyt sistem upravleniya ohranoj truda / I.V. SHmal'ko [i dr.] // Problemy bezopasnosti rossijskogo obshchestva. 2020. № 2 (30). S. 31–34.
4. Berezina E.S. Upravlenie ohranoj truda v Rossii: problemy i puti ih resheniya // Osnovy ekonomiki, upravleniya i prava. 2019. 1 (7). S. 44–48.
5. Plekhanova E.A. Sistema upravleniya ohranoj truda v organizacii // Tribuna uchenogo. 2020. № 1. S. 247.
6. Razrabotka metodiki ocenki sostoyaniya sistemy upravleniya ohranoj truda v FPS GPS / O.V. Strel'cov [i dr.] // Sibirskij pozharно-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 1 (20). S. 95–100. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.016.
7. Health and safety management in a changing organisation: Case study global steel company / M. Koivupalo [et al.] // Safety science. 2015. T. 74. S. 128–139.
8. Subbotina N.A. Risk-orientirovannyj podhod k sisteme upravleniya ohranoj truda. Problema realizacii i metodika dlya ee resheniya // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plus. 2020. T. 9. № 1 (49). S. 193–199.
9. Ajtkenova G.T., Rahimov E.ZH., Elubaev D.K. Aprobaciya novoj integrirovannoj sistemy upravleniya ohranoj truda na osnove upravleniya professional'nymi riskami // Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. 2020. № 3 (114). S. 87–94. DOI 10.52167/1609-1817-2020-114-3-87-94.
10. Koval'chuk O.E., Korchagin A.B. Sovershenstvovanie normativnogo obespecheniya sistemy upravleniya ohranoj truda v organizacii i meropriyatiya dlya ego osushchestvleniya // Tekhnosfernaya bezopasnost': materialy VII Nac. nauch.-tekhn. konf. Omsk: Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. S. 22–27.
11. Vahrusheva A.V. Special'naya ocenka uslovij truda: izmeneniya v poryadke organizacii i provedeniya procedury // Skif. 2021. № 3 (55).
12. Ugolovnaya otvetstvennost' rabotodatel'ya za narushenie prav rabotnikov / E.A. Zorina [i dr.] // Sovremennyyj uchenyj. 2021. № 4. S. 270–277.
13. Zorina E.A., Medvedeva A.A., Trapeznikova M.M. K voprosu ob ugolovno-pravovoj otvetstvennosti za narusheniya trebovanij ohrany truda // Vestnik Sankt-Peterburgskoj juridicheskoy akademii. 2021. № 3 (52). S. 93–99.
14. Effective implementation measurability in a health and safety management system / A. Bianchini [et al.] // Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, Zurich. 2015. T. 2015. S. 3191–3199.

Информация об авторах:

Ирина Олеговна Литовченко, преподаватель кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, litovchenko.irina@bk.ru

Алексей Александрович Шелепенькин, доцент кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, shelepenkin.a@igps.ru

Роман Александрович Степанов, заместитель начальника кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, stepanov.r.a@igps.ru

Information about the authors:

Irina O. Litovchenko, lecturer at the department of labor law of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, litovchenko.irina@bk.ru

Alexey A. Shelepenkin, associate professor of the department of labor law of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, shelepenkin.a@igps.ru

Roman A. Stepanov, deputy head of the department of security service of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of pedagogical sciences, stepanov.r.a@igps.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.12.2021; одобрена после рецензирования: 28.01.2022; принята к публикации: 28.01.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 24.12.2021; approved after review: 28.01.2022; accepted for publication: 28.01.2022.

УДК 93/94

ПРОФЕССОР РУССКОГО ПРАВА, ДИАЛЕКТИК НЕОТРАЗИМОГО ОСТРОУМИЯ (ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВИЧА ЛОХВИЦКОГО)

Вениамин Павлович Вахмистров.

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия.

Светлана Ивановна Вахмистрова✉.

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

✉ ven_sv@mail.ru

Аннотация. Статья содержит исторический обзор жизненного и профессионального пути одного из ярких представителей ученого сословия пореформенной России второй половины XIX в. – А.В. Лохвицкого. Он оставил свой значимый след в теории и истории права как ученый и педагог, в адвокатской деятельности – как ловкий защитник в рискованных судебных делах, в журналистике – как известный и влиятельный публицист. Он сам ни раз оказывался в центре скандалов и этических разбирательств, инициируемых против него профессиональным сообществом. Как яркий полемист и оратор он мог бы стать крупным политическим деятелем.

Ключевые слова: А.В. Лохвицкий, Ришельевский лицей, К.Д. Кавелин, адвокатура, адвокатская этика, А.Г. Достоевская, виктимология

Для цитирования: Вахмистров В.П., Вахмистрова С.И. Профессор русского права, диалектик неотразимого остроумия (штрихи к портрету Александра Владимировича Лохвицкого) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 151–158.

PROFESSOR OF RUSSIAN LAW, DIALECTICIAN OF IRRESISTIBLE WIT (TOUCHES TO THE PORTRAIT OF ALEXANDER VLADIMIROVICH LOKHVITSKY)

Veniamin P. Vakhmistrov.

Military medical academy named after S.M. Kirov, Saint-Petersburg, Russia.

Svetlana I. Vakhmistrova✉.

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

✉ ven_sv@mail.ru

Abstract. The article contains a historical overview of the life and professional path of one of the brightest representatives of the academic class of post-reform Russia in the second half of the 19th century – A.V. Lokhvitsky. He left his significant mark in the theory and history of law as a scientist and teacher, in law practice – as a clever defender in risky court cases, in journalism – as a well-known and influential publicist. He himself has never been at the center of scandals and ethical proceedings initiated against him by the professional community. As a bright polemicist and speaker, he could become a major political figure.

Keywords: A.V. Lokhvitsky, Richelieu Lyceum, K.D. Kavelin, advocacy, lawyer ethics, A.G. Dostoevskaya, victimology

For citation: Vakhmistrov V.P., Vakhmistrova S.I. Professor of russian law, dialectician of irresistible wit (touches to the portrait of Alexander Vladimirovich Lokhvitsky) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). P. 151–158.

Имя Александра Владимировича Лохвицкого в России второй половины XIX в. было на слуху и вызывало широкую палитру диаметрально противоположных характеристик – от восторженных похвал до возмущенных порицаний. Одни называли его блестящим юристом и ярким оратором, другие – не более чем ловким, изворотливым адвокатом.

О ранних годах жизни Лохвицкого известно не очень много. Александр Владимирович родился в 1830 г. в семье купца Владимира Кондратовича Лохвицкого [1, л. 8]. Судя по материальному положению молодого Александра Лохвицкого, отец не обеспечил его необходимым содержанием, так как за сыном не числилось ни крупных капиталов, ни имений, более того, в печати прямо указывалось, что А.В. Лохвицкий был человеком, сделавшим себя сам и получившим образование, несмотря на материальные лишения [2].

В 1852 г. А.В. Лохвицкий окончил курс юридических наук в Московском университете со степенью кандидата. Уже в 1855 г. Александр Владимирович успешно защищает диссертацию «О пленных по древнему русскому праву в XV–XVII вв.» и получает степень магистра общенародного права», что позволяет ему в 1856 г. стать адъюнктом Ришельевского лицея и получить чин коллежского асессора. Лицей был основан в 1817 г. сначала как среднее, а с 1837 г. – как высшее учебное заведение. В 1862 г. высочайшим указом императора Александра II лицей был преобразован в Новороссийский университет [3].

Умный и деятельный А.В. Лохвицкий быстро освоился в лицее и уже через месяц попечитель Одесского учебного округа действительный статский советник Николай Иванович Пирогов (выдающийся русский врач и педагог) ходатайствует перед Министерством народного просвещения о назначении А.В. Лохвицкого профессором по кафедре энциклопедии и истории русского права. В прошении указывалось, что «Лохвицкий был балотирован в звание профессора, и как при сем оказалось избирательных балов шесть, а неизбирательных четыре, то Совет, большинством голосов, избрал г. Лохвицкого в профессора» [1, л. 4].

31 декабря 1856 г. А.В. Лохвицкий утвержден Министерством народного просвещения в этой должности. А спустя непродолжительное время он был произведен в надворные советники.

Сразу после назначения профессором Ришельевского лицея Александр Владимирович начинает широкую педагогическую деятельность, которая не ограничивалась только чтением лекций и научной деятельностью. Благодаря его стараниям в лицее активно пополняются фонды библиотеки. Он убежден, что «развитие студентов обуславливается столько же слушанием лекций, сколько чтением, особенно живых, современных книг и изданий, – без этого нельзя иметь право на название образованного человека». «Лицейская библиотека и кабинет, – указывает он в рапорте, – сравнительно с библиотеками других высших учебных заведений России, находится в весьма неблестящем состоянии» [4]. Одновременно при библиотеке стараниями А.В. Лохвицкого активно поддержавшего инициативу студентов, создается кабинет для чтения, пополнявшийся новейшей литературой за счет добровольных взносов и предназначавшийся в пользование исключительно студентами.

Еще одним несомненным завоеванием А.В. Лохвицкого на педагогическом поприще стало изменение правил приема абитуриентов в Ришельевский лицей. Он подает в Совет Ришельевского лицея проект об упорядочении приемных экзаменов в лицей с целью «иметь студентов, достаточно подготовленных к слушанию профессорских лекций», а также установления справедливости по отношению к гимназистам. Дело в том, что требования при приеме в лицей для выпускников гимназий и молодых людей с домашним образованием отличались. Гимназисты вынуждены были осваивать весь курс дисциплин, входивших в программу, в то время как юноши, находившиеся на домашнем обучении, ограничивались лишь необходимостью сдать вступительный экзамен. Проект А.В. Лохвицкого энергично поддерживает Н.И. Пирогов и через товарища министра народного просвещения П.А. Вяземского добивается изменения порядка приема в Ришельевский лицей.

Александр Владимирович постоянно стремится совершенствовать свои знания. Именно по этой причине летом 1857 г. он обращается с прошением о предоставлении

отпуска на год с сохранением жалования для изучения методики преподавания правовых наук в учебных заведениях Франции и Германии и получает такое разрешение [1, л. 20].

В этот же период времени Александр Владимирович начинает осваивать профессию журналиста, которая привлекала его стремительно растущими возможностями. «Все прислушивается к голосу нашей журналистики... она есть единственный орган общественного мнения», – писал он [5, с. 22]. Важно отметить, что писательский талант впоследствии передастся и его дочерям – Марии и Надежде Лохвицким. Первая известна как талантливая поэтесса Мирра Лохвицкая (1869–1905), вторая – как писатель и переводчик Надежда Тэффи (1872–1952).

Лохвицкий А.В. активно сотрудничает с издателями журналов, в которых публикует статьи на правовые темы и рецензии на издаваемые юридические книги. Еще до отъезда за границу он обращался к издателю и редактору журнала «Отечественные записки» Андрею Александровичу Краевскому с предложением «постоянного и исключительного сотрудничества в ...журнале по части рецензий на вновь выходящие исторические и юридические книги», объясняя это как удобством для журнала иметь единообразные статьи, так и заинтересованностью автора в гарантированных публикациях [6, л. 3 об.]. Печатался Лохвицкий и в журнале «Русское слово». Его статьи помещались в номерах за 1856–1862 гг. Однако с приходом нового редактора Г.Е. Благодетельского Лохвицкий по экономическим причинам был исключен из числа постоянных сотрудников, так как кроме полистной платы «только за ту честь, которую он оказывал своим именем и статьями журналу...получал 100 р. в месяц» [7, с. 6]. Следует признать, что к этому времени Лохвицкий уже действительно обладает именем, которое было на слуху у всей юридической (и не только) общественности.

В начале 1860-х гг. А.В. Лохвицкий перебирается в Петербург – преподавателем в Александровский лицей (1861–1867) и в Военно-юридическую академию. В этот период имя Александра Владимировича не сходит с уст читающей публики.

В 1861 г. на страницах журналов «Отечественные записки» и «Современник» разворачивается полемика А.В. Лохвицкого и К.Д. Кавелина по поводу выступления последнего с речью в Петербургском университете 8 февраля 1860 г. В 1861 г. в «Отечественных записках» [8] появляется статья А.В. Лохвицкого «Сравнительный метод в праве и речь г. Кавелина», в которой автор в достаточно резкой форме обвиняет Кавелина, по сути, в научной несостоятельности.

Не вдаваясь в содержание научной аргументации автора, необходимо отметить, что тон статьи носил весьма резкий, запелляционный и даже скандальный характер. Это было свойственно А.В. Лохвицкому и являлось не только его «визитной карточкой», но и характерной чертой поколения «новых людей» пореформенной России.

Выступление А.В. Лохвицкого вызвало бурную полемику на страницах прессы. Не только представители юридического сообщества были задеты его выступлениями в прессе. Досталось и редактору газеты «Московские Ведомости» В.Ф. Коршу. В пылу «сражения» Александр Владимирович назвал Корша чиновником, который основной своей задачей имеет вести учет расхода бумаги и чернил, а не выражать какое-либо мнение. Такое заявление вызвало широкий общественный резонанс и даже нашло отражение в переписке двух выдающихся русских писателей А.И. Герцена и И.С. Тургенева.

Такая скандальная слава сыграла злую шутку с А.В. Лохвицким. Когда он, уже будучи доктором права, в 1864 г. попытался баллотироваться в Петербургский университет, попытка эта не увенчалась успехом. Этому определенно способствовала противоречивая репутация Александра Владимировича. Известный журналист, цензор, чиновник Министерства народного просвещения Александр Васильевич Никитенко в своем дневнике 1 ноября 1864 г. отмечал: «Лохвицкий умен, но немножко смахивает на ярыгу. Его завтра будут баллотировать в профессора здешнего университета по юридическому факультету. Университет, пожалуй, сделает в нем приобретение в отношении науки... но держи ухо востро, университет! Он постарается прибрать в руки всю ученую братию, а как это ему, конечно, не удастся, то покушения его будут источником больших нестроений в корпорации» [9, с. 588–589].

Эта карьерная неудача на историческом фоне событий судебной реформы, принятием Судебных уставов, видимо подтолкнули Александра Владимировича к решению уйти в адвокатскую практику. Имея широкий научный кругозор, педагогический опыт преподавания права, обладая даром ведения острой полемики и деятельной натурой, Лохвицкий достаточно быстро приобрел известность как успешный адвокат. Он полагал: «С учреждением адвокатуры открывается для таланта и знания великая независимая сфера деятельности» [10].

Александр Владимирович также был сторонником открытых судебных процессов, которым он придавал значение не только правосудное, но просветительское и воспитательное, считая судебный процесс непрерывным рядом «публичных и бесплатных лекций уголовного и гражданского права» [10].

За свою адвокатскую практику А.В. Лохвицкий участвовал во многих известных процессах, большинство из которых он выиграл. Наиболее громкими адвокатскими победами были процессы по делу корнета Мгеброва [11], братьев Мясниковых [12], дело игуменьи Митрофании [13]. Процессы были весьма резонансные, речи А.В. Лохвицкого весьма острые, жесткие, зачастую граничащие с бестактностью. В качестве публичной реакции на это в печати появлялись негативные высказывания, которые А.В. Лохвицкий принимал на свой счет.

Популярность А.В. Лохвицкого росла и в 1877 г. к нему обращается супруга Ф.М. Достоевского – Анна Григорьевна. Когда встал вопрос о судебной тяжбе по поводу наследства тетушки Достоевского А.Ф. Куманиной, то решено было пригласить А.В. Лохвицкого. В письме А.А. Достоевского (племянника писателя) читаем: «Теперь нужно предпринять следующее – это говорит Анна Григорьевна ... как только иск будет подан ... пригласить Лохвицкого, что будет стоить недорого, а как говорит Анна Григорьевна, то, может быть, и ничего, потому что она думает, что Лохвицкий не возьмет ничего с Федора Михайловича» [14].

Примечательно, что А.В. Лохвицкий в 1869 г. опубликовал в «Судебном вестнике» ряд очерков «Уголовные романы». В одном из них подробно анализируется роман Ф.М. Достоевского «Преступление и наказание». В этих статьях Лохвицкий указывает, что роман содержит «великий психологический анализ преступника», а равно и «превосходный тип уголовного следователя» [15].

На просьбу А.Г. Достоевской выступить в качестве представителя по наследственному спору А.В. Лохвицкий откликнулся сразу и с большой готовностью помочь. Однако ему не удалось стать представителем писателя в суде, так как в конце 1878 г. он был исключен из сословия адвокатов за «предосудительный поступок».

Причиной нападков на А.В. Лохвицкого в прессе было достаточно эпатажное поведение самого адвоката, который, не слишком стесняя себя в выборе выражений, мог позволить себе провокационные оценочные суждения как в адрес оппонентов в зале суда, так и в адрес представителей общественности.

Однако переломным в карьере А.В. Лохвицкого стал процесс 1876 г. по делу студента Н. Элькина, который обвинялся в мошенничестве. Лохвицкий, выступавший в качестве защитника, выиграл дело, и Элькин был оправдан. Кроме того, жуликоватый студент не только избежал уголовного наказания, но и благодаря все тому же Лохвицкому выиграл все гражданские споры, узаконив тем самым права на нечестно приобретенное имущество.

Такой оглушительный успех на адвокатском поприще не прошел незамеченным. Основанием для привлечения внимания стало заявленное в прессе отсутствие в деятельности А.В. Лохвицкого нравственной щепетильности и желание выиграть процесс, опираясь только на юридическую казуистику, не принимая во внимание нравственных основ. Юридическое сообщество инициировало дисциплинарное производство в отношении Александра Владимировича и решением общего собрания департаментов Московской судебной палаты исключило его из числа адвокатов. Решение это было А.В. Лохвицким обжаловано в Правительствующий Сенат, и в 1879 г. статус присяжного поверенного был ему возвращен.

Кроме дисциплинарных мер, поведение А.В. Лохвицкого вызвало к жизни серьезнейшую дискуссию по вопросам адвокатской этики, длившуюся с 1878 г. практически до первой русской революции 1905 г., когда самого «зачинщика» уже не было в живых. В этой полемике приняли участие такие видные деятели отечественной юриспруденции, как Г.А. Джаншиев, издавший работу «Ведение неправых дел (Этюд по адвокатской этике)», Е.В. Васьяковский, опубликовавший труд «Будущее русской адвокатуры», председатель совета присяжных поверенных Одесского округа О.Я. Пергамент, выступивший с публичной лекцией об общественных задачах адвокатуры и многие другие. Все они сходились в одном – адвокатура есть институт, в котором заинтересованы не отдельные участники того или иного спора, а заинтересовано общество в целом. А значит именно нравственные правила, как считал один из достойнейших представителей русской адвокатуры К.К. Арсеньев, составляют силу корпорации адвокатов, дают ей нравственное единство, поддерживают ее как целое и руководят каждым отдельным ее членом [16, 17].

Однако не только громкие и отчасти скандальные судебные процессы и выступления в прессе притягивали внимание к Александру Владимировичу Лохвицкому. Он был глубоко знающим, прогрессивно мыслящим юристом.

Еще в 1862 г. с просьбой высказать свои соображения по поводу «Основных положений преобразования судебной части в России» к целому ряду ведущих российских ученых-правоведов обратилась комиссия, созданная при государственной канцелярии для разработки проектов судебных уставов. В их числе был и А.В. Лохвицкий [18, с. 35].

Труды А.В. Лохвицкого по юриспруденции не потеряли своей актуальности и по сей день. Так, в 1867 г. был издан его «Курс русского уголовного права» [19], ставший одним из фундаментальных трудов в области изучения не только уголовного права, но и криминологии. Более того, по мнению современных исследователей, «предложенная автором уголовно-правовая классификация жертв преступлений имеет важное теоретическое значение для современных виктимологических исследований. Она предлагает собственные основания группировки жертв преступлений, которые в современных условиях применимы, хотя и нуждаются в некотором обновлении, вызванном изменением условий жизни», а также «анализ мер виктимологической реабилитации жертв преступлений: возмещение причиненного им материального, физического и морального вреда» [20, с. 15].

Не менее интересна и обстоятельная работа А.В. Лохвицкого «Обзор современных конституций», изданная автором в 1862–1865 гг. Обзор представляет собой серию очерков по истории конституционного права европейских стран и США, а также тексты на языке оригинала некоторых конституций. Сам же А.В. Лохвицкий отнесен современными исследователями к числу основателей науки государственного права зарубежных стран в России [21, с. 86].

Скончался Александр Владимирович Лохвицкий 16 мая 1884 г. в Москве в возрасте 54 лет. Причина скорострительной смерти была проста и, по тому времени, коварна – врач, лечивший Лохвицкого от чирии, занес инфекцию, вследствие чего развился сепсис.

В некрологе, помещенном в «Судебной газете» от 20 мая 1884 г., говорилось: «Александр Владимирович принадлежал к крайне ограниченному у нас кругу действительно ученых юристов. Он был доктор права, автор курса уголовного права и других сочинений и статей, отмеченных ясностью и талантом изложения. ... Владея прекрасно пером, покойный еще более блестяще владел живым словом. Оригинальность его речей составляло замечательное соединение ясности и деловитости с блеском остроумия» [22].

Василий Иванович Немирович-Данченко (брат выдающегося русского театрального режиссера) в своем очерке о творчестве поэтессы Мирры Лохвицкой писал: «Ее отец, знаменитый... адвокат – один из талантливейших поэтов трибуны своего времени. О нем рассказывали бесчисленные анекдоты, и будь в тогдашней России народное представительство, мы в нем имели бы первоклассного политического оратора» [23, с. 121].

Список источников

1. Дело об утверждении адъюнкта Ришельевского лицея А.В. Лохвицкого в звании профессора лицея от 12 ноября 1856 – 5 февраля 1859 г. // Российский государственный исторический архив (РГИА) Ф. 733. Оп. 78. Д. 824.
2. Лохвицкий А.В. Некролог // Московские ведомости. 1884. № 137.
3. Зубков И.В. Ришельёвский лицей // Большая российская энциклопедия. URL: https://bigenc.ru/domestic_history/text/3511496 (дата обращения: 10.12.2021).
4. Подрезова М.А., Самодурова В.В. Роль архивных документов в реконструкции истории студенческого отдела библиотеки Новороссийского университета // Вісник ОНУ. Сер.: Бібліотекознавство, бібліографознавство, книгознавство. 2016. Т. 21. Вип. 1. С. III–IV.
5. Лохвицкий А.В. Замечания на статью г-на Филиппова // Русское слово. 1859. Кн. 10 [отд. 2].
6. Отдел рукописей Российской национальной библиотеки. Ф. 391. Краевский А.А. Ед.хр. 492.
7. От издателя // Русское слово. 1865. № 9 (сентябрь).
8. Отечественные записки. 1861. Т. СXXXIV. № 1. отд. III. С. 1–28.
9. Никитенко А.В. Записки и дневник: в 3-х т. М.: Захаров, 2005. Т. 2.
10. Лохвицкий А.В. По поводу судебной реформы. Статья третья и последняя (политические и нравственные начала судебной реформы) // Голос. 1865. № 28. 28 янв.
11. Дело корнета Мгеброва // Русские судебные ораторы в известных уголовных процессах. М., 1899. С. 73–112.
12. Русские судебные ораторы в известных уголовных процессах. М., 1902. Т. VI. С. 1–172.
13. Русские судебные ораторы в известных уголовных процессах. М., 1897. С. 121–294. Т. II.
14. Достоевский в неизданной переписке современников (1837–1881). Ч. 8. URL: <http://dostoevskiy-lit.ru> (дата обращения: 10.12.2021).
15. Лохвицкий А.В. Уголовные романы // Судебный вестник. 1869. № 4.
16. Дулич Л.М., Вахмистрова С.И. К дискуссии об адвокатской этике 1878–1900-х годов // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2019. № 3 (44). С. 16–21.
17. Kucherov S. Courts, Lawyers and Trials under the Last Three Tsars. New York, 1953.
18. Томсинов В. А. Судебная реформа 1864 г. в России и ее воздействие на развитие отечественного правоведения // Вестник Московского университета. Сер. 11: Право. 2015. № 2. С. 22–40.
19. Лохвицкий А.В. Курс русского уголовного права. СПб.: Изд. Журн. М-ва юст; Печ. в тип. правительствующего Сената, 1867. 662 с.
20. Кабанов П.А. Виктимологические воззрения профессора Александра Владимировича Лохвицкого и их современное значение // Виктимология. 2021. Т. 8. № 1. С. 11–17.
21. Глушко В.В. Организационные основы изучения государственной власти и управления зарубежных стран в исторической науке дореволюционной России // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: сб. материалов XVIII Междунар. науч.-практ. конф., Махачкала, 20 апр. 2019 г. Махачкала: ООО «Апробация», 2019. С. 85–87.
22. Некролог // Судебная газета. 1884. № 21. 20 мая.
23. Немирович-Данченко В.И. На кладбищах: Воспоминания и впечатления. М.: Русская книга, 2001. 541 с.

References

1. Rossijskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv (RGIA) F. 733. Op. 78. D. 824. Delo ob utverzhdenii ad'yunkta Rishel'evskogo liceya A.V. Lohvickogo v zvanii professora liceya. 12 noyabrya 1856 – 5 fevralya 1859.
2. Lohvickij A.V. Nekrolog // Moskovskie vedomosti. 1884. № 137.

3. Zubkov I.V. Rishel'yovskij licej // Bol'shaya russijskaya enciklopediya. URL: https://bigenc.ru/domestic_history/text/3511496 (data obrashcheniya: 10.12.2021).
4. Podrezova M.A., Samodurova V.V. Rol' arhivnyh dokumentov v rekonstrukcii istorii studencheskogo otdela biblioteki Novorossijskogo universiteta // Visnik ONU. Ser.: Biblioteko-znavstvo, bibliografo-znavstvo, knigo-znavstvo. 2016. T. 21. Vip. 1. S. III-IV.
5. Lohvickij A.V. Zamechaniya na stat'yu g-na Filippova // Russkoe slovo. 1859. Kn. 10 [otd. 2].
6. Otdel rukopisej Rossijskoj nacional'noj biblioteki. F. 391. Kraevskij A.A. Ed.hr. 492.
7. Ot izdatelya // Russkoe slovo. 1865. № 9 (sentyabr').
8. Otechestvennye zapiski. 1861. T. SXXXIV. № 1. otd. III. S. 1–28.
9. Nikitenko A.V. Zapiski i dnevnik: v 3-h t. M.: Zaharov, 2005. T. 2.
10. Lohvickij A.V. Po povodu sudebnoj reformy. Stat'ya tret'ya i poslednyaya (politicheskie i npravstvennye nachala sudebnoj reformy) // Golos. 1865. № 28. 28 yanvarya.
11. Delo korneta Mgebrova. V kn.: Russkie sudebnye oratory v izvestnyh ugolovnyh processah. M., 1899. S. 73–112.
12. Russkie sudebnye oratory v izvestnyh ugolovnyh processah. M., 1902. T. VI. S. 1–172.
13. Russkie sudebnye oratory v izvestnyh ugolovnyh processah. T. II. M., 1897. S. 121–294.
14. Dostoevskij v neizdannoj perepiske sovremennikov (1837–1881). Ch. 8. URL: <http://dostoevskiy-lit.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2021)
15. Lohvickij A.V. Ugolovnye romany // Sudebnyj vestnik. 1869. № 4.
16. Dulich L.M., Vahmistrova S.I. K diskussii ob advokatskoj etike 1878–1900-h godov // Vestnik Sankt-Peterburgskoj juridicheskoj akademii. 2019. № 3 (44). S. 16–21.
17. Kucherov S. Courts, Lawyers and Trials under the Last Three Tsars. New York, 1953.
18. Tomsinov V.A. Sudebnaya reforma 1864 g. v Rossii i ee vozdejstvie na razvitie otechestvennogo pravovedeniya // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 11: Pravo. 2015. № 2. S. 22–40.
19. Lohvickij A.V. Kurs russkogo ugolovnogo prava. SPb.: Izd. Zhurn. M-va yust; Pech. v tip. pravitel'stvuyushchego Senata, 1867. 662 s.
20. Kabanov P.A. Viktimologicheskie vozzreniya professora Aleksandra Vladimirovicha Lohvickogo i ih sovremennoe znachenie // Viktimologiya. 2021. T. 8. № 1. S. 11–17.
21. Glushko V.V. Organizacionnye osnovy izucheniya gosudarstvennoj vlasti i upravleniya zarubezhnyh stran v istoricheskoj nauke dorevolucionnoj Rossii // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki v 21 veke: sb. materialov XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Mahachkala, 20 apr. 2019 g. Mahachkala: OOO «Aprobaciya», 2019. S. 85–87.
22. Nekrolog // Sudebnaya gazeta. 1884. № 21. 20 maya.
23. Nemirovich-Danchenko V.I. Na kladbishchah: Vospominaniya i vpechatleniya. M.: Russkaya kniga, 2001. 541 s.

Информация об авторах:

Вениамин Павлович Вахмистров, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6), кандидат философских наук, доцент, e-mail: venvp@mail.ru

Светлана Ивановна Вахмистрова, доцент кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат исторических наук, доцент, e-mail: ven_sv@mail.ru

Information about the authors:

Veniamin P. Vakhmistrov, associate professor of the department of humanities and socio-economic disciplines of the military medical academy named after S.M. Kirov (194044, St. Petersburg, Akademika Lebedeva str., 6), candidate of philosophical sciences, associate professor, e-mail: venvp@mail.ru

Svetlana I. Vakhmistrova, associate professor of the department of labor law of the St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of historical sciences, associate professor, e-mail: ven_sv@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.12.2021; одобрена после рецензирования: 27.01.2022;
принята к публикации: 01.03.2022.

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.12.2021; approved after review: 27.01.2022;
accepted for publication: 01.03.2022.

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 614.895.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АНТИПИРЕНАМИ

Валерия Анатольевна Борисова✉.

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

✉valery.borisova.01@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены способы и методики модификации рецептуры эпоксидных составов антипиренами; изучены способы создания модифицированных компаундов и аппретирования волокон. Исследованы эксплуатационные характеристики модифицированных образцов и предложены рекомендации по подготовке огнестойких полимерных композитов. Даны практические инструкции по подготовке и использованию огнестойких ремкомплектов для корпусов транспортных средств на основе волокон, аппретированных эпоксидными смолами с антипиренирующими наполнителями.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, эпоксидная смола, модификация, наполнители, антипирены, термическая стабильность

Для цитирования: Борисова В.А. Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных антипиренами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 159–170.

RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND OPERATING CHARACTERISTICS OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS MODIFIED WITH FLAME RETARDANTS

Valeria A. Borisova✉.

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

✉valery.borisova.01@yandex.ru

Abstract. The article develops the recipe for modification of epoxy compositions with flame retardants, studies methods of modified compounds production and methods of fibers finishing, investigates performance characteristics of modified samples, develops guidelines for preparation of binder compositions of fire-resistant polymer composites. Practical recommendations and proposals for implementation and use of flame retardant compounds for vehicle bodies based on fibers impregnated with epoxy resins with flame retardants are given.

Keywords: polymer composite material, epoxy resin, modification, fillers, flame retardants, thermal stability

For citation: Borisova V.A. Research of physical and chemical properties and operating characteristics of polymeric composite materials modified with flame retardants // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 159–170.

Введение

Анализируя основные этапы истории, можно отметить, что уровень развития цивилизации характеризуется видом материала, который в свое время был использован для создания орудий и средств производства. На слуху названия Каменного века, Железного века и других исторических периодов. По этой аналогии XXI в. с уверенностью можно назвать веком полимерных композиционных материалов (ПКМ, композит). По своей сути ПКМ – это материал, состоящий из двух или более химически разнородных компонентов, при этом один из компонентов является высокомолекулярным соединением – связующим (матрицей), а второй – модификаторами различной химической природы (наполнителями). В последнее время в качестве связующего активно используется эпоксидная смола (ЭС).

Одна из самых пожароопасных отраслей промышленности – транспортная отрасль – также неразрывно связана с использованием эпоксидной смолы.

Наибольшее количество пожаров происходит на легковых и грузовых автомобилях. Данная тенденция зачастую связана с их техническим состоянием и соблюдением правил устройства и эксплуатации (рис. 1).

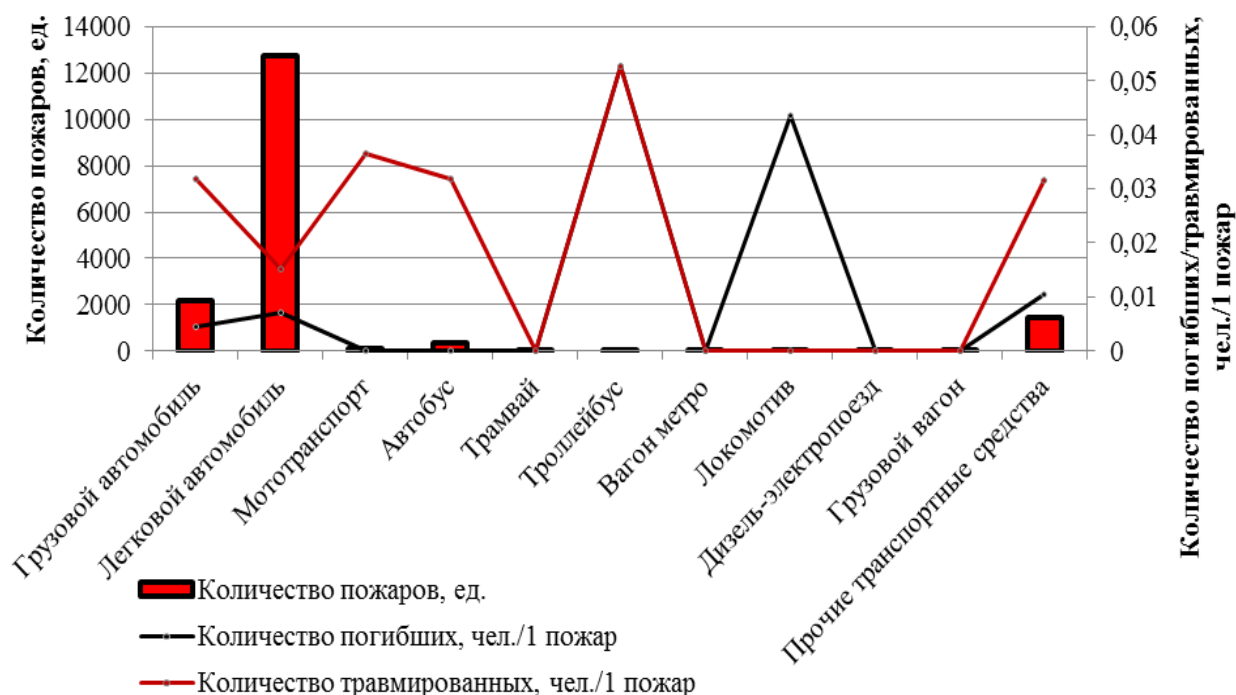


Рис. 1. Количество пожаров, погибших и травмированных на единицу пожара в зависимости от вида транспортного средства

К числу основных причин пожаров на транспортных средствах (ТС) в первую очередь относятся нарушение правил устройства и эксплуатации (ПУиЭ) транспортных средств и электрооборудования, нарушение правил пожарной безопасности (ППБ) при проведении ремонтных работ, а также поджоги и неосторожное обращение с огнем (рис. 2).

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что разработка полимерных композиций на основе эпоксидных смол с пониженной горючестью, обладающих высокими физико-механическими свойствами, является достаточно актуальной [1].

Так, разработка и модификация самозатухающих (огнестойких) ПКМ становится одним из приоритетных направлений развития химической технологии композитов.

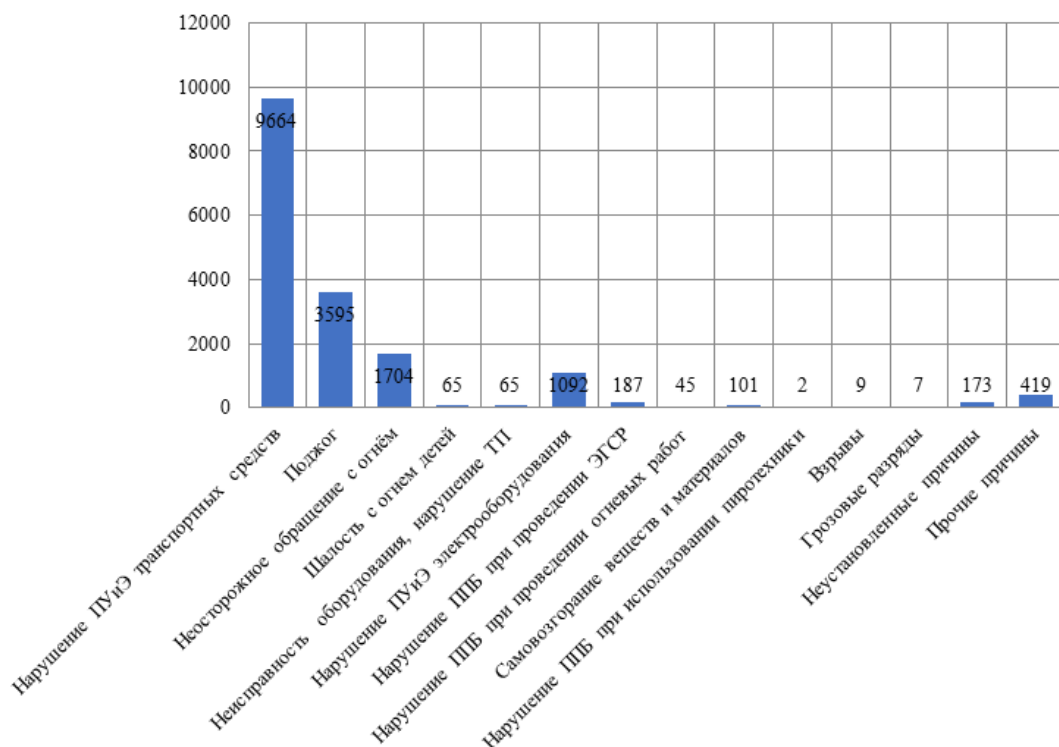


Рис. 2. Распределение пожаров на ТС, произошедших в 2020 г., по причинам их возникновения: ЭГСР – электрогазосварочные работы

Исследователями и инженерами постоянно проводятся исследования, направленные на модификацию состава матриц за счет использования новых наполнителей и их разнообразных сочетаний (рис. 3). Довольно эффективно показывает себя использование композиционных полуфабрикатов – препрегов (продукт предварительной пропитки связующим упрочняющих материалов тканой или нетканой структуры).

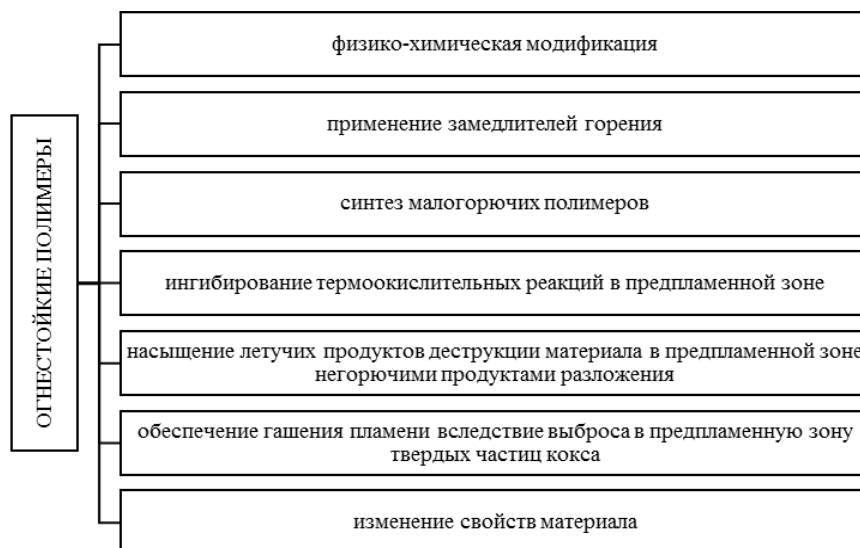


Рис. 3. Способы и методы получения огнестойких полимеров

Для управления термической стабильностью, прочностными показателями и пожароопасными характеристиками материала в составы композитов вводится тонкодисперсные/волокнистые армирующие материалы.

Проведенные исследования [2–8] подтверждают факт связывания модификаторов (как тонкодисперсных, так и волокнистых) с молекулами компонентов эпоксидных матриц. Связывание способствует замедлению деструкции матрицы, и, как следствие, повышению прочностных характеристик и термической стойкости материалов.

Данная работа представляет собой результаты исследования эксплуатационных характеристик и анализа поведения композитов на основе эпоксидной матрицы, модифицированной антипиренами, в условиях воздействия повышенных температур с целью повышения огнестойкости упомянутых материалов и изделий на их основе.

Материалы и методики исследования

Объектом исследования являются показатели термической стабильности и эксплуатационные характеристики образцов композиционного материала со связующим на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной триэтилентетрамином (ТЭТА) и армирующих наполнителей (добавок, присадок) различной природы, целью которых является придание материалу повышенной огнестойкости при необходимых физико-механических характеристиках. Производитель смолы ЭД-20 и отвердителя ТЭТА – АО «ЭНПЦ Эпитал», Москва, Россия.

В качестве модификаторов-антипиренов были использованы:

1. Тальк – это природный минерал, относящийся к классу силикатов, подклассу слоистых силикатов. В исследовании был использован тальк марки Талькон А-20, произведенный компанией ООО «Русская Сырьевая Компания» в соответствии с ГОСТ 21235–75 «Тальк и талькомагнезит молотые. Технические условия».

2. Оксид железа (III) (Fe_2O_3), также известный как окись железа, колькотар, крокус, железный сурик, минерал гематит, представляющий собой амфотерный оксид. В ходе исследования применялся оксид железа (III), произведенный компанией ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» согласно ТУ 14-106-340–89 «Оксид железа (III). Технические условия».

3. Диоксид кремния/кремнезём/оксид кремния (IV) представляет собой высокотвердые и прочные бесцветные кристаллы. В работе был использован диоксид кремния в виде кварцевой муки марки ТМ SilverBond, произведенной в соответствии с ТУ 5717-001-00285072–09 «Мука кварцевая» и ГОСТ 9077–82 «Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия» компанией Sibelco.

На первом этапе подготовки модифицированных образцов осуществлялась подготовка суспензий на основе отвердителя ТЭТА с содержанием наполнителей. Данный этап заключался в добавлении порошкообразных модификаторов в объем отвердителя с последующим их диспергированием при температуре $20,0(\pm 0,2)$ °С и нормальном атмосферном давлении при помощи турбинной мешалки и воздействии источника ультразвука мощностью 1 кВт с частотой 60 кГц в течение 600 с.

На следующем этапе модифицированные растворы отвердителя добавляли в объем предварительно взвешенной смолы для получения составов с определенными концентрациями элементов, масс. ч. (табл. 1). После полученные смеси в течение 300 с перемешивались до получения однородного состояния. На этапе полимеризации проводилось холодное отверждение полученных составов при комнатной температуре. Для этого полученные смеси заливали в подготовленную литейную форму и отверждали при температуре $20,0 (\pm 0,2)$ °С в течение 5 сут.

Таблица 1. Рецептuru модифицированных эпоксидных композитов

Показатели	Модификаторы		
	оксид железа (III)	оксид кремния (IV)	тальк
Содержание модификатора, φ_m , масс.ч	10	10	10
Содержание ЭД-20, $\varphi_{эс}$, масс.ч.	100	100	100
Содержание ТЭТА, $\varphi_{тэта}$, масс.ч.	20	20	20

Процесс получения полуфабрикатного ПКМ путем аппретирования базальтового волокна заключался в подготовке эпоксидной матрицы (1 и 2 этапы, описанные выше). Затем, подготовленную, обезжиренную и высушенную базальтовую ткань пропитывали модифицированными составами вручную при помощи кисти, так чтобы смола распределялась равномерно между волокнами, а потом с помощью разбивочного валика удаляли излишки воздуха и самой смолы.

В результате были получены образцы полимерного композита, а также образцы модифицированной эпоксидной матрицы.

Исследование характеристик модифицированных образцов проводилось путем определения и сравнения нескольких параметров: термической стабильности, ударной вязкости и кислородного индекса.

Структурно-методическая схема исследования представлена на рис. 4.

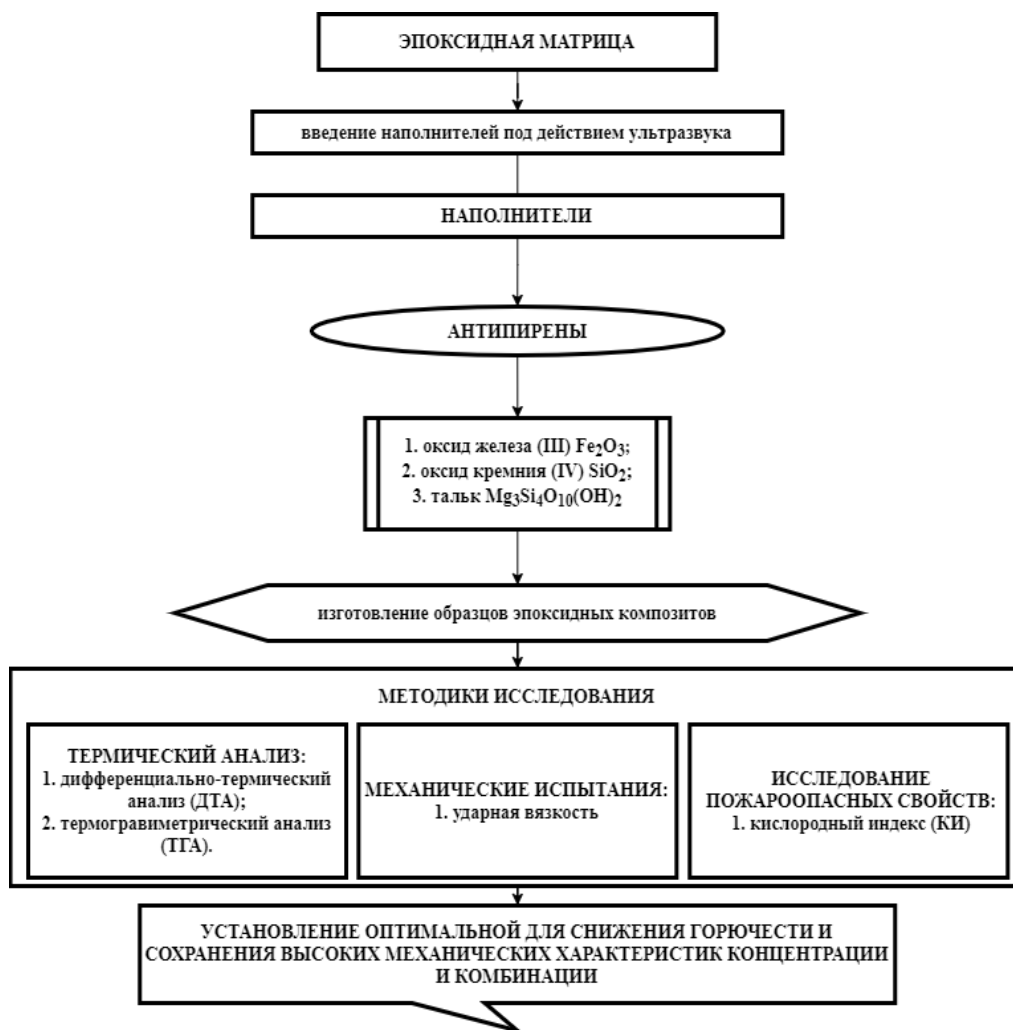


Рис. 4. Структурно-методическая схема исследования

Экспериментальный метод определения кислородного индекса (КИ), согласно [9], заключается в нахождении минимальной концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси, при которой наблюдается самостоятельное горение вертикально расположенного образца, зажигаемого сверху. Для проведения испытания были подготовлены образцы 80×10×4 мм. Образцы закреплялись в рамку и помещались в испытательную колонку (прибор для измерения КИ МТ 252), в которой снизу вверх пропускают кислородно-азотную газовую смесь со скоростью потока 4 см/с.

Исследование ударной вязкости проходит в соответствии с методикой [10] (методика испытания на ударный изгиб по Шарпи). Испытание проводилось с использованием маятникового копра модели РН-450. Размеры образцов составляли 40 мм×10 мм×80 мм, а на одной боковой поверхности образца был сделан V-образный надрез под углом 45° с глубиной корня (0,25±0,01) мм. Испытание повторялось трижды, для расчета ударной вязкости были взяты средние значения. В результате исследования получается количественное значение энергии, отнесенной к площади поперечного сечения в месте удара в Дж/м².

Термический анализ проводился при помощи установки «Thermoscan-2», нагрев образца осуществлялся от комнатной температуры до 600 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин. Методика термического анализа [11] различает несколько вариантов проведения подобных исследований.

Экспериментальная часть

Исследование кислородного индекса ПКМ, модифицированных антипиренами

Полученные в результате обработки данных показатели кислородного индекса для ЭС с антипиренами представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели КИ эпоксидных композитных материалов, модифицированных антипиренами

№ п/п	Образец	КИ, %
1	ЭД-20+ТЭТА (контрольный образец)	19,3±0,2
2	ЭД-20+ТЭТА+ оксид железа (III)	21,9±0,2
3	ЭД-20+ТЭТА+оксид кремния (IV)	21,6±0,3
4	ЭД-20+ТЭТА+тальк	22,8±0,2

Результаты анализа свидетельствуют, что КИ модифицированных неорганическими оксидами эпоксидных матриц возрастают на 12–13 % соответственно, что позволяет говорить об увеличении требуемого для поддержания горения содержания кислорода.

Однако стоит отметить, что исследования, проведенные Всероссийским научно-исследовательским институтом авиационных материалов (ВИАМ) [12], указывают, что при массовом содержании минерального наполнителя менее 45 % химическая природа наполнителя оказывает незначительное влияние на остальные пожароопасные свойства эпоксидных композитов. Лишь при превышении 50 % массовой доли минерального наполнителя наблюдается существенный рост КИ и снижение скорости распространения пламени. Соответственно, большее содержание наполнителей в матрице позволит увеличить КИ в значительной мере.

Однако добавление в состав эпоксидной матрицы талька позволяет повысить огнестойкость полимера также с помощью механизма керамизации [13]. Во время горения верхнего слоя выделялись негорючие газы (H₂O и CO₂) и аммиак при определенной температуре, при дальнейшем повышении температуры образовавшиеся слои древесного угля окислялись, и происходила реакция кристаллизации. Наконец, образуется керамикоподобный остаток, содержащий кварц. Слой изолирует материал, что приводит к увеличению КИ на 18 % при добавлении 10 масс.ч. талька.

Исследование термической стабильности ПКМ, модифицированных антипиренами

При проведении термического анализа был получен ряд дифференциально-термических кривых (ДТ-кривых) (рис. 5).

В ходе анализа процесса нагрева эпоксидной смолы на ДТ-кривых указывается на присутствие нескольких термических пиков, соответствующих термическому эффекту (ТЭ) составных частей композита. Основными показателями термического анализа служат: температура начала ТЭ T_n (начало интенсивного окисления вещества); температура максимума ТЭ T_{max} (самовоспламенение и смена процесса окисления процессом диссоциации); температура конца ТЭ T_k ; амплитуда ТЭ (разница между показателями температуры T_n и T_{max}); ширина пика ТЭ (температурный интервал, на протяжении которого наблюдался ТЭ); индекс формы ТЭ (отношение продолжительности процессов диссоциации к периоду процесса окисления).

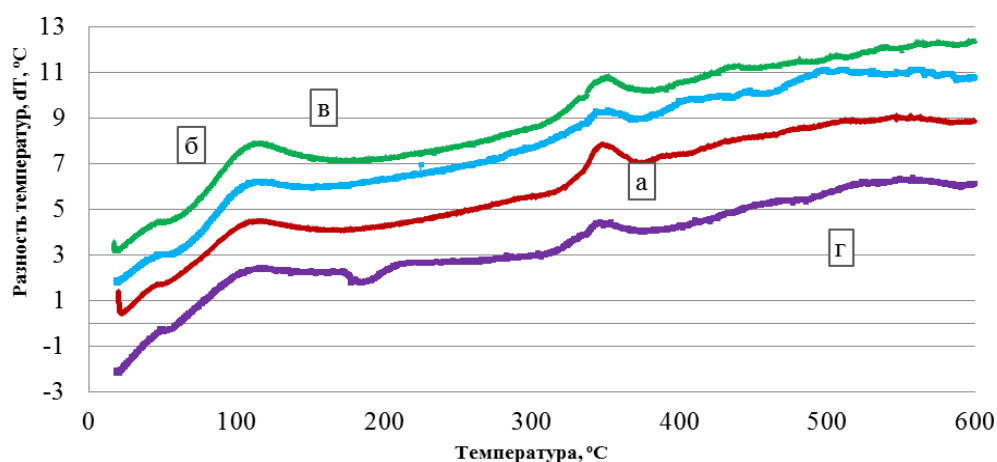


Рис. 5. ДТ-кривые образцов ЭС:

а – контрольного образца; б – образца с добавлением кварцевой муки; в – образца с добавлением оксида железа (III); г – образца с добавлением талька

В результате термического анализа были получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3. ДТ анализ графиков нагрева образцов эпоксидных композитов, модифицированных антипиренами

Образцы	Чистая ЭС		ЭС с добавлением оксида кремния (IV)		ЭС с добавлением оксида железа (III)		ЭС с добавлением талька	
	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик
Температура начала ТЭ, °C	51	315	47	306	53	291	50	306
Температура максимума ТЭ, °C	115	351	108	340	110	345	122	350
Температура конца ТЭ, °C	170	375	168	363	145	370	185	376
Амплитудное значение ТЭ, ед.	2,78	2,2	3,3	1,78	2,7	1,66	2,59	1,5
Ширина пика ТЭ, °C	119	60	121	57	92	79	135	70
Индекс формы ТЭ, ед.	0,86	0,67	0,98	0,68	0,61	0,46	0,88	0,59

Сведения, полученные путем расшифровки ДТ-кривых, а также сравнение показателей термического анализа ЭС с добавлением антипиренов различной химической природы позволяют сделать следующие выводы:

1. Минимальный ТЭ наблюдается для эпоксидного композита с добавлением талька, благодаря чему можно судить о стабильности поведения модифицированной эпоксидной матрицы в результате нагревания материала до 400 °С. Данный эффект может быть связан с балансом гидрофильности и гидрофобности, характерным для талька, что снижает вероятность формирования конгломератов талька в структуре отвержденного образца. Диспергирование талька в суспензии ЭС с отвердителем сопровождается разрушением агломератов модификатора, вследствие чего высокая поверхность контакта наполнителя и объема эпоксидной матрицы обеспечивает равномерное распределение модификатора в объеме и, как следствие, усиление структуры [14].

2. Температурные характеристики деструкции большинства модифицированных материалов отличаются от контрольного образца незначительно. Пики ТГ-кривых на интервале 400 ... 600 °С свидетельствуют о разрушении образованных между ЭС и наполнителями связей.

3. Стоит отметить, что скорость деструкции образцов, модифицированных тальком, ниже скорости выделения летучих продуктов термического разложения. На графике это можно определить как увеличение продолжительности процесса от начала окисления до его перехода в процесс самовоспламенения материала. Это говорит о повышении термической устойчивости материала.

4. Для ряда образцов наблюдается снижение интенсивности экзотермических реакций. Большое значение здесь имеет малый размер частиц модификаторов, обладающих большой удельной поверхностью в объеме смолы. Это в большей части определяет высокие сорбционные свойства наполнителей.

Анализируя термограммы (ТГ-кривые) (рис. 6–9), получаем следующие результаты:

1. Характер прироста массы для образца, модифицированного оксидом кремния (IV), говорит об упомянутом выше механизме керамизации, при котором изолирующий слой начинает формироваться при температуре образования керамической пленки (порядка 200 °С).

2. Для всех модифицированных образцов характерен прирост массы, вызванный нарастанием карбонизированного слоя на поверхности ПКМ.

3. Модификация оксидом железа (III) вызывает вначале потерю массы до 20 % от исходного образца с дальнейшим равномерным нарастанием карбонизированного слоя при нагреве свыше 250 °С.

4. При добавлении в качестве модификатора талька при достижении 180 °С происходит первый малозаметный прирост массы порядка 6,2 мг, что составляет 12 % от массы исходного образца. Следующий прирост начинается при температуре 210 °С и длится вплоть до 350 °С, причем прирост массы составляет уже порядка 33 %. При дальнейшем нагреве прирост массы носит характер, близкий к степенной функции, и на графике стремится к параболе.

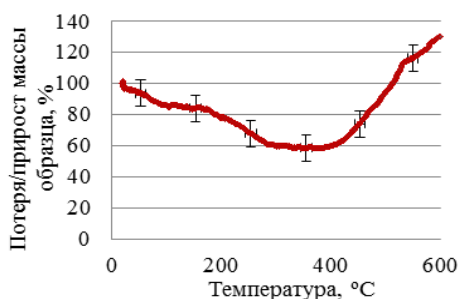


Рис. 6. ТГ чистой ЭС

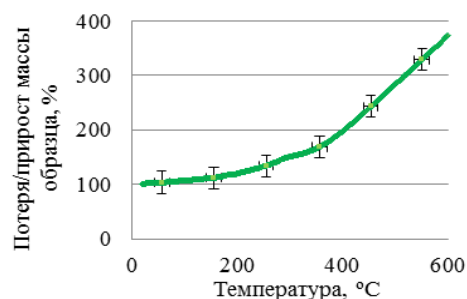


Рис. 7. ТГ ЭС, модифицированной оксидом кремния (IV)

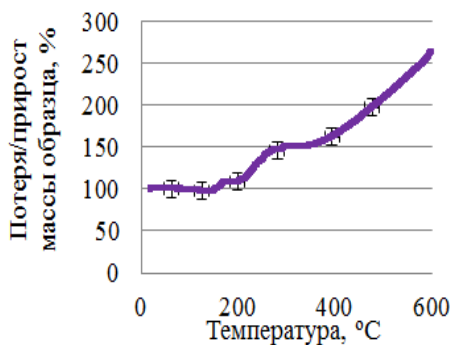


Рис. 8. ТГ ЭС, модифицированной тальком

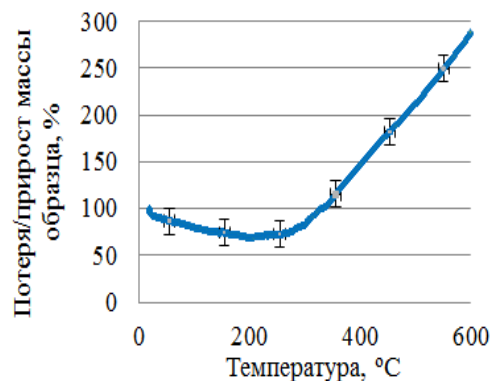


Рис. 9. ТГ ЭС, модифицированной добавлением оксида железа (III)

Исследование ударной вязкости ПКМ, модифицированных углеродными наноструктурами

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость представлены в табл. 4.

При испытании образцов ЭС с добавлением талька на ударную вязкость наблюдалось лишь незначительное (до 5–6 %) повышение численного значения характеристики [15] при малых концентрациях, а дальнейшее увеличение концентрации модификатора привело к снижению показателя $a_{уд}$.

Исследования зарубежных авторов [16] показывают, что оптимальное значение концентрации модификатора на основе диоксида кремния, при котором значения ударной вязкости были максимальными (порядка 18–19 %), составляло порядка 4 масс.ч.

Ударная прочность эпоксидной матрицы уменьшается при добавлении частиц Fe_2O_3 в эпоксидную матрицу. Результаты анализа подтверждают, что межфазная реакция между ЭС и немодифицированными частицами Fe_2O_3 отсутствует или крайне незначительна. Так, согласно анализу, проведенному авторами [17], добавление до 5 масс.ч. наполнителя Fe_2O_3 способно вызвать снижение ударной вязкости на 12,5 %. Однако при использовании оксида железа (II,III) $FeO \cdot Fe_2O_3$ уже наблюдается обратный эффект – авторами [20] зафиксировано улучшение прочности на разрыв (~34 %) и ударной вязкости (~13 %).

Таблица 4. Показатели ударной вязкости эпоксидных композитных материалов, модифицированных антипиренами

№ п/п	Образец	Ударная вязкость, $a_{уд}$, кДж/м ²
1	ЭД-20+ТЭТА (контрольный образец)	19,61±0,78
2	ЭД-20+ТЭТА+ оксид железа (III)	17,17±0,17
3	ЭД-20+ТЭТА+оксид кремния (IV)	20,93±0,83
4	ЭД-20+ТЭТА+тальк	23,28±0,66

Зная численное значение ударной вязкости, можно оценить поглощение механической энергии ударной нагрузки, то есть способность материала сопротивляться разрушающему напряжению, приложенному к площади образца, при высокой скорости удара. Таким образом, при помощи значений ударной вязкости можно проанализировать стойкость материала к возникновению дефектов при ударной нагрузке.

Вывод

В работе представлены результаты анализа статистики пожаров на транспорте в Российской Федерации, в том числе при ремонте ТС, теоретического исследования способов и материалов ремонта деталей и механизмов ТС, а также результаты лабораторных исследований эксплуатационных характеристик композитных полуфабрикатов и связующих, на основе которых данные полуфабрикаты были получены. На основании результатов исследований и литературного анализа [19] предложен вариант модифицированного препрега пониженной горючести, применение которого в качестве материала для ремонта позволит снизить пожарную опасность процессов ремонта и эксплуатации ТС.

Список источников

1. Полимерные композиции на основе эпоксидных полимеров с пониженной горючестью / И.В. Строганов [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 7. С. 87–89.
2. Jinhong Yu, Xingyi Huang, Lichun Wang, Peng Peng, Chao Wu, Xinfeng Wu and Pingkai Jiang. Preparation of hyperbranched aromatic polyamide grafted nanoparticles for thermal properties reinforcement of epoxy composites // The Royal Society of Chemistry. 2011. 2. P. 1380–1388. DOI: 10.1039/c1py00096a.
3. Tuan Anh Nguyen, The Huyen Nguyen, Thien Vuong Nguyen, Hoang Thai, Xianming Shi. Effect of Nanoparticles on the Thermal and Mechanical Properties of Epoxy Coatings // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2016. Vol. 16. No. 9. P. 9874–9881. DOI: 10.1166/jnn.2016.12162.
4. Hongwei He, Kaixi Li, Jian Wang, Guohua Sun, Yanqiu Li, Jianlong Wang. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites // Materials and Design. 2011. Vol. 32. P. 4521–4527. DOI:10.1016/j.matdes.2011.03.026.
5. Qiu S., Xing W., Feng X., Yu B., Mu X., Yuen R. K. K., Hu Y. Self-standing cuprous oxide nanoparticles on silica@ polyphosphazene nanospheres: 3D nanostructure for enhancing the flame retardancy and toxic effluents elimination of epoxy resins via synergistic catalytic effect // Chemical Engineering Journal. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.100>.
6. Yinhang Zhang, Kyong Yop Rhee, Soo-Jin Park. Nanodiamond nanocluster-decorated graphene oxide/epoxy nanocomposites with enhanced mechanical behavior and thermal stability // Composites Part B. 2017. Vol. 114. pp. 111–120.
7. Junhao Zhang, Qinghong Kong and De-Yi Wang. Simultaneously improving the fire safety and mechanical properties of epoxy resin with Fe-CNTs via large-scale preparation // Journal of Materials Chemistry A. 2018. DOI: 10.1039/c7ta10961j.
8. Tianle Zhou, Xin Wang, Mingyuan Gu, and Dangsheng Xiong. Study on Mechanical, Thermal and Electrical Characterizations of Nano-SiC/Epoxy Composites // Polymer Journal. 2009. Vol. 41. No. 1. P. 51–57. DOI: 10.1295/polymj.PJ2008173.
9. ГОСТ 21793–76. Пластмассы. Метод определения кислородного индекса // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018696> (дата обращения: 09.10.2021).
10. ГОСТ 4647–80. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127778> (дата обращения: 09.10.2021).
11. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (дата обращения: 09.10.2021).
12. Огнестойкие композиты на основе полимерной матрицы / В. Ушков [и др.] // Химия. Т. 13. № 1. С. 77–84.

13. Повышенная стабильность остатков и прочность покрытия на основе эпоксидной смолы для защиты от огня благодаря стратегии керамизации / В. Лю [и др.] // *Progress in Organic Coatings*. 2021. Т. 154. С. 106–211.
14. Yildirim I. Surface free energy characterization of powders // *Dissertation Blacksburg, Virginia*. 2001.
15. Морозов С.В., Павлов Н.А., Зенин М.Н. Вследствие влияния состава эпоксидного связующего на его физико-механические характеристики // *Ползуновский вестник*. 2020. № 1. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.027.
16. Li H., Zhang Z., Ma X., Hu M., Wang X., & Fan P. Synthesis and characterization of epoxy resin modified with nano-SiO₂ and γ -glycidoxypropyltrimethoxy silane // *Surface and Coatings Technology*. 2007. 201(9-11). 5269–5272.doi:10.1016/j.surfcoat.2006.07.143.
17. Jaisingh S.J., Selvam V., Kumar M.S.C. & Thyagarajan K. Effect of Silane Functionalization on the Properties of Iron Oxide Nanoparticles/UP Toughened Epoxy Nanocomposites // *Advanced Materials Research*. 2013. 651. С. 154–158. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.651.154>.
18. Baghdadi Y.N., Youssef L., Bouhadir K., Harb M., Mustapha S., Patra D. & Tehrani-Bagha A.R. Thermal and mechanical properties of epoxy resin reinforced with modified iron oxide nanoparticles // *Journal of Applied Polymer Science*. 2021. 138 (23). 50533. doi:10.1002/app.50533.
19. Madorsky S.L., Hart V.E., Straus S. Thermal degradation of cellulosic materials // *J. Res. Nat. Bur. Stand.* 1958. Т. 60. С. 343–349.

References

1. Polimernye kompozicii na osnove epoksidnyh polimerov s ponizhennoj goryuchest'yu / I.V. Stroganov [i dr.] // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2019. Т. 22. № 7. С. 87–89.
2. Jinhong Yu, Xingyi Huang, Lichun Wang, Peng Peng, Chao Wu, Xinfeng Wu and Pingkai Jiang. Preparation of hyperbranched aromatic polyamide grafted nanoparticles for thermal properties reinforcement of epoxy composites // *The Royal Society of Chemistry*. 2011. 2. P. 1380–1388. DOI: 10.1039/c1py00096a.
3. Tuan Anh Nguyen, The Huyen Nguyen, Thien Vuong Nguyen, Hoang Thai, Xianming Shi. Effect of Nanoparticles on the Thermal and Mechanical Properties of Epoxy Coatings // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2016. Vol. 16. No. 9. P. 9874–9881. DOI: 10.1166/jnn.2016.12162.
4. Hongwei He, Kaixi Li, Jian Wang, Guohua Sun, Yanqiu Li, Jianlong Wang. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites // *Materials and Design*. 2011. Vol. 32. pp. 4521–4527. DOI:10.1016/j.matdes.2011.03.026.
5. S. Qiu, W. Xing, X. Feng, B. Yu, X. Mu, R. K. K. Yuen, Y. Hu. Self-standing cuprous oxide nanoparticles on silica@ polyphosphazene nanospheres: 3D nanostructure for enhancing the flame retardancy and toxic effluents elimination of epoxy resins via synergistic catalytic effect // *Chemical Engineering Journal*. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.100>.
6. Yinhang Zhang, Kyong Yop Rhee, Soo-Jin Park. Nanodiamond nanocluster-decorated graphene oxide/epoxy nanocomposites with enhanced mechanical behavior and thermal stability // *Composites Part B*. 2017. Vol. 114. P. 111–120.
7. Junhao Zhang, Qinghong Kong and De-Yi Wang. Simultaneously improving the fire safety and mechanical properties of epoxy resin with Fe-CNTs via large-scale preparation // *Journal of Materials Chemistry A*. 2018. DOI: 10.1039/c7ta10961j.
8. Tianle Zhou, Xin Wang, Mingyuan Gu, and Dangsheng Xiong. Study on Mechanical, Thermal and Electrical Characterizations of Nano-SiC/Epoxy Composites // *Polymer Journal*. 2009. Vol. 41. No. 1. pp. 51–57. DOI: 10.1295/polymj.PJ2008173.
9. GOST 21793–76. Plastmassy. Metod opredeleniya kislorodnogo indeksa // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii*. URL: [https:// docs.cntd.ru/document/1200018696](https://docs.cntd.ru/document/1200018696) (data obrashcheniya: 09.10.2021).

10. GOST 4647–80. Plastmassy. Metod opredeleniya udarnoj vyazkosti po Sharpi // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127778> (data obrashcheniya: 09.10.2021).
11. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognезashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (data obrashcheniya: 09.10.2021).
12. Ognestojkie kompozity na osnove polimernoj matricy / V. Ushkov [i dr.] // Himiya. T. 13. № 1. S. 77–84.
13. Povyshennaya stabil'nost' ostatkov i prochnost' pokrytiya na osnove epoksidnoj smoly dlya zashchity ot ognya blagodarya strategii keramizacii / V. Lyu [i dr.] // Progress in Organic Coatings. 2021. T. 154. S. 106–211.
14. Yildirim I. Surface free energy characterization of powders // Dissertation Blacksburg. Virginia. 2001.
15. Morozov S.V., Pavlov N.A., Zenin M.N. Bssledovanie vliyaniya sostva epoksidnogo svyazuyushchego na ego fiziko-mekhanicheskie harakteristiki // Polzunovskij vestnik. 2020. № 1. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.027.
16. Li H., Zhang Z., Ma X., Hu M., Wang X., & Fan P. Synthesis and characterization of epoxy resin modified with nano-SiO₂ and γ -glycidoxypopyltrimethoxy silane // Surface and Coatings Technology. 2007. 201(9-11). 5269–5272. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.07.143.
17. Jaisingh S.J., Selvam V., Kumar M.S.C. & Thyagarajan K. Effect of Silane Functionalization on the Properties of Iron Oxide Nanoparticles/UP Toughened Epoxy Nanocomposites // Advanced Materials Research. 2013. 651. S. 154–158. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.651.154>.
18. Baghdadi Y.N., Youssef L., Bouhadir K., Harb M., Mustapha S., Patra D. & Tehrani-Bagha A.R. Thermal and mechanical properties of epoxy resin reinforced with modified iron oxide nanoparticles. Journal of Applied Polymer Science. 2021. 138 (23). 50533. doi:10.1002/app.50533.
19. Madorsky S.L., Hart V.E., Straus S. Thermal degradation of cellulosic materials // J. Res. Nat. Bur. Stand. 1958. T. 60. S. 343–349.

Информация об авторах:

Валерия Анатольевна Борисова, адъюнкт 3 курса очной формы обучения факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: valery.borisova.01@yandex.ru

Information about the authors:

Valeria A. Borisova, adjunct of the 3rd year of full-time study at the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: valery.borisova.01@yandex.ru

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.12.2021; одобрена после рецензирования: 18.01.2022; принята к публикации: 24.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.12.2021; approved after review: 18.01.2022; accepted for publication: 24.02.2022

УДК 614.846.6

ТРЕБОВАНИЯ К МАКЕТУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ВЫТЕСНЕНИЕМ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ГАЗОПОРШНЕВЫМ СПОСОБОМ

Александр Геннадьевич Шилов[✉].

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

[✉]*e-mail: Shilov@igps.ru*

Аннотация. Представлены требования к макету экспериментальной универсальной установки пожаротушения (макет) с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом, в основу которых легли исследования установок пожаротушения пожарных автомобилей и патентов в этой области. Требования к макету были определены с использованием математических методов геометрического и динамического подобия, благодаря которым установлены допустимые параметры составных элементов конструкции макета. На основе полученных параметров были подобраны материалы и сконструирован макет экспериментальной универсальной установки пожаротушения. Проведены и представлены результаты натурных экспериментов по тушению модельных очагов пожара огнетушащим порошком, на основании которых спрогнозирована продолжительность подачи огнетушащих веществ для успешного тушения модельных очагов пожара. Результаты экспериментальных исследований подтвердили эффективность огнетушащей способности макета экспериментальной универсальной установки пожаротушения и обоснованность теоретических расчетов и требований к макету экспериментальной универсальной установки пожаротушения.

Ключевые слова: универсальная установка пожаротушения, макет, гидродинамические характеристики, эксперимент, огнетушащее вещество, модельный очаг пожара

Для цитирования: Шилов А.Г. Требования к макету экспериментальной универсальной установки пожаротушения с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 171–180.

REQUIREMENTS FOR THE LAYOUT OF AN EXPERIMENTAL UNIVERSAL FIRE EXTINGUISHING INSTALLATION WITH THE DISPLACEMENT OF A FIRE EXTINGUISHING AGENT BY A GAS-PISTON METHOD

Alexander G. Shilov[✉].

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

[✉]*e-mail: Shilov@igps.ru*

Abstract. The article presents the requirements for the layout of an experimental universal fire extinguishing installation (hereinafter referred to as the layout) with the displacement of a fire extinguishing agent by a gas-piston method, which are based on studies of fire extinguishing installations of fire trucks and patents in this field. The requirements for the layout were determined using mathematical methods of geometric and dynamic similarity, thanks to which the permissible parameters of the composite elements of the layout design were established. Based on the obtained parameters, materials were selected and a mock-up of an experimental universal fire extinguishing

system was constructed. The results of field experiments on extinguishing model fires with fire extinguishing powder are carried out and presented, on the basis of which the duration of the supply of fire extinguishing agents for the successful extinguishing of model fires is predicted. The results of experimental studies have confirmed the effectiveness of the fire extinguishing ability of the experimental universal fire extinguishing system layout, the validity of theoretical calculations and requirements for the layout of the experimental universal fire extinguishing system.

Keywords: universal fire extinguishing system, layout, hydrodynamic characteristics, experiment, extinguishing agent, model fire source

For citation: Shilov A.G. Requirements for the layout of an experimental universal fire extinguishing installation with the displacement of a fire extinguishing agent by a gas-piston method // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 1 (61). P. 171–180.

Введение

До сих пор не существует средств, способных обеспечить полную защиту любого объекта от возникновения пожара. В связи с этим совершенствование противопожарной техники общего, целевого и вспомогательного применения остается актуальной задачей.

На протяжении последних лет идет работа по созданию современной пожарной техники, способной обеспечить безопасность любых объектов инфраструктуры города, опасных производственных объектов, морских платформ и судов, железнодорожного транспорта. Таким образом, это требует обеспечения многофункциональности при транспортировке и возможности применения огнетушащих веществ различного вида.

В работе [1] был проведен и представлен сравнительный анализ существующих установок пожаротушения пожарных автомобилей [2–5] с выделением преимущественных характеристик, которые в дальнейшем легли в основу запатентованной конструкции универсальной установки пожаротушения (УУПТ) [6]. На основе проведенного анализа в работе [7] были определены и представлены гидродинамические характеристики УУПТ.

Целью работы является обоснование требований к макету УУПТ с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом.

Для достижения поставленной цели необходимо опытным путем подтвердить теоретические расчеты гидродинамических характеристик УУПТ [7] с использованием макета УУПТ, сконструированного на основе патента [6].

В работе [6] представлена конструкция УУПТ, главными элементами которой являются: силовой агрегат, обеспечивающий автономность работы; огнетушащий газ, используемый для перемещения разделителя сред в сосуде с огнетушащим веществом (ОТВ); стальной сосуд.

При создании макета экспериментальной УУПТ были приняты допущения в виде исключения двигателя внутреннего сгорания и насоса для заполнения сосудов ОТВ и сосудов со сжатым воздухом, необходимых для перемещения поршня внутри сосуда, поскольку определяющий параметр выдачи ОТВ – давление и объем огнетушащего газа в системе вытеснения ОТВ. Также для проведения исследований будет использован всего один модуль макета с каждым видом ОТВ. А благодаря применению геометрического и динамического подобия, были определены требования к размерам сосудов и поршней, диаметрам арматуры обвязки (табл. 1). Для приведения в движение поршня внутри сосуда используется сжатый воздух вместо огнетушащего газа.

Представленные допущения не влияют на оценку эффективности макета УУПТ. Учитывая это, сконструирован макет экспериментальной УУПТ (рис. 1), удовлетворяющий требованиям, представленным в табл. 1, для проведения натурных испытаний. Схема модуля хранения и вытеснения огнетушащих веществ макета экспериментальной УУПТ представлена на рис. 2.

Таблица 1. Требования к техническим характеристикам элементов макета экспериментальной установки и средств измерений

№ п/п	Наименование	Характеристики
1	Сосуд	объем: 0,0035 м ³ ; рабочее давление: 20,60 МПа; толщина стенки: 2,6 мм;
2	Поршень	длина: 65 мм; диаметр: 100 мм; толщина стенки: 10 мм; количество уплотнительных колец: 3
3	Компрессор Panther P15TC (Италия)	ресивер объем: 0,0035 м ³ ; регулируемое давление на выходе: до 1,03 МПа; кратковременная нагрузка: 1 МПа
4	Манометр	класс точности: 2,5; наибольший предел измерения: 1,2 МПа; наименьший предел измерения: 0,05 МПа; цена деления: 0,05 МПа
5	Запорная арматура	диаметр проходного клапана: 10 мм; рабочее давление: 1,6 МПа; максимально давление: 2,6 МПа; пропускная способность: 13,6 м ³ /час
6	Гибкая подводка	рабочее давление: 1 МПа; максимально давление: 2 МПа; диаметр проходного канала: 10 мм



Рис. 1. Макет экспериментальной УУПТ

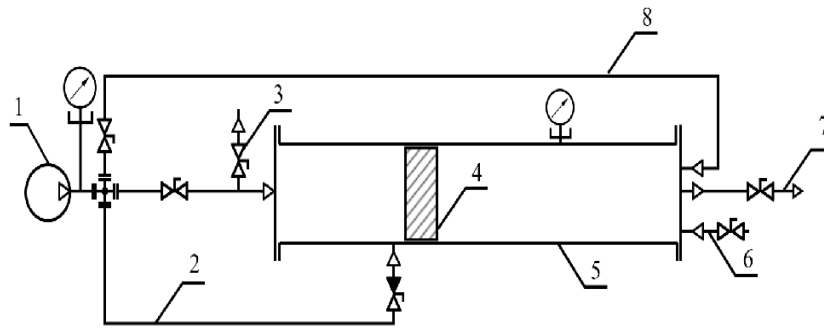


Рис. 2. Схема модуля хранения и вытеснения ОТВ макета экспериментальной УУПТ:
 1 – воздушный компрессор; 2 – линия для аэрации порошка; 3 – линия понижения давления в системе (линия выпуска газа при перемещении разделителя сред в исходное положение);
 4 – разделитель сред в сосуде; 5 – сосуд; 6 – линия заправки ОТВ; 7 – линия выдачи ОТВ;
 8 – линия подачи воздуха для перемещения разделителя сред

Для обеспечения работоспособности макета была принята гидродинамическая модель идеального вытеснения ОТВ из сосудов макета УУПТ по аналогии с работами [8, 9], где значения параметров линейной скорости потока, концентрации вещества на выходе из макета экспериментальной УУПТ равны их значениям в объеме макета. Интерпретация модели идеального вытеснения ОТВ из сосудов макета экспериментальной УУПТ (рис. 1) для прогнозирования гидродинамических характеристик полноразмерных установок представлена на рис. 3.

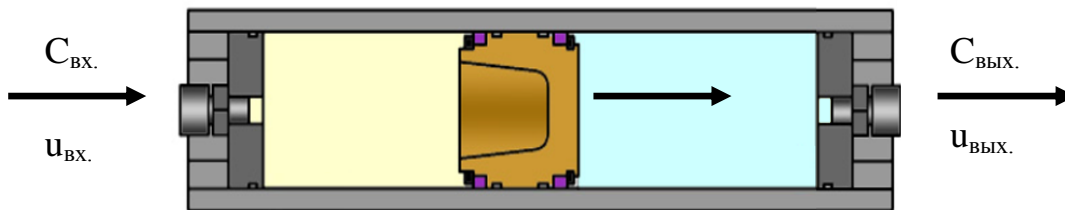


Рис. 3. Интерпретация модели идеального вытеснения ОТВ из сосудов макета экспериментальной УУПТ [8, 9]:

$u_{вх}$, $u_{вых}$ – линейная скорость потока вытесняющего газа на входе и ОТВ на выходе из макета (м/с);
 $C_{вх}$, $C_{вых}$ – концентрация вещества в потоке на входе в макет и выходе ОТВ из него (моль/м³)

Поскольку поршень внутри сосуда перемещается за счет газов, то можно говорить не о концентрации газов, а о давлении, ведь концентрация газов напрямую зависит от него (при повышении давления повышается концентрация газов). В дальнейшем имеет смысл работать именно с давлением газов.

Теоретические положения

Сжатие или расширение газа внутри сосуда макета экспериментальной УУПТ происходит в соответствии с законом Бойля – Мариотта:

$$P_0 \cdot V_0^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n.$$

Диаграмма зависимости «давление – объем» газа внутри сосуда макета экспериментальной УУПТ представлена на рис. 4.

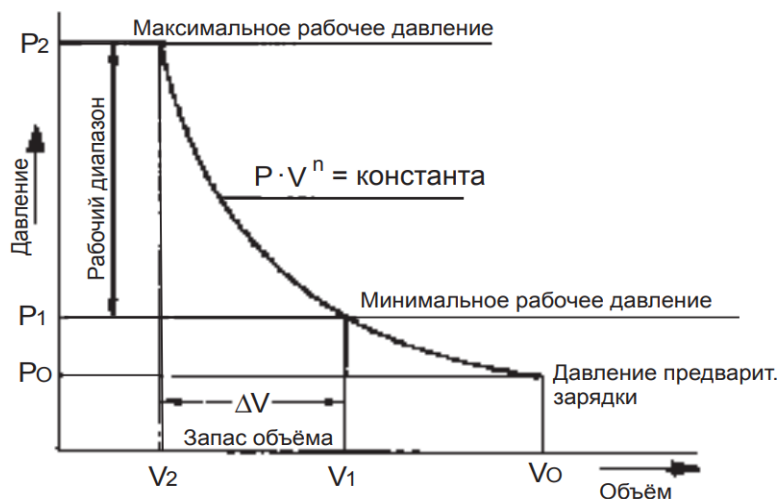


Рис. 4. Диаграмма зависимости «давление – объем» газа внутри сосуда [10]:
 V_0 – объем газа при предварительной зарядке внешних сосудов подачи при давлении P_0 (максимальный объем газа, который может храниться в сосудах и равный или незначительно ниже номинальной емкости сосуда); V_1 – объем газа при давлении P_1 ; V_2 – объем газа при давлении P_2 ; ΔV – запас объема для перемещения поршня; P_0 – давление предварительной зарядки; P_1 – минимальное рабочее давление; P_2 – максимальное рабочее давление;
 n – показатель политропы

Кривая изменения объема как функция давления зависит от показателя политропы n , который для газа находится между двумя величинами [10]:

$n = 1$, если процесс расширения или сжатия газа происходит так медленно, что полный теплообмен между газом и окружающей средой происходит при постоянной температуре, процесс – изотермический;

$n = 1,4$, если процесс протекает так быстро, что теплообмен не происходит, процесс – адиабатический.

Приведенные данные являются теорией. Когда требуется более точный расчет, можно использовать среднее значение n как функции от времени расширения или сжатия t согласно графику (рис. 5).

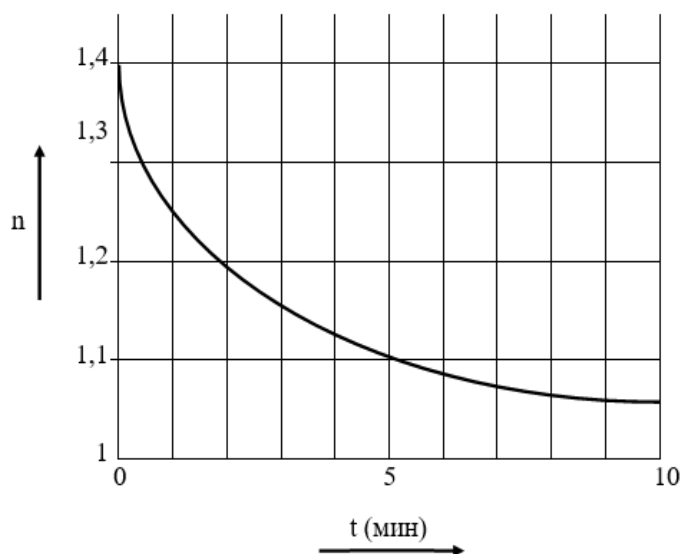


Рис. 5. Зависимость среднего значения n как функции от времени расширения или сжатия t [10]

Экспериментальная часть

Для оценки работоспособности макета экспериментальной УУПТ проведены натурные испытания по тушению модельных очагов пожара (МОП) В13, В21 и В34 огнетушащим порошком «ВЕКСОН®-АВС» ТУ 2149-028-10968286–2014 в соответствии с ГОСТ Р 51057–2001 [11]. Получаемые в ходе эксперимента данные последовательно вносились в заранее подготовленные таблицы. Данные были перенесены и обработаны с помощью специализированных математических программ на персональном компьютере.

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний представлены в табл. 1–3.

Таблица 1. Результаты тушения МОП В13 при массе ОТВ в сосуде 1 кг

Порядковый номер эксперимента	Количество подходов тушения МОП	Продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с	Остаток ОТВ, г	Средняя продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с
1	1	2,3	57	2,45
	2	2,6		
2	1	2,5	43	2,60
	2	2,7		
3	1	2,5	61	2,55
	2	2,6		
4	1	2,4	41	2,45
	2	2,5		
5	1	2,3	53	2,35
	2	2,4		

Таблица 2. Результаты тушения МОП В21 при массе ОТВ в сосуде 2 кг

Порядковый номер эксперимента	Количество подходов тушения МОП	Продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с	Остаток ОТВ, г	Средняя продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с
1	1	3,1	26	3,03
	2	2,9		
	3	3,1		
2	1	3,1	17	3,07
	2	3,2		
	3	2,9		
3	1	3,3	32	3,17
	2	3,0		
	3	3,2		
4	1	2,9	22	3,10
	2	3,3		
	3	3,1		
5	1	3,1	13	3,13
	2	3,2		
	3	3,1		

Таблица 3. Результаты тушения МОП В34 при массе ОТВ в сосуде 3 кг

Порядковый номер эксперимента	Количество подходов тушения МОП	Продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с	Остаток ОТВ, г	Средняя продолжительность подачи ОТВ, необходимого для тушения МОП, с
1	1	5,5	0	5,65
	2	5,8		
2	1	5,1	12	5,27
	2	5,3		
	3	5,4		
3	1	5,8	0	5,90
	2	6,0		
4	1	5,4	13	5,50
	2	5,5		
	3	5,6		
5	1	5,5	11	5,43
	2	5,1		
	3	5,7		

В каждом случае сосуд заполнялся огнетушащим порошком пять раз. При тушении МОП В13 одной заправки сосуда огнетушащим порошком хватало, чтобы дважды затушить данный МОП (табл. 1, столбец 2). Средняя продолжительность подачи ОТВ в очаг пожара составила 2,45 с. Аналогичные испытания проведены на МОП В21 и В34. В случае с МОП В21 каждой заправки сосуда хватало, чтобы затушить очаг трижды (табл. 2, столбец 2). Результаты проведенных испытаний отражены на общем графике (рис. 6).

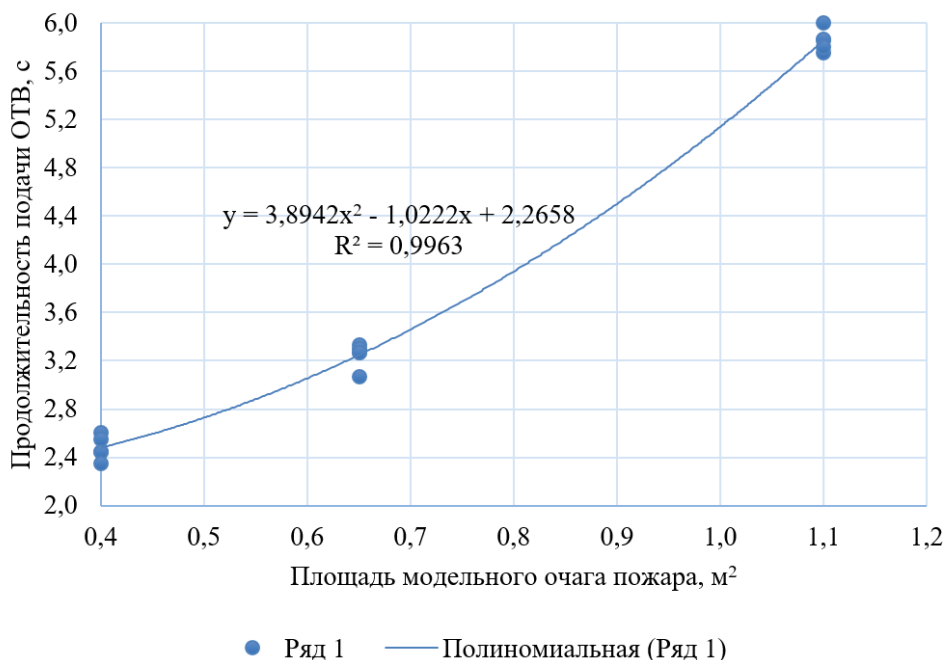


Рис. 6. Продолжительность подачи порошкового ОТВ, необходимого для тушения МОП

Исходя из полученных данных (табл. 1–3), определены возможные значения времени тушения других МОП [11] (рис. 7).

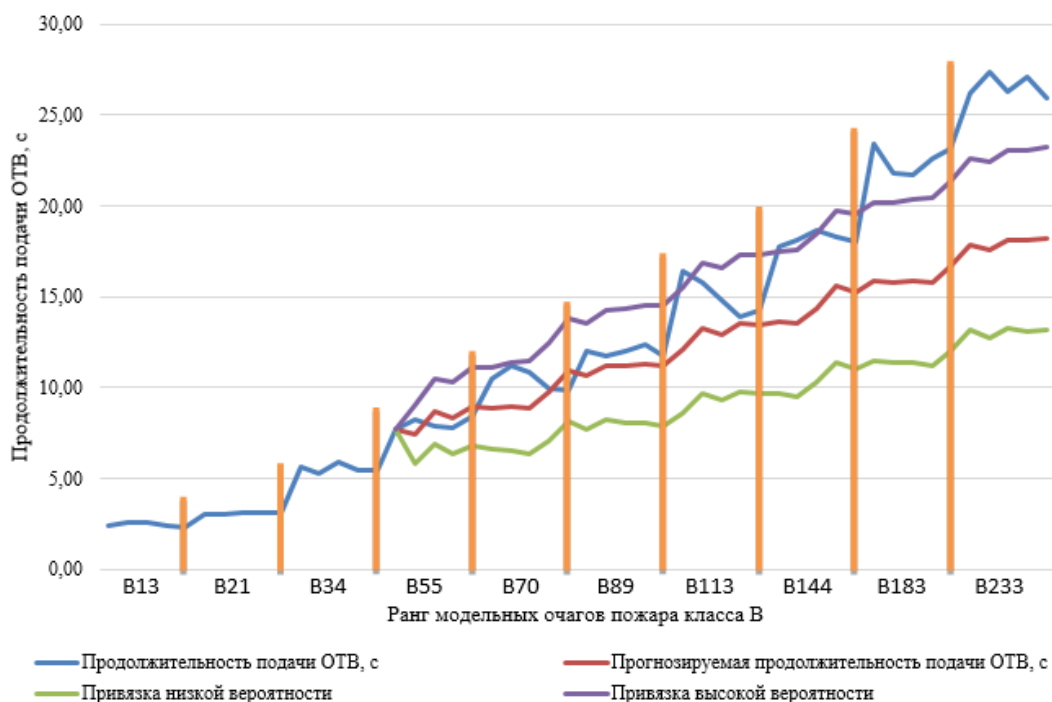


Рис. 7. Прогнозируемая продолжительность подачи ОТВ для успешного тушения МОП

Из данных рис. 7 видно, что продолжительность подачи порошкового ОТВ для успешного тушения МОП согласно ГОСТ Р 51057–2001 больше, чем нужно УУПТ для успешного тушения того же МОП. Расхождения по времени увеличиваются при повышении ранга МОП, начиная с 1 с при тушении МОП В13 и до 10 с при тушении МОП В233. Таким образом, можно сделать вывод об эффективной огнетушащей способности макета экспериментальной УУПТ при тушении МОП, что доказывает точность и достоверность теоретических расчетов и подтверждает обоснованность представленных требований к макету экспериментальной УУПТ.

Выводы

Научная новизна результатов работы заключается в теоретическом и опытным обосновании конструкции макета экспериментальной УУПТ.

1. Предложенная модель идеального вытеснения ОТВ из сосудов макета экспериментальной УУПТ подходит для прогнозирования гидродинамических характеристик полноразмерных установок, что подтверждено результатами, полученными в ходе экспериментов по тушению МОП (рис. 6, 7).

2. Представленный макет экспериментальной УУПТ, разработанный, в том числе, и с учетом полученных гидродинамических характеристик, при проведении экспериментальных исследований показал свою огнетушащую способность по тушению МОП (табл. 1–3).

3. На основании полученных экспериментальных данных по тушению МОП возможно прогнозирование необходимого количества ОТВ для тушения и определения огнетушащей способности УУПТ.

Список источников

1. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Поляков А.С. О показателях результативности мобильных установок пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 37–43.

2. Пожарная техника: учеб. / под ред. М.Д. Безбородько. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2004. 550 с.
3. ГОСТ Р 53328–2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2017. № 2. URL: https://allgosts.ru/13/220/gost_r_53328-2009.pdf (дата обращения: 20.09.2021).
4. Универсальная установка пожаротушения: пат. 158632 Рос. Федерация: МПК А62С13/00 (2006.01) / Крылов Д.А., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. – № 2015107592/12; заявл. 04.03.2015; опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2.
5. Поляков А.С., Крылов Д.А., Сытдыков М.Р. Автомобильная универсальная установка пожаротушения: конструкция и моделирование режимов функционирования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 2 (38). С. 56–63.
6. Универсальная установка пожаротушения: пат. 195837 Рос. Федерация: МПК А62С 13/00 (2006.01) / Кожевин Д.Ф., Поляков А.С., Сытдыков М.Р., Шилов А.Г.; заявитель и патентообладатель Кожевин Д.Ф., Поляков А.С., Сытдыков М.Р., Шилов А.Г. – № 2019130908; заявл. 30.09.2019; опубл. 06.02.2020, Бюл. № 4. 2020, 06.02.2020.
7. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Копкин Е.В. Определение гидродинамических характеристик экспериментальной универсальной установки для тушения пожаров на транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 145–152.
8. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учеб. пособие / Н.В. Ушева [и др.]. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2014. 135 с.
9. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. М.: Высшая школа, 1973. 280 с.
10. Поршневым гидropневмоаккумулятор. URL: <https://gidrostanok.ru/images/docs/O300.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).
11. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200027410> (дата обращения: 20.09.2021).

References

1. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Polyakov A.S. O pokazatelyah rezul'tativnosti mobil'nyh ustanovok pozharotusheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 1 (53). S. 37–43.
2. Pozharnaya tekhnika: ucheb. / pod red. M.D. Bezborod'ko. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2004. 550 s.
3. GOST R 53328–2009. Tekhnika pozharnaya. Osnovnye pozharnye avtomobili. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnaya baza dannyh dokumentov po pozharnej bezopasnosti (EBD NSIS PB). 2017. № 2. URL: https://allgosts.ru/13/220/gost_r_53328-2009.pdf (data obrashcheniya: 20.09.2021).
4. Universal'naya ustanovka pozharotusheniya: pat. 158632 Ros. Federaciya: MPK A62C13/00 (2006.01) / Krylov D.A., Sytdykov M.R., Polyakov A.S. – № 2015107592/12; yayavl. 04.03.2015; opubl. 20.01.2016, Byul. № 2.
5. Polyakov A.S., Krylov D.A., Sytdykov M.R. Avtomobil'naya universal'naya ustanovka pozharotusheniya: konstrukciya i modelirovanie rezhimov funkcionirovaniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2016. № 2 (38). S. 56–63.
6. Universal'naya ustanovka pozharotusheniya: pat. 195837 Ros. Federaciya: MPK A62C 13/00 (2006.01) / Kozhevin D.F., Polyakov A.S., Sytdykov M.R., Shilov A.G.; yayavitel' i patentoobladatel' Kozhevin D.F., Polyakov A.S., Sytdykov M.R., Shilov A.G. – № 2019130908; yayavl. 30.09.2019; opubl. 06.02.2020, Byul. № 4. 2020, 06.02.2020.
7. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Kopkin E.V. Opredelenie gidrodinamicheskikh harakteristik eksperimental'noj universal'noj ustanovki dlya tusheniya pozharov na transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 145–152.

8. Matematicheskoe modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov: ucheb. posobie / N.V. Usheva [i dr.]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo un-ta, 2014. 135 s.
9. Bondar' A.G. Matematicheskoe modelirovanie v himicheskoy tekhnologii. M.: Vysshaya shkola, 1973. 280 s.
10. Porshnevoj gidropnevmoakkumulyator. URL: <https://gidrostanok.ru/images/docs/O300.pdf> (data obrashcheniya: 10.01.2022).
11. GOST R 51057–2001. Tekhnika pozharnaya. Ognetchiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200027410> (data obrashcheniya: 20.09.2021).

Информация об авторах:

Александр Геннадьевич Шилов, начальник отделения информатизации учебного процесса отдела технологий открытого образования Института заочного и дистанционного обучения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: Shilov@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9771-8665>

Information about the authors:

Alexander G. Shilov, head of the department of informatization of the educational process of the department of open education technologies of the Institute of correspondence and distance learning of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: Shilov@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9771-8665>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.02.2022; одобрена после рецензирования: 15.03.2022; принята к публикации: 25.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 18.02.2022; approved after review: 15.03.2022; accepted for publication: 25.03.2022

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-лейтенант внутренней службы, кандидат технических наук, доцент 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, 3 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, Стржевой, 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 более 7 000 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»

К публикации принимаются исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

1. Материалы для публикации представляются в редакцию журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об 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 – *заклучением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя помимо вышеуказанных документов должна сопровождаться *отзывом научного руководителя*;

г) *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**;

д) *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 **15** страниц.

3. Оригинальность статей должна быть **не менее 70 %**.

4. Текст статьи должен быть **обязательно структурирован по разделам**:

Введение

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

Методы исследования

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

Результаты исследования и их обсуждение

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

Заключение

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

Для ОБЗОРНЫХ аналитических статей допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения должны быть подтверждены сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

5. 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: УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов (**не более трех**); место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных

исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

6. 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).

7. 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.

8. Оформление библиографии (списка литературы):

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей – **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей – не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Правила оформления 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. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневых процессов: 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.

9. 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; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>).

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.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 614.8

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

Сергей Петрович Иванов✉.

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

✉spi78@mail.ru

Аннотация. 100–250 слов

Ключевые слова: 3–10 слов

Для цитирования: Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 25–30. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

Sergey P. Ivanov✉. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Saint-Petersburg, Russia

✉spi78@mail.ru

Abstract.

Keywords:

For citation: Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere.* 2022. № 1 (61). P. 25–30.

Введение

Текст, текст, текст

Методы исследования

Текст, текст, текст

Результаты исследования и их обсуждение

Текст, текст, текст

Заключение

Текст, текст, текст

Список источников (не менее 10 источников)

References

Информация об авторах:

Сергей Петрович Иванов – заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Information about the authors:

Sergey P. Ivanov – deputy head of the Research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022;
принята к публикации: 11.02.2022 (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 03.02.2022;
accepted for publication: 11.02.2022

МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал

Проблемы управления рисками в техносфере
№ 1 (61) – 2022

Подписной индекс № 16401 в электронном каталоге ГК «Урал-Пресс»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 31.03.2022. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 24,00 Тираж 1000 экз. Зак. № 83

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149