

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 4 (52) – 2019

Редакционный совет

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

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

Члены редакционного совета:

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

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

доктор технических наук, доцент полковник внутренней службы **Крутолапов Александр Сергеевич**, заместитель начальника института развития по учебно-методической работе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления 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**, заместитель начальника по научной работе Воронежского института – филиала Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России;

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

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

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

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

доктор технических наук **Николич Божо**, профессор Высшей технической школы г. Нови Сад (Республика Сербия);

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

Секретарь совета:

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

Редакционная коллегия

Председатель – подполковник внутренней службы **Стёпкин Сергей Михайлович**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

кандидат технических наук, доцент **Пелех Михаил Теодозиевич**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

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

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

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

кандидат технических наук, доцент **Маловечко Владимир Александрович**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств 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

- Шепелюк С.И., Драпей К.И., Драпей Я.К.** Сохранение устойчивости объектов нефтегазового кластера при защите от возможных атак беспилотных летательных аппаратов вероятного противника 6
- Астанков А.М., Шифф В.К., Скрипка А.В.** Повышение промышленной безопасности эксплуатации роторного оборудования заправочных систем ракетно-космических комплексов 16
- Фомин А.В., Назаров В.П., Артемов А.С.** Методика ранжирования участков линейной части магистральных нефтепродуктопроводов по степени пожарной опасности 22
- Рева Ю.В.** Методы и способы борьбы с контактной коррозией 28
- Седнев В.А., Кошечкина Е.И.** Научно-методический подход оценки степеней разрушения жилых зданий после воздействия обычных средств поражения 32
- Лабинский А.Ю.** К вопросу создания программ для отечественных операционных систем 45
- Михайлова В.И., Скрипник И.Л., Иванов А.В.** Моделирование систем орошения резервуаров нефтепродуктов в условиях применения модифицированных водногелевых составов 51
- Саркисов С.В., Вакуненко В.А., Мусатов В.И.** Применение вакуумной канализации на объектах военной инфраструктуры в Арктическом регионе 60

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Зыбина О.А., Танклевский А.Л., Таранцев А.А.** О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара 67
- Карташова А.П.** Эффекты влияния характера организации наноматериалов на оптические свойства светодиодов 72
- Скрипка А.В., Королев А.А., Лоскутов Н.В.** Мобильные установки импульсного пожаротушения 76
- Богачев Д.Д., Вагин А.В., Брусянин Д.В.** Диагностирование основных неисправностей привода тормозной системы пожарного автомобиля 83

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

- Ударцева О.В.** Технология снижения последствий техногенных аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли 88
- Актерский Ю.Е., Дали Ф.А., Щукина С.А.** Интеллектуальное управление эвакуацией людей при пожаре в здании с массовым пребыванием людей 92
- Коннова Л.А.** Радиационный контроль в системе радиационной безопасности 100
- Андрюшкин А.Ю., Афанасьев Е.О., Кадочникова Е.Н.** Снижение опасности возникновения разрушения стыков труб тепловых сетей 107
- Сапелкин А.И., Балобанов А.А., Щетка В.Ф.** Методы анализа риска аварий в нефтегазовой отрасли 112
- Гавкалюк Б.В., Шаталова Н.В.** Проблемы безопасной транспортировки аммиака автомобильным транспортом 117
- Королева Л.А.** Прогнозирование при управлении пожарным риском на железнодорожном транспорте 123

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

- Принцева М.Ю., Чешко И.Д., Тумановский А.А.** Мониторинг остатков горючих жидкостей (средств поджога) в грунте полевыми методами 129

Гутовский А.В., Булгаков В.И., Турсенев С.А. Влияние формы и толщины воздушной прослойки на интенсивность теплообмена между поверхностями	133
Ивахнюк Г.К., Столяров С.О., Дементьев Ф.А. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол	141

Сведения об авторах	152
Информационная справка	155
Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере»	160

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

СОХРАНЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КЛАСТЕРА ПРИ ЗАЩИТЕ ОТ ВОЗМОЖНЫХ АТАК БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВЕРОЯТНОГО ПРОТИВНИКА

С.И. Шепелюк, кандидат военных наук;

К.И. Драпей;

Я.К. Драпей.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Анализируется проблема защиты объектов нефтегазового кластера от атак беспилотных разведывательно-ударных комплексов вероятного противника, моделируются мероприятия для оперативного принятия решения по противодействию дронам, дается характеристика основных сил и средств противодействия.

Ключевые слова: ударные, разведывательные беспилотники, защита объектов нефтегазового кластера

PRESERVATION OF STABILITY OF OBJECTS OF OIL AND GAS CLUSTER AT PROTECTION FROM POSSIBLE DRONE ATTACKS BY A LIKELY ENEMY

S.I. Shepelyuk; K.I. Drapey; Ya.K. Drapey.

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

Examines the problem of protecting oil and gas facilities from possible attacks of unmanned reconnaissance-strike complexes a potential enemy, the modeled events for operational decision-making to counter the drones, the characteristic of the main forces and means of resistance.

Keywords: shock, reconnaissance drones, protection of oil and gas facilities

В ночь с 13 на 14 сентября 2019 г. два важнейших нефтяных объекта Саудовской Аравии, в том числе и крупнейший нефтеперерабатывающий завод, подверглись уничтожающим атакам беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Результат воздушного вторжения: добыча крупнейшего в мире экспортёра нефти уменьшилась на 5,7 баррелей в сутки, что составило, примерно 50 % от общей добычи нефти саудитов. Один из пострадавших объектов – установка подготовки нефти (очищает нефть от примесей) в Абкайке, которую Saudi Aramco называет «крупнейшим в мире заводом по стабилизации нефти». Установка может перерабатывать до 7 млн т баррелей сырья в сутки. Второй пострадавший объект – месторождение в Хурайсе, запасы которого, по оценкам Aramco, составляют более 20 млрд баррелей нефти. В 2006 г. на установку в Абкайке уже пытались совершить нападение боевики «Аль-Каиды» (организация признана в России террористической).

На фото НАСА (США) виден черный дым пылающих атакованных нефтяных объектов Саудовской Аравии (рис. 1).



Рис. 1. Фото НАСА (США)

Ответственность за нападение взяли на себя повстанцы-хуситы Йемена, воюющего с арабской коалицией, во главе которых Саудовская Аравия.

Как же так случилось, что энергетический источник мощнейшей экономики западного мира, поддерживающий саудитов, в течение кратчайшего отрезка времени был «поставлен на колени»?

По данным источника из Би-би-си, военного обозревателя Джонатана Маркуса, это беспрецедентное нападение демонстрирует то, что даже относительно отсталая экономика хуситов не может помешать их планам подрыва экономических устоев более сильных противников. В ответ на затратные бомбардировки авиацией Саудовской Аравии военных и гражданских объектов хуситы противопоставили дешевый, но, как оказалось, очень эффективный прием: атака дешевыми дронами с взрывчатой начинкой. Это, возможно, дрон «Qatef-1» и (или) относительно новые и более эффективные «UAV-X» с дальностью боевого применения до 700 и 1 500 км соответственно (рис. 2).



Рис. 2. Вероятный «обидчик» саудитов. Беспилотник UAV-X

Многие страны занимаются разработкой БПЛА, продают их всем, способным оплатить счет поставки дронов. Это США, страны европейского сообщества, Китай, Израиль, Россия и др. БПЛА стали технической обыденностью современности. Они используются для доставки грузов, лекарств и т.д. В последние годы БПЛА стали активно развивающимся направлением авиационной военной техники как в странах Запада, так и в нашей стране. Отсутствие экипажа, а значит и сложных систем жизнеобеспечения на борту, дает возможность БПЛА увеличивать дальность и длительность полета и полезную нагрузку. Появление беспилотных аппаратов является общей тенденцией роботизации в вооруженных силах разных стран. БПЛА также становятся средством борьбы с международным терроризмом, что достаточно сильно меняет традиционные методы ведения войны. Рассмотрим теперь более подробно методы противодействия БПЛА. Под беспилотниками обычно понимают большие аппараты с ракетным вооружением. Однако даже самодельный дрон, собранный из находящихся в свободной продаже комплектующих, вполне может эффективно использоваться в качестве оружия. Следует отметить, что в некоторых случаях атака небольшого беспилотного аппарата с воздуха гораздо эффективнее любых других способов нападения. Малые размеры позволяют оставаться незаметным, а эффект неожиданности делает атаку дрона, начиненного, например, пластидом и металлическими шариками, разрушительной. В данном случае традиционные меры безопасности совершенно бесполезны. БПЛА (БЛА, или в зарубежной литературе – «дроны») стали частью нашей жизни сравнительно недавно.

Кроме указанных стран широко используют в разведывательных и ударных действиях БПЛА ополченцы Донбасса, карательные подразделения украинской армии, моджахеды и боевики в Афганистане и Сирии. Они есть на вооружении Хамас и Хезбола.

Для нанесения эффективных поражающих ударов необязательно использовать специальную боевую беспилотную авиацию. Умело переделанные образцы гражданских версий БПЛА при решении боевых задач диверсионно-разведывательными группами (ДРГ) на территории противника не менее эффективны.

Возникает острая проблема надежного прикрытия и защиты важнейшего нерва любой экономики – ее энергетического комплекса.

Одной из определяющих характеристик устойчивости объектов нефтегазового кластера является понятие уязвимости объекта как степень вероятного поражения объекта при воздействии разнообразных средств поражения противника.

Степень уязвимости объекта нефтегазового кластера (НГК) определяется его размещением, сложностью технологического функционирования, конструкционной прочностью, надежностью маскировки и степени защищенности, а также применяемых по нему средств поражения. Одним из таких средств поражения являются ударные БПЛА.

Моделирование оргмероприятий по противодействию применения противником ударных БПЛА по объектам нефтегазового кластера

Выполняя задачи по обеспечению безопасности НГК, важно учитывать следующие моменты: нужно предварительно смоделировать модель угроз и соответствующую модель надежной защиты. Организуя модель защиты нефтегазового кластера от БПЛА, важно уточнить и обеспечить защиту не всей гигантской структуры (это невозможно и экономически невыгодно), а основных критических элементов кластера. Во-вторых, принять к сведению и противостоять не всем, а исключительно наиболее опасным угрозам. В-третьих, доподлинно знать и учитывать тактико-технические характеристики БПЛА, имеющиеся на вооружении вероятного противника, и его потенциальную возможность по наращиванию беспилотных ударных сил. Следующий важный этап после определения модели угроз – непосредственная организационная работа по выработке надежной и целесообразной модели защиты.

Как же организовать и смоделировать защиту нефтегазового кластера? Первой задачей является задача обнаружения угрозы боевого применения БПЛА противника. Выявляются места и районы базирования, опасное перемещение средств поражения и доставки,

подозрительная активность ДРГ противника, его разведовательных сил и средств, приобретение и закупка необходимого оборудования, подготовка соответствующих специалистов и т.д. Следующей важной составляющей является задача отражения атаки БПЛА. Но этого будет недостаточно, если не будет организована ликвидация источника угрозы. Вышеперечисленные задачи выполняются с помощью соответствующих технических средств проведением сложных организационных мероприятий с привлечением отлично подготовленных силовых подразделений.

Охраняемые объекты НГК отличаются друг от друга по следующим параметрам и характеристикам:

- наличием беспроводных коммуникаций;
- плотностью застройки;
- занимаемой площадью;
- степенью пожаровзрывоопасности;
- количеством и рассредоточенностью сырья, основных производственных фондов;
- степенью защищенности;
- рельефом местности;
- формой объекта;
- высотой зданий и сооружений;
- климатическими особенностями местности.

При организации защиты и обороны НГК необходимо также учесть слабые и наиболее уязвимые направления.

При оценке обстановки для принятия решения по организации защиты от дронов необходимо:

- должным образом оценить возможный уровень угрозы применения противником разведовательных и ударных БПЛА (разведанные о наличии разведовательных и ударных дронов, их тактико-технические характеристики и возможность их приобретения и использования);

- оценить свои возможности по противодействию налетам БПЛА противника (построение обороны, ее эшелонирование, вероятные направления действий вражеской авиации и БПЛА противника, состав собственных сил и средств защиты, обученность, слаженность и опыт личного состава);

- оценить силы и средства противодействия БПЛА противника (возможности противовоздушной обороны (ПВО), противоракетной обороны (ПРО) и сил и средств радиоэлектронной борьбы Вооруженных сил Российской Федерации (РЭБ ВС РФ) района оперативного прикрытия);

- определить места установки устройств их количество для соответствующего обнаружения и подавления БПЛА противника;

- оценить совместимость системы и ее место в эшелонированной защите;

- определить и оценить районы затемнения и уровень зашумления эфира.

В решении по защите НГК должен быть указан алгоритм действий по противодействию БПЛА противника по различным сценариям складывающейся боевой обстановки. Решение оформляется в письменной форме с приложением графического изображения построения сил и средств защиты на карте и соответствующих графиках.

Решение утверждается руководителем предприятия НГК после согласования с соответствующими командирами сил и средств ПВО, ПРО и РЭБ.

Учитывая важность НГК страны в создании экономической мощи и оборонительной составляющей, авторы считают необходимым и целесообразным: при разработке планов по предупреждению и ликвидации последствий аварий вследствие чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера разрабатывать планы противодействия террористическим, диверсионным и военным действиям как приложение к основному плану.

Противник, предвидя наши защитные действия, попытается прорвать оборону НГК, нарушив систему обнаружения и противодействия, в том числе, попытается ввести в заблуждение по поводу своих истинных целей и намерений. В этой ситуации важно организовать построение обороны в несколько эшелонов и на достаточную ширину по фронту и в глубину. Необходимо предусмотреть все возможные негативные сценарии защиты. Защита от атак БПЛА должна быть частью общего построения сил и средств противодействия противнику, включая построение сил ПВО (противоракетной и противокосмической обороны). На рис. 3 представлена модель определения вероятных угроз и структурная модель мер защиты НГК от БПЛА.



Рис. 3

Данная модель позволяет автоматизировать систему принятия решений по организации защиты от БПЛА, их атак с различных направлений и эшелонов по высоте.

Существующие в Российской Федерации тактика, силы и средства ПВО и специальные технические средства противодействия БПЛА противника

БПЛА в настоящее время широко применяются не только на бытовом уровне, но и для решения важнейших хозяйственных и военных вопросов (рис. 4). Естественно, что развитие беспилотных систем стало своеобразным вызовом, требующим необходимого ответа. Продолжилось извечное диалектическое противостояние меча и щита. Для надежной защиты от противника, имеющего на вооружении БПЛА различного назначения, требуются такие же современные средства, способные обнаруживать существующую угрозу и устранять ее. Вот почему в Российской Федерации при создании новейших средств защиты должное внимание уделяется противодействию БПЛА.

В предыдущем разделе, давая оценку модели защиты, авторы определили первостепенную важность вопроса обнаружения вражеских дронов с последующим уничтожением. Для выполнения такой задачи могут использоваться как существующие системы ПВО, усовершенствованные и доработанные соответствующим образом, так и современные комплексы. К примеру, производимые в нашей стране комплексы ПВО последних моделей обладают возможностью отслеживания и огневого применения в отношении БПЛА и авиации противника: не только самолетов или вертолетов, но и беспилотных аппаратов. Автоматизированные системы сами определяют все

характеристики и тип летательного аппарата и выдают команду огневым средствам на поражение.

В состав современных зенитных комплексов практически всех типов входят радиолокационные станции (РЛС) обнаружения с различными характеристиками. Важная характеристика при обнаружении любого летательного аппарата – эффективная площадь рассеивания (ЭПР). Чем меньше БПЛА, тем труднее обнаружить цель из-за меньшей площади рассеивания. Между создателями БПЛА и конструкторами систем их обнаружения также прослеживается напряженное противостояние. Цель создателей ударных БПЛА – уменьшить ЭПР за счет уменьшения конструкции, применения поглощающих особенностей конструктивных элементов и красок. Конструкторы ПВО разрабатывают свои способы и приемы эффективного обнаружения (создание мнимых барьеров на пути продвижения к цели БПЛА с целью изменения направления полета и изменения эффективной площади рассеивания) и т.д.



**Рис. 4. General Atomics MQ-1 Predator – один из самых известных БПЛА современности.
Фото. Wikimedia Commons**

Современные отечественные и зарубежные зенитно-ракетные комплексы (ЗРК) и другие системы ПВО обладают способностью борьбы не только с крупными целями, но и с беспилотниками.

Обнаружив и опознав такую воздушную цель, как вражеский БПЛА, командир обязан принять правильное решение на проведение атаки, выбрав соответствующий вид огневого поражения.

После успешного обнаружения и опознавания вражеской техники комплекс ПВО должен выполнять атаку для ее уничтожения. Для этого следует использовать вооружение, соответствующее типу обнаруженной цели. К примеру, крупные БПЛА разведывательного или ударного назначения, находящиеся на большой высоте, следует поражать при помощи зенитных ракет. В случае с маловысотными и низкоскоростными аппаратами легкого класса имеет смысл использовать ствольное вооружение с соответствующими боеприпасами. В частности, большой потенциал в деле борьбы с БПЛА имеют артиллерийские системы с управляемым дистанционным подрывом.

Важно учитывать одну из особенностей БПЛА, а именно отношение полезной нагрузки и возможности по эффективной дальности полета. Эта зависимость имеет обратную пропорциональность: чем больше полезная нагрузка, тем меньше дальность полета. Это одно из уязвимых моментов в использовании дронов. Небольшие дроны не могут нести на себе серьезное ударное оружие, хотя и обладают сравнительно меньшей заметностью. Их противник будет использовать на небольших высотах и расстояниях в основном

с разведывательной целью. Современные ударные БПЛА, вооруженные эффективным высокоточным оружием, имеют достаточно большой радиус боевого применения, но и большую ЭПР, что улучшает возможности противостоящей ПВО.

С учетом вышесказанного, чтобы противостоять атакам одиночных или многочисленных БПЛА, работающих на разных высотах с различной скоростью полета, необходимо при построении ПВО применять систему эшелонирования. Средства воздушного поражения противника, обладающие различными техническими параметрами, способны прикрывать НГК как от легких, так и от тяжелых БПЛА и от применяемого ими вооружения.

На вооружении ВС РФ и стран-союзников по договору о коллективной безопасности имеется ЗРК «Панцирь-С1» (рис. 5, 6). Это в своем роде уникальный комплекс, состоящий из ракетного и пушечного вооружения, способного быстро, в автоматическом режиме, без команды человека обнаружить, определять и уничтожать цель. Способствует этому РЛС раннего обнаружения 1РС1-1Е. Фазированная решетка антенны способна обеспечивать обзор на 360 градусов по ширине и 180 градусов по высоте. После обнаружения цели в действие приводится станция сопровождения цели 1РС2-Е. Пуск ракеты не оставляет противнику никаких шансов. «Панцирь» имеет на вооружении оптико-электронную станцию, также способную обнаружить, распознать и сопровождать воздушную цель. Дальность обнаружения цели – до 80 км, особо мелкие цели площадью два квадратных метра – 36 км, если ЭПР еще меньше – несколько километров.



Рис. 5. ЗРПК «Панцирь-С1»



Рис. 6. Вооружение комплекса «Панцирь-С1». В центре РЛС сопровождения, по бокам от нее 30-мм пушки и контейнеры (пустые) управляемых ракет

Тактико-технические возможности «Панциря» дают возможность выявлять и сопровождать цели различной ЭПР, позволяющие расчетам определять наиболее эффективный способ поражения. Большие цели уничтожаются ракетой 57Э6 на расстоянии 20 км и по высоте до 18 км. Ракета летит со скоростью 1 км/сек. Более мелкие цели уничтожаются с помощью входящих в комплект «Панциря» пары двустольных зенитных автоматов 2А38. Эффективная дальность применения 4 км.

Тем не менее в настоящее время предлагается не только совершенствовать существующие системы, но и создавать совершенно новые, в том числе основанные на необычных для Вооруженных сил принципах работы (рис. 7).

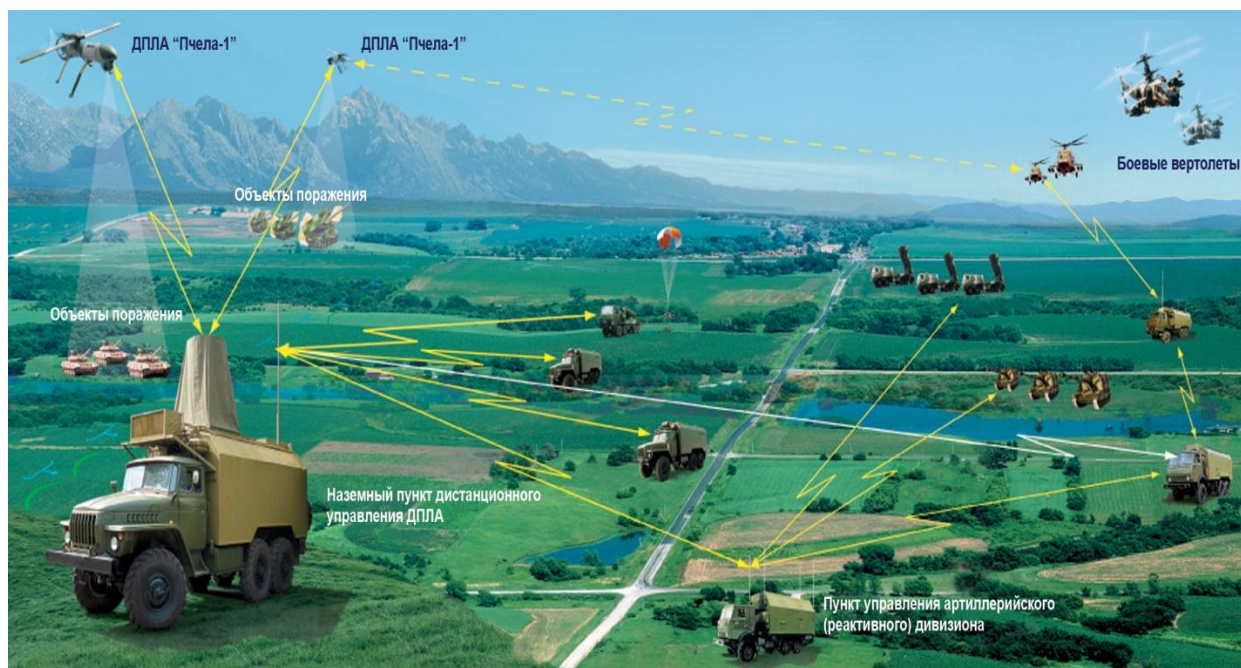


Рис. 7. Принципиальная схема боевого применения российского БПЛА «Пчела-1»

Инженерам-создателям средств ПВО, РЭБ и других комплексов необходимо учитывать при проектировании возникшие угрозы со стороны вражеских БПЛА. Службы безопасности НГК, в связи с массовым применением дронов, стали разрабатывать новые технологии противодействия им.

Методы и способы нейтрализации беспилотников:

- акустические;
- лазерные;
- микроволновые;
- сети;
- противодроны;
- системы РЭБ;
- системы перехвата управления БПЛА (рис. 8, 9).

У большинства БПЛА есть конструктивный недостаток, который можно использовать при их нейтрализации – гироскоп. С его помощью беспилотник ориентируется в воздушном пространстве. Устройство его основано на принципе действия резонансной частоты. Подобрал из широкого используемого в дронах диапазона частот, нужную частоту, выводим БПЛА из нормального режима управления, а, следовательно, возможна его авария. Гироскопы имеют различное устройство, а это значит, что у них отличаются резонансные частоты. Часть из них выходят из строя при акустическом сигнале мощностью 140 дБ в течении 10 с на расстоянии около 30 м [1].

В США и Российской Федерации находятся на заключительной стадии испытания боевой лазерной системы, противодействующей атакам дронов и других низколетящих целей. Система в американской версии носит аббревиатуру LWS (Laser Weapon System), представляет из себя универсальную мобильную систему лазерной защиты. Устройство эффективно на расстояниях до 30 км с радиусом поражения до полутора километров. Работая в инфракрасном диапазоне, уничтожает сенсоры БПЛА. Его энергетическая мощность в 30 кВт достаточна для уничтожения за считанные секунды вражеского дрона [2].

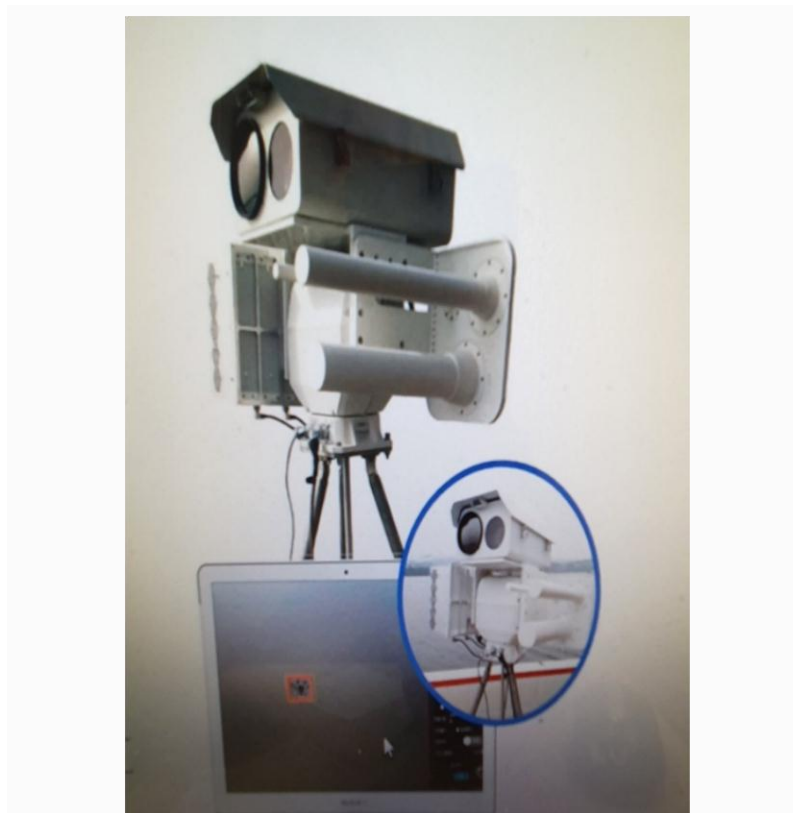


Рис. 8. Комплекс оптического распознавания и направленного прерывания сигнала управления дронами «стопдрон-импульс» производства Российской Федерации

В тактике применения БПЛА небольших размеров используется принцип атаки «волчья стая». Средствам ПВО противостоят десятки целей, часть из которых ложные. Для противостояния такого рода атак наиболее эффективным является микроволновая система: с помощью наведенных токов уничтожают целые стаи дронов, при этом нет необходимости перенаправлять фокус излучателя на каждый дрон в «стае». Данная технология давно апробирована для уничтожения БПЛА и стоит на вооружении в большинстве армий.

При использовании систем противодействия дронам, связанных с их разрушением или уничтожением в воздухе, вероятно, возможность, что боевая нагрузка при падении нанесет ущерб объектам НГК. В этом случае наиболее эффективным средством являются сети. Применяются, как правило, на небольших высотах с помощью устройства, которое «выстреливает» сеть навстречу приближающимся дронам либо переносятся «противодронами». Британская фирма Open Works Engineering изготовила систему SkyWall 100. Устройство в виде «умного гранатомета», который выстреливает в сторону дрона сеть. Применяется на расстояниях – до 100 м. Дальше оружие захватывает цель, сопровождая ее, помогает оператору навести устройство на цель. Сеть с захваченным дроном опускается на парашюте [2]. На вооружении стоит и другая система SkyWall 200, которая требует установку на специальной треноге и SkyWall 300 – дистанционно управляемая стационарная турель.

Применение дронов-перехватчиков, реагирующих на работу двигателя дронов противника или визуально идентифицирующих вражеские БПЛА, эффективно при применении приема захвата сетью или разрушении его с помощью оружия, находящегося на борту автоматического наведения [3].

При применении средств РЭБ сначала определяются частоты, на которых происходит управление дроном, а затем устанавливается система помех на данной частоте. Аналогично управление выводится из строя и на запасных частотах. БПЛА не только теряет управление, но и не может нанести удар по объекту и передать разведывательную информацию. Чтобы БПЛА не воспользовался автономной навигационной системой, дающей возможность выполнения задания в автоматическом режиме, средства РЭБ подавляют и систему навигации, «заглушив» все эти сигналы РЭБ полностью: дрон ослеплен и обезврежен. Стоит выделить возрастающий спектр средств мобильных РЭБ, которые порой называют «кибервинтовками». И, несмотря на простоту и относительную дешевизну по сравнению со станциями РЭБ, у них есть весьма существенный недостаток – они используют возможность передачи сигналов на частоте канала управления беспилотника. Так можно вывести из строя лишь некоторые модели дронов, а не любой существующий аппарат. Автономным беспилотникам, не получающим какой-либо сигнал извне, такая система не угрожает.

Системы перехвата управления БПЛА обычно дополняют системы РЭБ или являются самостоятельными комплексами, развернутыми на определенных областях города.

Чтобы взломать системы управления БПЛА необходимо:

1. Произвести взлом зашифрованного канала.
2. Заменить данные авторизации, получив в результате доступ к системе управления БПЛА.
3. Использовать несовершенство программного обеспечения, в том числе переполнение буфера.
4. Использовать интерфейсы и каналы данных оригинального программного обеспечения для «протаскивания» стороннего кода.



Рис. 9. Интегрированный комплекс защиты от беспилотников «стоп-дрон», производство Российской Федерации

Подводя итог применяемым методам и способам противодействия, можно дать достаточно высокую оценку существующей в России возможности противостоять дронам. Стоит выделить мобильные РЭБ «Автобаза» и «Красуха», которые уже несколько лет успешно используются в военной сфере. Существующие разработки позволяют создавать зоны, недоступные для современных управляемых дронов, используя системы подавления и перехвата вокруг них, но существует опасность развертывания устройства непосредственно в самой зоне [4]. Однако все еще остро стоит вопрос в области защиты граждан в связи с массовым распространением дронов, которые часто применяют для съемки больших групп людей во время мероприятий. Поэтому вопрос об отслеживании БПЛА и контроле разрешенной для них деятельности на сегодняшний момент остается одним из самых актуальных.

Литература

1. Дроны: Еще один способ сбивать дроны – акустический удар! URL: <http://www.mforum.ru/news/article/113554.htm> (дата обращения: 21.06.2019).
2. The Army's Real-Life «Phaser» Would Knock Out an Entire Drone Swarm With One Shot // POPULAR MECHANICS. URL: <http://www.popularmechanics.com/military/weapons/a23881/the-army-is-testing-a-real-life-phaser-weapo...> (дата обращения: 21.06.2019).
3. Атакующие БПЛА и системы противодействия им, обзор // Habr. URL: <http://savepearlharbor.com/?m=201506&paged=339> (дата обращения: 21.11.2019).
4. Результаты конференции «Индустрия беспилотных авиационных систем». URL: http://www.helirussia.ru/ru/dlya_smi/press_relizyi/2016/05/31/uas_conference_results/339 (дата обращения: 10.06.2019).

ПОВЫШЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

А.М. Астанков;

В.К. Шифф, кандидат физико-математических наук.

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

А.В. Скрипка, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Предложена методика оценки диагностирования эксплуатационных дефектов роторного оборудования заправочных систем по параметрам вибрации, позволяющая повысить безопасность эксплуатации подготовки ракет космического назначения на стартовом комплексе.

Ключевые слова: жесткость шарикоподшипникового узла, роторное оборудование, эксплуатационные дефекты

IMPROVING INDUSTRIAL SAFETY OF OPERATION OF ROTOR EQUIPMENT FOR REFUELING SYSTEMS OF ROCKET AND SPACE COMPLEXES

A.M. Astankov; V.K. Schiff. Alexander Mozhaisky military space academy.

A.V. Skripka. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

A technique is proposed for assessing the diagnosis of operational defects of rotary equipment of refueling systems by vibration parameters, which allows to increase the safety of exploitation of the preparation of space rockets at the launch complex.

Keywords: ball bearing unit stiffness, rotary equipment, operational defects

Одним из факторов успешной подготовки ракеты космического назначения на стартовом комплексе является обеспечение требуемого уровня безопасности эксплуатации технологического оборудования. Критичным в этом смысле является роторное оборудование (РО) заправочных систем (ЗС) ракетно-космических комплексов (РКК), введенное в эксплуатацию во второй половине XX в. и уже работающего за пределами назначенных показателей ресурса. В связи с эксплуатацией РО ЗС РКК за пределами назначенных показателей ресурса увеличивается частота отказов оборудования. Указанные обстоятельства могут привести как к задержке, так и к отмене пуска ракеты-носителя и, соответственно, к невыполнению поставленной задачи.

Статистические данные, полученные в ходе эксплуатации, свидетельствуют о возможности внезапного изменения условий перехода РО ЗС РКК на критический режим работы и создания предпосылок к аварии в результате ошибок сборки при проведении технического обслуживания и ремонта. С учетом особенностей динамики нагружения подшипниковых опор РО ЗС РКК опасными в этом смысле являются такие эксплуатационные дефекты шарикоподшипников, как перекос колец, несоосность валов и отсутствие ресурсной смазки. Именно такие дефекты существенно влияют на упругие свойства подшипниковых опор и, как следствие, могут привести к аварии.

Наиболее опасным видом такого дефекта является деформация (перекос) колец радиально-упорного подшипника. Штатные средства визуально-измерительного контроля не позволяют обнаружить в ряде случаев такие дефекты с требуемой точностью.

Жесткость шарикоподшипникового узла – важнейшая качественная и количественная характеристика. При увеличении радиальной силы радиальная жесткость радиальных шарикоподшипников увеличивается, при этом радиальная жесткость радиально-упорных шарикоподшипников уменьшается [1]. Таким образом, начальная радиальная жесткость радиально-упорного шарикоподшипника зависит от осевой нагрузки (предварительного натяга), влияющей на радиальный и осевой зазоры. То есть радиальная жесткость подшипника зависит от осевой и радиальной нагрузок.

Под упругой деформацией шарикоподшипника подразумевается смещение одного кольца относительно другого под действием внешней нагрузки (к упругой деформации не относят смещения, возникающие при выборке осевого или радиального зазора). При этом установление связи между внешней нагрузкой и упругими смещениями колец сложная задача, так как шарикоподшипник представляет собой статически неопределимую систему.

Рассмотрим ротор на двух одинаковых радиально-упорных подшипниках с предварительным осевым натягом. На каждый из подшипников действуют радиальная нагрузка и нагрузка предварительного осевого натяга. Внутренние кольца подшипников насажены на ротор (подвижная посадка), а наружные в корпус (неподвижная посадка). При решении задачи не учитывается влияние смазочной пленки, центробежных сил и гироскопических моментов.

Сначала методом малого параметра оценим осевые натяги δ_a^* в опорах под действием одинаковых осевых нагрузок F_a^* .

При небольших частотах вращения, пренебрегая влиянием центробежных сил и гироскопических моментов, совпадают линии давлений шарика с дорожками качения наружного и внутреннего колец, поэтому будут одинаковыми и углы контакта α_H и α_B .

Согласно контактной теории Герца-Беляева зависимость общей деформации i -го шарика и колец от усилия P_i в зоне контакта шарика с кольцами:

$$P_i = C_\delta \delta_i^{3/2},$$

где $C_\delta = \frac{D_w^{1/2}}{(C_H + C_B)^{3/2}}$ и $C_{H(B)}$ – параметры, характеризующие геометрические и физико-механические свойства наружного (внутреннего) кольца подшипника. Значения этих параметров приведены в работе [1].

В ненагруженном состоянии номинальный угол контакта при выбранном зазоре определяется по формуле:

$$\cos \alpha_0 = 1 - \frac{e}{2r_m},$$

где e – зазор, устанавливаемый в подшипнике после посадки с натягом внутреннего кольца на вал или наружного кольца в корпус (монтажный радиальный зазор); $r_m = r_H + r_B - D_w$ – расстояние между центрами дорожек качения колец.

На рис. 1 показана схема контакта шарика после приложения осевой нагрузки. Предполагая, что наружное кольцо неподвижно, тогда внутреннее кольцо под действием приложенной к нему нагрузки F_a^* переместится на δ_a^* . В этом случае центр кривизны дорожки качения M_B внутреннего кольца переместится в положение M'_B . Это осевое смещение будет составляющей нормального смещения за счет упругих деформаций в зонах контакта вдоль линии давления. Также увеличится и первоначальное расстояние между центрами кривизны дорожек качения (r_m) на величину $\delta_a^* = \delta_H + \delta_B$, где $\delta_{H(B)}$ – сближение шариков и наружного (внутреннего) кольца.

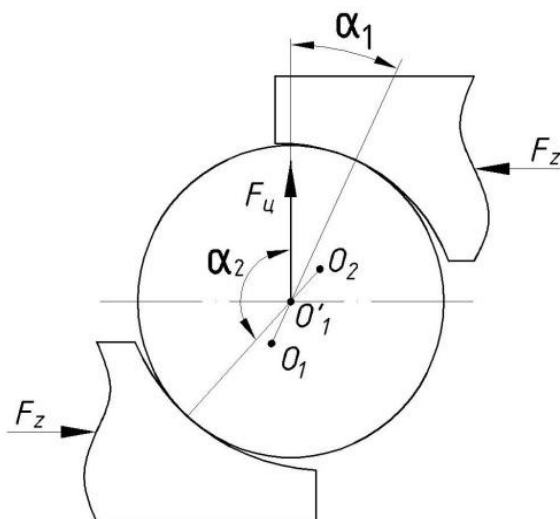


Рис. 1. Схема контакта шарика с дорожками качения колец радиально-упорного подшипника после приложения осевой нагрузки

Полагая, что нагрузка F_a^* равномерно распределена между шариками, получим для нагрузки, действующей на шарик:

$$P_i = \frac{F_a^*}{Z \sin \alpha}.$$

Из геометрических соотношений для рабочего угла контакта α можно записать (рис. 1):

$$\sin \alpha = \frac{\sin \alpha_0 + \xi_a^*}{\sqrt{\cos^2 \alpha_0 + (\sin \alpha_0 + \xi_a^*)^2}}, \quad (1)$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos \alpha_0}{\sqrt{\cos^2 \alpha_0 + (\sin \alpha_0 + \xi_a^*)^2}},$$

где α – рабочий угол контакта.

Согласно работе [1] зависимость между осевой нагрузкой F_a^* и безразмерным осевым смещением ξ_a^* представим в виде:

$$F_a^* = C^* \left[\sqrt{\cos^2 \alpha_0 + (\sin \alpha_0 + \xi_a^*)^2} - 1 \right]^{3/2} \frac{\sin \alpha_0 + \xi_a^*}{\sqrt{\cos^2 \alpha_0 + (\sin \alpha_0 + \xi_a^*)^2}}, \quad (2)$$

где ξ_a^* будем измерять в единицах $\zeta D_w = r_H + r_B$; $r_{H(B)}$ – радиус дорожки качения наружного (внутреннего) кольца и D_w – диаметр шарика.

Введя в равенство (2) выражения (1), получим:

$$F_a^* = C^* \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} - 1 \right)^{3/2} \sin \alpha, \quad (3)$$

где $C^* = \left(\frac{\zeta}{C_H + C_B} \right)^{3.2} Z D_w^2$ и Z – число шариков в подшипнике.

Так как из равенства (1) получить зависимость от осевого смещения ζ_a^* в явной форме не представляется возможным, также как и из равенства (3) нет возможности получить зависимость от рабочего угла контакта α , то используется метод малого параметра.

Заменив в равенстве (3) $\alpha = \alpha_0 + x$, где x – подлежащий определению неизвестный малый параметр. Разложение выражения (3) по параметру x невозможно, так как радиус сходимости равен нулю. Поэтому выражение (3) необходимо преобразовать, разделив на C^* и возведя в степень 3/2:

$$\left[\frac{\cos \alpha_0}{\cos(\alpha_0 + x)} - 1 \right] \sin^{2/3}(\alpha_0 + x) - \left(\frac{F_a^*}{C^*} \right)^{2/3} = 0. \quad (4)$$

Разложение выражения (4) в степенной ряд $\sum_{l=0}^n a_l x^l \approx 0$ представляется возможным только при $\alpha_0 \neq 0$. Ограничимся тремя первыми членами разложения:

$$a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \approx 0,$$

$$\text{где } a_0 = -\left(\frac{F_a^*}{C^*} \right); a_1 = \sin^{2/3} \alpha_0 \operatorname{tg} \alpha_0; a_2 = \frac{1}{2} \sin^{2/3} \alpha_0 \left(\sec^2 \alpha_0 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0 + \frac{4}{3} \right).$$

Решение полученного квадратного уравнения представляет приближенную оценку рабочего угла контакта:

$$x \approx \frac{3}{2} \frac{\sin 2\alpha_0}{6 + \cos^2 \alpha_0} \left[\sqrt{1 + \frac{2}{3} \frac{6 + \cos^2 \alpha_0}{\sin^2 \alpha_0} \left(\frac{F_a^*}{C^* \sin \alpha_0} \right)^{2/3}} - 1 \right]. \quad (5)$$

Используя выражение (5) для рабочего угла контакта $\alpha = \alpha_0 + x$, получим оценку осевого смещения ξ_a^* , которую в дальнейшем используем при решении системы уравнений равновесия ротора методом малых параметров.

При условии, что внешний момент, приложенный к ротору, будет равен нулю, уравнения равновесия ротора при комбинированной нагрузке запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} F_a^{(1)} - F_a^{(2)} &= F_a; \\ F_r^{(1)} + F_r^{(2)} &= F_r; \\ M_1^* - M_2^* &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $F_a^{(j)}, F_r^{(j)}, M_j^*$ – соответственно осевая, радиальная нагрузки и момент, действующие на j опору ($j=1,2$).

Угол перекоса θ внутреннего кольца подшипника относительно наружного связан с безразмерным параметром $\bar{\theta}$ следующей зависимостью:

$$\bar{\theta} = \frac{\theta T_B}{2\zeta D_w},$$

где $T_B = d_1 + 2r_B$; d_1 – диаметр дорожки качения (без учета радиального зазора) внутреннего кольца.

Безразмерные компоненты сближений ξ_{aj} и ξ_{rj} i -го шарика j -го подшипника связаны с безразмерными компонентами смещений ξ_a и ξ_r центра ротора и параметрами $\bar{\theta}$ и θ^* следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} \xi_{aj} &= \xi_a^* + (-1)^{j+1} (\xi_a + \bar{\theta} \cos i\gamma); \\ \xi_{rj} &= [\xi_r + (-1)^j] \theta^* \cos i\gamma \quad (j=1, 2), \end{aligned}$$

где

$\theta^* = \frac{\theta l}{2\zeta D_w}$; l – расстояние между опорами; ξ_a^* – безразмерная компонента осевого смещения в результате предварительного осевого натяга.

Разложив уравнения равновесия ротора (6) в тройные ряды по малым величинам $\xi_a, \xi_r, \bar{\theta}$ до второго порядка малости, получим систему приближенных уравнений:

$$\begin{aligned} a_{10} + a_{11}\xi_a + b_{13}\xi_r\bar{\theta} &= 0; \\ a_{20} + b_{21}\xi_r + c_{23}\xi_a\bar{\theta} &= 0; \\ c_{31}\bar{\theta} + a_{33}\xi_a\xi_r &= 0, \end{aligned}$$

которую решим методом последовательных приближений. При этом $\xi_{a(-1)} = \xi_{r(-1)} = 0$; $k=0,1,\dots$.

Компоненты смещения центра ротора и угол перекося определим с помощью соотношений:

$$\delta_a = \zeta D_w \xi_a; \delta_r = \zeta D_w \xi_r; \theta = 2 \frac{\zeta D_w \bar{\theta}}{T_B}.$$

Если пренебречь деформациями крышек корпусов подшипниковых узлов, то упругие осевые смещения внутренних колец по отношению к наружным будут одинаковыми и равными осевому смещению центра ротора.

Нагрузку P_i , действующую на i шарик, находим по формуле:

$$P_i = \frac{C^*}{Z} \left\{ \sqrt{\left[\cos \alpha_0 + (\xi_r + (-1)^j \theta^*) \cos i\gamma \right]^2 + \left[\sin \alpha_0 + \xi_a^* + (-1)^{j+1} (\xi_a + \bar{\theta} \cos i\gamma) \right]^2} - 1 \right\}^{3j}.$$

Рассмотрим реализацию математической модели на примере радиально-упорного шарикоподшипника типа 7203СР. Параметры данного подшипника представлены в табл. 1 [2].

Таблица 1. Параметры подшипника типа 7203СР

r_H	r_B	$D_1/2$	G_H	G_B	γ_{np} , мин	D_w , см	D , см	d , см	d_m , см	α_0 , град	n	C_B , (см ² /кГс) ^{2/3}	C_H , (см ² /кГс) ^{2/3}
0,37	0,37	1,44	1,75	1,10	8'	0,71	4,0	1,7	2,85	26	0	0,455	0,464

Результаты расчета подшипника типа 7203СР представлены в табл. 2:

– осевое смещение $\delta_a^* = 5,11$ мкм и осевая жесткость $C_a = 9,636E + 4$ кгс/см при чисто осевой нагрузке $F_a^* = 13$ кгс;

– при комбинированной нагрузке на подшипник $F_a^* = 7$ кгс и $F_r = 50$ кгс получены оценки радиальной жесткости $C_r = 9,387E + 4$ кгс/см и соответственно осевое и радиальное смещения $\delta_a = 0,748$; $\delta_r = 2,90$ мкм.

Таблица 2. Результаты расчета подшипника типа 7203СР

i – номер шарика	α_i – рабочий угол контакта	δ_i , мкм	P_i , кгс (нагрузка на i шарик)
1	27°01'28''	5,23	11,507
2	27°05'20''	4,74	9,916
3	27°15'31''	3,45	6,149
4	27°28'18''	1,85	2,421
5	27°38'43''	0,56	0,406
6	27°42'45''	0,07	0,018
7	27°38'43''	0,56	0,406
8	27°28'16''	1,85	2,421
9	27°15'31''	3,45	6,149
10	27°05'20''	4,74	9,916

Эксплуатационные дефекты радиально-упорных шарикоподшипников (перекос колец, несоосность валов и отсутствие ресурсной смазки) вызывают дополнительную нагрузку и, как следствие, являются причиной дополнительных колебаний (вибраций) в подшипниковом узле.

Проведенное исследование механических свойств радиально-упорного шарикоподшипника типа 7203СР позволило описать взаимосвязь между внешней нагрузкой и упругими смещениями колец. Описанная взаимосвязь является составной частью разрабатываемой методики диагностирования эксплуатационных дефектов РО ЗС по параметрам вибрации. В отличие от существующих данная методика будет применяться в целях повышения безопасности эксплуатации РКК, так как выявление эксплуатационных дефектов позволит обеспечивать требуемый уровень безопасности эксплуатации РО ЗС РКК.

Литература

1. Ковалев М.П., Народецкий М.З. Расчет высокоточных шарикоподшипников. М.: Машиностроение, 1975. 280 с.

2. Астанков А.М., Шифф В.К., Вагин А.В. Снижение риска эксплуатационных отказов роторного оборудования объектов наземной космической инфраструктуры на основе повышения точности прогнозных оценок // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 10–20.

МЕТОДИКА РАНЖИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ ПО СТЕПЕНИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

**А.В. Фомин, кандидат технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**В.П. Назаров, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

А.С. Артемов.

Академия ГПС МЧС России

В целях совершенствования мероприятий в области пожарной безопасности на объектах нефтегазового сектора проведен анализ пожаров и аварий на линейной части магистральных нефтепроводов одного из нефтегазовых регионов страны. Результаты анализа определили направления дальнейшего совершенствования мероприятий в области пожарной безопасности линейной части магистральных нефтепроводов.

Ключевые слова: пожарная безопасность, риск-ориентированный подход, магистральный нефтепровод

METHOD OF RANKING LINEAR PART SECTIONS OF MAIN PIPELINES BY THE DEGREE OF FIRE HAZARD

A.V. Fomin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

V.P. Nazarov; A.S. Artyomov. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

In order to improve fire safety measures at oil and gas sector facilities, an analysis of fires and accidents on the linear part of oil trunk pipelines in one of the oil and gas regions of the country was carried out. The results of the analysis determined the directions for further improvement of measures in the field of fire safety of the linear part of the main oil pipelines.

Keywords: fire safety, risk-based approach, main oil pipeline

Нефтегазовый сектор является базовым для экономики России [1]. Высокая роль нефтегазового сектора в экономике страны требует систематического анализа состояния пожарной безопасности объектов этой отрасли и оценки эффективности реализуемых мер в области пожарной безопасности. Республика Башкортостан в настоящее время остается одним из крупнейших нефтехимических регионов страны. На рис. 1 видно, что республика находится на пересечении основных магистральных трубопроводов.



Рис. 1. Магистральные трубопроводы в России [2]

Значительная часть трубопроводного транспорта в республике расположена кольцом, объединяющим нефтедобывающие районы и нефтеперерабатывающие предприятия Башкортостана. С северо-востока на запад и юго-запад проложено большое количество нефтепроводов большого диаметра, причем зачастую они проходят в непосредственной близости от населенных пунктов (табл. 1).

Анализ имевших место инцидентов с пожарами на линейной части магистральных нефтепроводов (МН) [3] позволяет выделить закономерности возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров:

- нарушение герметичности нефтепродуктопровода приводит к выходу горючей жидкости под давлением, размывание грунта и разлив на поверхности;
- пары нефтепродукта воспламеняются или создают взрывопожароопасную зону;
- опасные факторы пожара воздействуют на расположенные вблизи объекты;
- с увеличением количества вытекающей горючей жидкости растет и площадь пожара, увеличивается зона воздействия его опасных факторов.

**Таблица 1. Примеры расположения линейной части МН
в непосредственной близости к населенным пунктам**

Магистральный трубопровод, диаметр	Населенный пункт, расстояние от оси МН до границ населенного пункта (численность населения)	Вид прокладки трубопровода
МН «Туймазы – Омск – Новосибирск-2», 700 мм	д. Топоринка Благоварского района, Республика Башкортостан, 0,3 км (313 чел.)	Подземный, глубина 0,8 м до поверхности трубы
МН «Усть-Балык – Курган – Уфа – Альметьевск», 1220 мм	д. Кашкалакши, муниципального района Благоварский район Республика Башкортостан, 0,1 км (750 чел.)	Подземный, глубина 1,1 м до поверхности трубы

Возможной причиной выхода жидкой фазы из оборудования является потеря его герметичности в результате: внешнего воздействия, брака при строительных работах, дефекта материала, коррозии металла, движения грунта, ошибки оператора. Снижению несущей способности нефтепродуктопроводов способствует их длительная эксплуатация – более 30 лет.

По информации о последних авариях на линейной части МН в Республике Башкортостан (уроки, извлеченные из аварий), можно судить, что аварии имели в основном локальный характер и не привели к воспламенению горючей жидкости и дальнейшему пожару (табл. 2).

**Таблица 2. Аварии на МН
в Республике Башкортостан**

Время и место аварии	Описание аварии	Причина аварии	Ущерб от аварии
27 июля 2017 г. в 12:50 ПАО АНК «Башнефть»	Разгерметизация напорного нефтепровода ДНС «Метели» – ДНС «Кунганак» с выбросом нефти и попаданием в реку	Разгерметизация напорного нефтепровода вследствие возникновения коррозии из-за несоответствующей подготовки транспортируемой нефти требованиям проекта. Недостаточный объем диагностических обследований нефтепровода. Недостаточный контроль со стороны эксплуатирующей организации за соблюдением норм промышленной безопасности	Экономический ущерб 51 494 000 руб. Экологический ущерб 4 072 000 руб.
19 января 2018 г. Система трубопроводов Ахтинского месторождения	Разгерметизация трубопровода ДНС «Ахта» – УПС «Чермасан» с попаданием в ручей Кудушлинка	Внутренняя язвенная электрохимическая коррозия (толщина стенки трубы 8 мм, размер сквозного выхода – 17 ммх8 мм), вызванная воздействием агрессивной перекачиваемой среды на незащищенную внутренним полимерным покрытием стенку трубопровода. Не проведена предпусковая внутритрубная диагностика трубопровода	Экономический ущерб 3 936 000 руб. Экологический ущерб 290 000 руб.

Однако авария, произошедшая в Республике Башкортостан в 1989 г. по причине утечки из магистрального трубопровода нефтепродукта, показывает, что аварии на объектах трубопроводного транспорта нефтегазовой отрасли могут иметь катастрофический характер. Тогда, в момент встречи двух пассажирских поездов № 211 «Новосибирск–Адлер» и № 212 «Адлер–Новосибирск» произошел мощный объемный взрыв, погибло более 500 и травмировано более 600 человек, возникший пожар охватил территорию в 250 га. Причиной катастрофы стала утечка сжиженной газобензиновой смеси из продуктопровода «Западная Сибирь – Урал – Поволжье» диаметром 720 мм [4]. Основными поражающими факторами пожара явились: пламя, тепловой поток и высокая температура окружающей среды.

Система обеспечения пожарной безопасности линейной части МН должна включать в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности [5] (табл. 3). В отношении линейной части магистральных нефтепродуктопроводов требования пожарной безопасности к нефтепродуктопроводам диаметром до 500 мм включительно и давлением 2,5 МПа, прокладываемым на территории населенных пунктов, содержатся в Своде правил [6]. Свод правил [7] распространяется на магистральные трубопроводы, диаметром до 1 400 мм, с избыточным давлением среды свыше 1,2 до 10 МПа.

Таблица 3. Требования пожарной безопасности, предъявляемые к линейной части МН

Система предотвращения пожара	Система противопожарной защиты	Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности
<ul style="list-style-type: none"> – требования к конструктивным решениям, обеспечивающим надежность и безаварийность трубопровода; – требования к способу прокладки трубопровода; – требования к охраняемым зонам; – требования к выбору трассы трубопроводов; – требования к радиусам изгибов; – требования к прокладке через естественные и искусственные препятствия; – требования к системам обнаружения утечки нефтепродукта, контроля герметичности оборудования и давления в трубе; – требования, исключающие возможность растекания аварийного пролива; – требования к конструктивному исполнению запорной арматуры; – требования к прочности и устойчивости трубопровода: материалу труб, сварным швам, толщине стенки, соединительным деталям, испытаниям, диагностированию, защите от коррозии 	<ul style="list-style-type: none"> – требования к минимальным допустимым расстояниям до различных объектов; – требования к устройству защитных сооружений; – требования к предельно допустимым (суммарным) объемам транспортирования нефтепродуктов в пределах одного технического коридора; – требования к диаметрам трубопроводов; – требования к порядку размещения МН в пределах населенных пунктов и вне населенных пунктов; – требования к устройству систем оповещения и связи; – требования к огнестойкости зданий, сооружений, входящих в состав трубопровода; – требования к типу, необходимому количеству и размещению пожарной охраны; – требования к взаимному расположению МН и минимальным расстояниям между ними; – требования к проездам к трубопроводам 	<ul style="list-style-type: none"> – требования к технической и эксплуатационной документации; – требования к организации обучения работающих на МН; – требования к проведению ремонтных и регламентных работ; – требования к размещению знаков, обозначающих трубопровод; – требования, регламентирующие действия персонала при возникновении аварии или пожара; – требования к организации технологических работ; – требования к контролю прокладки трубопровода

Магистральные трубопроводы и их участки в соответствии со Сводом правил [7] делятся на пять категорий: В, I, II, III, IV, в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации и вероятными последствиями при нарушении герметичности. Высокая категория трубопровода подразумевает большую интенсивность контроля сварных швов и испытаний, меньший коэффициент условий работы трубопровода.

Наряду с этим категорированием, в зависимости от рабочего давления, различают два класса магистральных газопроводов:

I класс – рабочее давление 2,5 МПа – 10,0 МПа;

II класс – рабочее давление 1,2 МПа – 2,5 МПа.

Магистральные нефтепроводы и нефтепродуктопроводы, в зависимости от диаметра, делятся на четыре класса:

I класс – диаметр 1 000 мм – 1 200 мм;

II класс – диаметр 500 мм – 1 000 мм;

III класс – свыше 300 мм до 500 мм включительно;

IV класс – 300 мм и менее.

Класс магистрального трубопровода влияет на выбор безопасного расстояния от оси трубопровода до соседних объектов при проектировании.

Методы ранжирования, применяемые в отношении линейных участков магистральных трубопроводов, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Ранжирование, применяемое в отношении магистральных трубопроводов

Вид ранжирования	Назначение	Уровни	Критерии, показатели, параметры
Категория магистрального трубопровода	Проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов	В, I–IV	Коэффициент условий работы трубопровода при расчете его на прочность, устойчивость и деформативность
Класс магистрального газопровода	Проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов	1–2 класс	Рабочее давление в трубопроводе
Класс магистрального нефтепровода	Проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов	1–4 класс	Диаметр трубопровода
Класс магистрального нефтепродуктопровода	Проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов	2–4 класс	Диаметр трубопровода

Таким образом, проведенный анализ показал:

– основной причиной пожаров на линейной части магистральных нефтепродуктопроводов является утечка нефтепродукта из трубопровода;

– даже при подземной прокладке нефтепродукт оказывается на поверхности и хаотично растекается в районе прорыва трубопровода;

– аварии на магистральных нефтепродуктопроводах происходят нечасто, имеют в основном локальный характер, однако при воспламенении пожар может иметь катастрофические последствия;

– существующая система обеспечения пожарной безопасности линейной части МН и система классификации и категорирования линейных участков магистральных трубопроводов не учитывает степень их пожарной опасности и не предусматривает выполнение противопожарных мероприятий на наиболее опасных участках.

В целях совершенствования требований пожарной безопасности линейной части магистральных трубопроводов предлагается методика категорирования участков линейной части МН на основе оценки пожарного риска (табл. 5), прототипом которой может послужить методика риск-ориентированного пожарного надзора [8].

Таблица 5. Предлагаемое категорирование участков линейной части МН на основе оценки пожарного риска

Вид ранжирования	Назначение	Уровни	Критерии, показатели, параметры
Категория пожарного риска линейного участка магистрального трубопровода	Обоснование необходимости проведения дополнительных мер защиты и инженерно-технических мероприятий на участках с высоким пожарным риском. Дифференциация требований по противопожарной защите и пожарной охране объектов, например установление ранга пожара для высылки сил и средств	Несколько уровней от чрезвычайно опасного до неопасного	Степень пожарного риска

Предлагаемая методика (рис. 2) позволит разбить линейную часть магистрального нефтепродуктопровода на отдельные участки, выявить оценкой пожарного риска наиболее опасные участки, разработать и применить дополнительные меры, предупреждающие пожары, а также ограничивающие воздействие опасных факторов пожара на расположенные в опасной зоне объекты.



Рис. 2. Структурная схема методики категорирования участков линейной части МН на основе оценки пожарного риска

Основной целью предлагаемой методики категорирования линейных участков магистральных трубопроводов является обоснование применения на наиболее опасных участках дополнительных мер обеспечения пожарной безопасности (табл. 6).

Произведен анализ пожарной опасности линейной части магистральных нефтепродуктопроводов на примере Республики Башкортостан, а также системы обеспечения пожарной безопасности и существующей системы категорирования магистральных трубопроводов.

Таблица 6. **Дополнительные меры обеспечения пожарной безопасности**

Система предотвращения пожара	Система противопожарной защиты	Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности
– установка дополнительной автоматической запорной арматуры; – устройство систем обнаружения пожара; – устройство визуального контроля за опасными участками	– устройство систем оповещения и управления эвакуацией; – дополнительные требования к содержанию охранной зоны: уборка сгораемого мусора, деревьев, растительности; – устройство защитных сооружений, исключающих возможность хаотичного растекания аварийного пролива	– разработка планов тушения пожаров; – установление повышенных рангов тушения пожара на наиболее опасных участках

Результаты проведенного анализа позволили предложить мероприятия, направленные на повышение их пожарной безопасности, а именно: предлагается методика категорирования участков линейной части МН на основе оценки пожарного риска в целях обоснования и применения дополнительных мер обеспечения пожарной безопасности на наиболее опасных участках.

Литература

1. Нефтяной сектор экономики России: основные тенденции / Ю.Н. Бобылев [и др.]. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2016. 68 с.
2. Транснефть. URL: <https://www.transneft.ru/pipelines/> (дата обращения: 07.08.2019 г.).
3. Назаров В.П., Атаманов Т.Н. Оценка уровня пожарной безопасности объектов экономики вблизи магистральных нефтепроводов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2015. № 1.
4. История одной катастрофы // Газета «Коммерсантъ». 1995. № 126.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. 28 июля. № 30 (Ч. 1). Ст. 3579.
6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Фомин А.В., Шахманов Ф.Ф. Методика категорирования автомобильных газозаправочных станций по уровню пожарного риска // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 3. С. 130–134.

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КОНТАКТНОЙ КОРРОЗИЕЙ

**Ю.В. Рева, кандидат военных наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Статья посвящена рассмотрению вопросов, связанных с конструкцией и применением погружных электрических машин в морской среде на буровых установках и платформах.

Изложены основные способы и методы борьбы с контактной коррозией, причины ее вызывающие.

Ключевые слова: погружные электрические машины, погружные электрические двигатели, гальванические пары, скорость коррозии, контактная коррозия

METHODS AND METHODS OF CONTACT CORROSION CONTROL

Yu.V. Reva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is devoted to the consideration of issues related to the design and application of submersible electric machines in the marine environment on drilling rigs and platforms. The article describes the main ways and methods of dealing with contact corrosion, its causes.

Keywords: submersible electric machines, submersible electric motors, galvanic pairs, corrosion rate, contact corrosion

При создании техники для морской среды, в частности электрических машин (ЭМ) для глубоководных подводных аппаратов (ГПА), для определения их высокой надежности, работоспособности и продолжительности службы необходимо иметь данные по коррозионной стойкости конструкционных материалов в океанических и морских условиях. При изготовлении ЭМ используются различные конструкционные материалы, сплавы, которые находятся в механическом контакте, и при погружении их в морскую воду будут происходить электрохимические процессы на активных частях, где каждый металл будет играть роль электрода: анод будет растворяться в морской воде, а катод сохранять свое исходное состояние.

Данный вид коррозии получил название контактной коррозии. Она является в электрических машинах самой опасной.

Возникает этот вид коррозии главным образом при соприкосновении двух и более металлов и сплавов в соответствующей электролитической среде, какой является морская вода.

Контактная коррозия происходит при условии:

- наличия электролита, то есть морской воды;
- электрического контакта между различными металлами;
- наличия разности потенциалов между разными металлами.

В контактной паре металл или сплав с более высоким электродным потенциалом будет являться катодом, с более низким потенциалом – анодом [1].

Необходимо отметить характерные свойства титана и его сплавов – одного из распространенных конструкционных металлов и сплавов, применяемых на ГПА, в том числе в ЭМ, используемых в качестве погружных. По коррозионной стойкости титан и его сплавы значительно выше многих конструкционных металлов, приведенных выше, он стоек в окислительных средах, щелочных растворах, в том числе морской воде. Он полностью пассивируется и приближается к благородным металлам. Однако если титан будет работать при электрическом контакте с другим любым металлом, например сталью, медью, нержавеющей сталью и другими в окислительной среде или морской воде, то он, переходя из анодного состояния в катодное, будет проявлять сильные катодные свойства и по катодному ряду выходит на первое место среди нержавеющей сталей.

Другим характерным металлом является хром, который находится рядом в электрохимической цепи, а при контакте в паре другим металлом в морской и кислой жидкой среде переходит в катодное состояние. Так, высоколегированные хромистые стали переходят в пассивное состояние при содержании хрома до 12 % в кислых средах и в морской воде. При этом электродный потенциал облагораживается, то есть переходит в катодное состояние и коррозия снижается. При дальнейшем увеличении хрома способность стали усиливается. Введение никеля в нержавеющие хромистые стали улучшает их механические свойства.

Наряду с отмеченными металлами характерным материалом является графит (С), который по своим свойствам аналогичен некоторым металлам с катодными свойствами, и поэтому графит включают в некоторые электрохимические ряды, он может вызвать коррозию некоторых металлов и сплавов, его используют как смазку в виде композитных составляющих во вкладышах подшипников из металлокерамики, металлографита и в кольцах торцевых уплотнений.

Стационарные электродные потенциалы в морской воде увеличиваются в ряду $Mn - Al - Zn - Fe - Cd - Pb - Ni - Cu - Cr - Ti - Ag$. Поэтому при контактировании каждый последующий металл с предыдущим усиливает его коррозию. Чем больше металлы удалены друг от друга в указанном ряду, тем больше контактная коррозия. Так, например, в морской воде стационарный потенциал дюралюмина (сплав системы $Al - Cu$) более отрицательный, чем у меди, никеля, стали, олова, свинца, железа, но более положительный, чем у кадмия, алюминия и цинка. Контактная коррозия дюралюмина в морской воде в соответствии с этим усиливается при контакте с медью, никелем, нержавеющей сталью, железом, оловом и свинцом. Коррозия дюралюмина при контакте с кадмием, алюминием и цинком уменьшается.

В настоящее время изучены различные методы и способы борьбы с контактной коррозией, учитывающие особенности не только самого металла, но и условий его эксплуатации. Все используемые в практике меры можно квалифицировать по характеру их воздействия на три основных фактора, определяющих протекание коррозионного процесса: металл, коррозионную среду и особенности конструкции изделия. Применительно к данным условиям, то есть электрическим машинам открытого исполнения, все активные части которых омываются морской водой, из всех известных методов и способов необходимо выделить следующие:

1. Стремиться изготавливать основные детали ЭМ из одного материала.
2. При комбинациях материалов деталей необходимо выбирать их близкими друг другу в электрохимическом ряду.
3. Избегать комбинаций, когда маленький анод находится в контакте с большим катодом, а также изготовления критических элементов из более инертных материалов.
4. Стремиться к увеличению толщины менее инертного материала компонента и увеличению площади анода.
5. Защищать различными антикоррозийными покрытиями (лакокрасочные покрытия, покрытия полимерами).
6. Пассивировать материалы, то есть снижать электродный потенциал металла методом создания тонкой пленки окислов на поверхности металлов с целью исключения образования гальванической пары между контактирующими деталями ЭМ, тем самым уменьшая контактную коррозию.

На большие глубины погружения более 500 м корпус подводного аппарата изготавливается из титана и его сплавов, соответственно корпуса забортных механизмов и их приводов ЭМ также должны быть изготовлены из этих материалов для исключения контактной коррозии. Так как в конструкцию ЭМ входит электротехническая сталь, медь и другие и их электродный потенциал при контакте с титаном будет значительно ниже, то они будут нести анодные свойства и подвергаться окислению и сильной коррозии. Для приостановления коррозии активных частей ЭМ необходимо снизить электродный потенциал титана способом пассивации. Осуществляется это следующим образом. Изготавливают в окончательной обработке с посадочными размерами корпус, вал, подшипниковые щиты, крепежные детали и после пассивируют их, то есть производят химическую и электрохимическую обработку в соответствующем растворителе. Технология пассивации титана и его сплавов отработана ЦНИИ КМ «Прометей» (Санкт-Петербург).

7. Оксидировать – преднамеренно окислять поверхностный слой металлов. Образующиеся в результате оксидирования оксидные пленки предохраняют изделия от коррозии, а также служат в качестве электроизоляции.

8. Применять протекторный метод электрохимической защиты металлов.

В настоящее время для защиты металлических морских стационарных сооружений, таких как буровые платформы, а также корпусов судов от контактной коррозии используют протекторы. Они представляют собой специальные аноды, которые изготавливаются из металла или сплава, который имеет более отрицательный электродный потенциал, чем металл защищаемого объекта или сооружения. На защищаемой поверхности данные анодные протекторы крепят так, чтобы образовался надежный электрический контакт. Сталь в получаемой гальванической паре становится катодом. Поляризовать сталь протектор должен до такого потенциала, при котором коррозия будет ничтожно малой или совсем отсутствовать.

В качестве материалов для протекторов в морских условиях применяют цинк, алюминий, магний и их сплавы, в общем случае протекторы могут быть изготовлены из любого металла или сплава с электродным потенциалом ниже, чем защищаемая деталь. При проектировании, расчете и окончательном выборе металлов активных частей ЭМ, а также материалов для сплавов протекторов необходимо учитывать глубину погружения ГПА. Известно, что с увеличением глубины погружения химическая активность морской воды существенно повышается, в связи с этим повышается скорость коррозии металлов и сплавов, находящихся в контакте между собой и входящих в конструкцию изделия, в частности в рассматриваемых ЭМ [2].

Экспериментальные исследования, проведенные в тропической зоне Атлантического океана при температуре воды 20 °С в течение 15 сут на контактных парах углеродистая сталь+латунь Л-63 (анод, катод), углеродистая сталь+медь М-1 (анод, катод), углеродистая сталь+нержавеющая сталь Х18Н10Т (анод, катод), углеродистая сталь+алюминиево-магниевый сплав АМ-3М (катод, анод), показали по глубине океана рост скорости коррозии материалов контактирующих пар, который достигает предела 1,5–2 раза на глубине 5 000 м. Разрушение анода из углеродистой стали при контакте с латунью несколько больше, чем с медью, и примерно в 1,5 раза превосходит его при сопряжении с нержавеющей сталью. Учитывая, что анод был из одинакового материала, наиболее эффективным катодом в океанических условиях следует считать латунь, несколько уступает ей медь, затем идет нержавеющая сталь. Существенно меньше, примерно на порядок, разрушается углеродистая сталь при соединении с алюминиевым сплавом, являющимся в этом случае протектором [3].

Скорость коррозии углеродистой стали в контактных парах с медью и латунью после 500 м и до 5 000 м увеличивается с глубиной погружения, достигая значений в 1,5–2 раза, превышающих таковую в поверхностном слое. Коррозия углеродистой стали, находящейся в контакте с нержавеющей, по глубине океана изменяется менее значительно, чем в предыдущем случае, и возрастает на глубине 5 000 м в 1,2 раза, чем на поверхностном горизонте, до 10 м. На самой стали Х18Н10Т коррозионных разрушений нет. Скорость коррозии углеродистой стали в контакте с алюминиевым сплавом до 500 м отсутствует, а с 500 м и до 5 000 м имеет тенденцию к незначительному увеличению, а коррозия протекторного материала (АМ-3М), наоборот, несколько снижается.

Эти результаты необходимо учитывать при проектировании ЭМ открытого исполнения коэффициентом скорости коррозии материалов от глубины погружения $\mu_{пк}$ по формуле:

$$П = \mu_{пк} * \frac{K}{\delta} * 10^{-3}, \quad (1)$$

где $\mu_{пк} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент роста скорости коррозии металлов и сплавов от глубины погружения в морскую воду; K – потери массы, г/м² год; δ – плотность металла, г/см³.

1,2 – до 500 м;

1,5 – до 5000 м и более.

Таким образом, по результатам исследований можно заключить, что, используя в качестве протектора алюминиевый сплав в гальванических парах с латунью, медью, углеродистой и нержавеющей сталью, будет приостановлена контактная коррозия этих металлов, которые будут нести катодные свойства, и будет происходить разрушение

протектора АМ-3М, так как электродный потенциал в электрохимическом ряду алюминия и магния значительно ниже, чем у латуни, меди, железа и нержавеющей стали. Расход же протектора указанных контактирующих пар разный и определяется разностью потенциалов между металлами, этот расход необходимо учесть в зависимости от глубины погружения по формуле (1). Использование в сплавах алюминия, магния, цинка для протекторов является самым эффективным методом борьбы с контактной коррозией [4].

Литература

1. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктике: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В.А. Акимова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009.
2. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и создание комплексных аварийно-спасательных центров в Арктике: материалы Междунар. науч.-практ. конф. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012.
3. Молчанов В.П., Соколов Ю.И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011.
4. Управление информации МЧС России. Арктика: под звездой МЧС // Спасатель. М.: ФГБУ «Объединенная редакция МЧС России», 2012. Вып. № 34 (371).

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ СТЕПЕНЕЙ РАЗРУШЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

**В.А. Седнев, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;
Е.И. Кошечкина, кандидат технических наук, доцент.
Академия ГПС МЧС России**

Обоснованы условия разрушения типовых жилых зданий при воздействии по ним обычных средств поражения, что может быть положено в основу совершенствования конструкций зданий, разработки предложений по повышению устойчивости их функционирования и объектов экономики и влияет на вероятность выполнения ими своих задач. Использование методики позволяет также обосновать объем восстановительных работ в жилой зоне после воздействия обычных средств поражения и предложения по обеспечению защищенности населения.

Ключевые слова: жилые здания, обычные средства поражения, воздействие, степень разрушения, защита населения

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH OF THE EVALUATION OF DEGREES OF DESTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS AFTER THE IMPACT OF CONVENTIONAL WEAPONS

V.A. Sednev; E.I. Kosheva. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

The conditions of destruction of typical residential buildings under the influence of conventional means of damage on them are substantiated, which can be the basis for improving the structures of buildings, developing proposals to improve the stability of their functioning and economic objects and affects the probability of their tasks. The use of the method also allows to justify the amount of restoration work in the residential area after exposure to conventional means of destruction and proposals to ensure the protection of the population.

Keywords: residential buildings, conventional means of destruction, impact, degree of destruction, protection of the population

Как показывает исторический опыт государств по подготовке и ведению войн, их ход и исход во многом зависит от соотношения оборонной мощи воюющих сторон, характеризующейся материальными силами и средствами, которые государство в состоянии выделить для удовлетворения военных потребностей. Количество (объем) этих сил и средств определяется экономическим, научно-техническим и морально-политическим потенциалом государства.

К основным элементам экономического потенциала можно отнести: национальное богатство как совокупность материальных ценностей; производственный потенциал промышленности; материально-техническую базу сельского хозяйства; производственную инфраструктуру и население страны как источник трудовых и мобилизационных ресурсов.

При этом население (персонал) размещается в жилых зонах населенных пунктов и объектов экономики и инфраструктуры (заводы, учебные заведения, базы ремонта и др.), где могут возникать очаги поражения.

Для населенных пунктов с целью разработки и реализации мероприятий по защите населения от воздействия обычных средств поражения устанавливаются группы по гражданской обороне. При этом существующие методики определения степеней разрушения зданий при действии обычных средств поражения позволяют оценить только локальные разрушения, но не позволяют сделать вывод, что будет со зданием в целом, и ориентированы на оценку состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности [1].

Поэтому излагаются методические подходы решения этой задачи.

Мероприятия по повышению защищенности населения жилых зон проводят применительно к зоне возможных разрушений и возможных сильных разрушений, зоне возможного образования завалов [2].

Зона возможных разрушений – селитебная и производственная территории, в пределах которых, в результате воздействия обычных средств поражения, здания и сооружения могут получить разрушения.

Зона возможных сильных разрушений – территория, в пределах которой в результате воздействия обычных средств поражения здания и сооружения могут получить полные и сильные разрушения. Для сильных разрушений характерно сплошное разрушение несущих конструкций зданий и сооружений.

Полное разрушение характеризуется обрушением зданий и сооружений, от которых могут сохраниться только поврежденные или неповрежденные подвалы, а также незначительная часть прочных конструктивных элементов. Всего существует четыре степени разрушения: полное, сильное, среднее и слабое.

На территории страны основными типами жилых зданий являются панельные, кирпичные и монолитные.

Наиболее характерными панельными считаются здания серий: П-44, П-44ТМ, П-44Т, П-44М, П-3, П-3М, П-4, КОПЭ, КОПЭ-М, П-111, П-111М, И-700А, ГМС-1, ГМС-2001, ГМС-3, ПД-1, ПД-3, ПД-4, ПД-4М, П-30, И-155, МТ-9, И-46С, И-1723, ТМ-25, П-42, П-43, П-49, П-57, И-522А, К-7, 137, МЭС-84, 1-515/9М, 1-515/9Ш, РД-90, 111-90, П-55, П-55М, П-46, П-46М, С-111 и др.

Основными несущими элементами являются стеновые панели, обеспечивающие устойчивость здания в продольном и поперечном направлении.

К типовым кирпичным зданиям относятся серии: Башня Вулыха, Тишинская, Москворецкая, Призма, Смирновская, П-29, 1-511. В них основными несущими элементами являются продольные кирпичные стены, которые обеспечивают устойчивость здания в продольном и поперечном направлении.

Наиболее характерными монолитными считаются здания серий И-1737, М6-ЭКО, КОЛОС (И-1279). Основными несущими элементами их являются железобетонные колонны (пилоны) и железобетонные стены, обеспечивающие устойчивость здания в продольном и поперечном направлении.

Для ограждения используются самонесущие трехслойные кирпичные стены или монолитные несущие стены.

Здания, в зависимости от конструктивных особенностей, имеют разную прочность и взрывоустойчивость – свойство противостоять воздействию поражающих факторов взрыва обычных средств поражения, способных вызвать прогрессирующее обрушение здания, – распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, приводящее к обрушению сооружения или непропорционально большой его части.

Взрывоустойчивость здания обуславливается его конструктивными особенностями, которые характеризуются наличием критических элементов, – элементов конструкции, участвующих в формировании конструктивной жесткости и устойчивости здания к прогрессирующему обрушению.

Для оценки устойчивости монолитных и кирпичных зданий против прогрессирующего обрушения рекомендуется использовать пространственную модель [3–5]. В ней могут учитываться элементы, которые при нормальных эксплуатационных условиях являются ненесущими (железобетонные ограждения балконов и т.п.), а при разрушении критических элементов активно участвуют в перераспределении усилий в элементах конструктивной системы.

Для расчета панельных зданий на устойчивость рекомендуется использовать пространственную расчетную модель в виде системы пластинок [6].

В качестве гипотетического локального разрушения следует рассматривать разрушение на любом одном этаже здания вертикальных конструкций:

а) двух пересекающихся стен на участках от места их пересечения (угла здания) до ближайшего проема в стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления, но на суммарной длине не более 7 м;

б) отдельно стоящей колонны (пилон);

в) колонны (пилон) с участками примыкающих стен на их длине по п.а.

При этом рекомендуется рассматривать наиболее опасные локальные разрушения наружных и внутренних стен и наиболее нагруженных пилон (колонн).

Моделирование разрушения критического элемента выполняется путем его удаления из расчетной схемы здания. Устойчивость здания обеспечена, если для любого его элемента соблюдается условие $F \leq S$, где F и S – соответственно, усилие в конструктивном элементе, найденное из выполненного расчета, и его расчетная несущая способность.

Оценка взрывоустойчивости панельного здания

Несущие конструкции жилого пятиэтажного панельного здания выполнены из трехслойных железобетонных панелей (рис. 1). Размеры дома в плане – 12×19,5 м. В качестве расчетной модели взят проект под серией 1-515. Высота этажа 2,8 м. Наиболее опасными являются разрушения панели: торцевой поперечной или продольной стены, примыкающей к углу здания; внутренней поперечной стены. Расчетная схема здания представляет собой железобетонные плиты перекрытия, железобетонные внутренние и наружные стены (рис. 2). Аварийное воздействие представляет собой разрушение стен в осях на уровне первого этажа. Количество разрушенных стен увеличивается при расчете до тех пор, пока не устанавливается состояние полного разрушения.

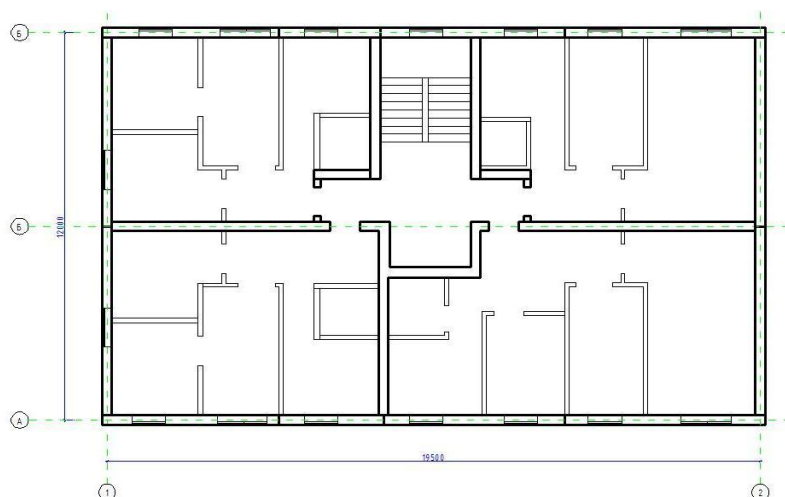


Рис. 1. План типового этажа

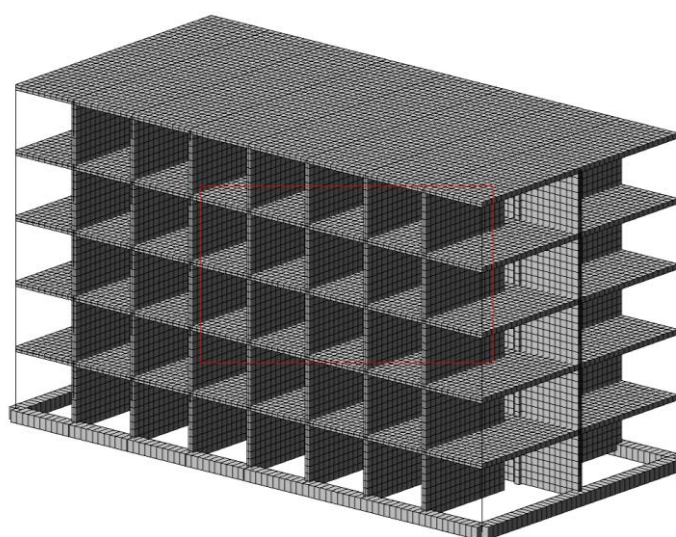


Рис. 2. Расчетная схема панельного здания

При разрушении больше 75 % элементов можно утверждать, что они не отвечают расчетным характеристикам. Расчеты с использованием программного комплекса «Лири» позволили установить, что для разрушения здания требуется удалить 40 п.м. из 105 п.м. несущей стены.

Оценка взрывоустойчивости кирпичного здания

Несущие конструкции жилого кирпичного пятиэтажного здания выполнены из керамического кирпича (рис. 3). Размеры дома в плане составляют 12×16,5 м. Продольную и поперечную устойчивость его обеспечивают наружные и внутренние несущие стены во взаимодействии с плитами перекрытия. Лестничные узлы образуют ядро жесткости. Несущие конструкции здания выполнены из кирпича марки М125. За основу модели принят проект 1-511. Высота этажа 2,5 м. Наиболее опасными являются разрушение торцевой поперечной, продольной и внутренней поперечной стен. Расчетная схема здания представляет собой железобетонные плиты перекрытия, опертые на кирпичные внутренние и наружные стены. Аварийное воздействие представляет собой разрушение стен в осях на уровне первого этажа. Количество разрушенных стен увеличивалось при расчете до тех пор, пока не устанавливалось состояние полного разрушения (рис. 4), и определено, что для разрушения здания требуется удалить 51 п.м. из 92 п.м. несущей стены.

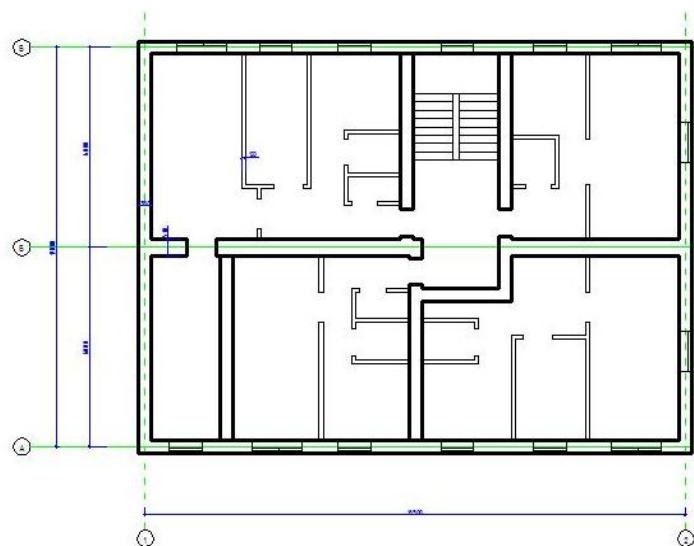


Рис. 3. План типового этажа

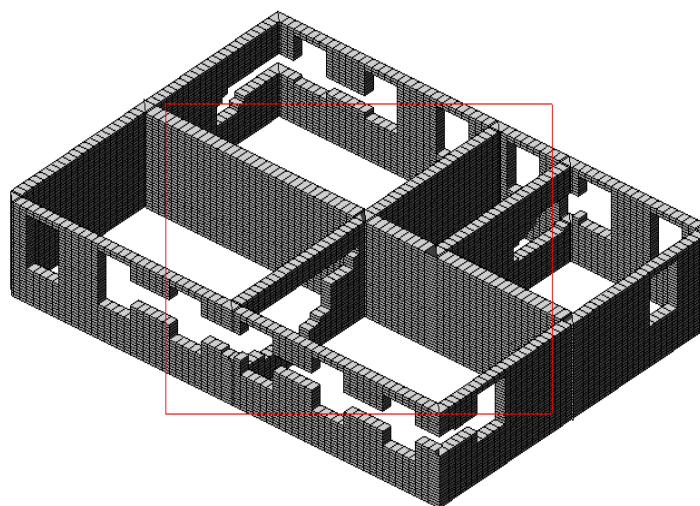


Рис. 4. Схема этажа с разрушенными кирпичными стенами

Оценка взрывоустойчивости монолитного здания

За основу модели принят проект под серией И-1737. Высота этажа 3,2 м. Размеры дома в плане составляют 36×40 м. Сбор нагрузок производится в соответствии с рекомендациями по учету нагрузок и воздействий на здания и сооружения [7]. Расчетная схема здания представляет собой монолитные плиты перекрытия, монолитные колонны и монолитные наружные стены (рис. 5).

Выбор вариантов аварийных воздействий (взрывных нагрузок) на здание предполагал, что такого рода воздействия оказывают наибольшее влияние, когда происходят в углах здания или приходится под самые нагруженные вертикальные элементы. Аварийное воздействие представляет собой разрушение колонн и стен в осях на уровне первого этажа. Количество разрушенных колонн увеличивалось после каждого расчета до тех пор, пока не устанавливалось состояние полного разрушения (рис. 6).

Для схемы наибольшее значение имеют элементы колонн и стен. По результатам расчета определено, что для разрушения монолитного здания требуется удалить 8 колонн из 12 и 58 п.м. из 158 п.м. несущей стены.



Рис. 5. Расчетная схема монолитного здания

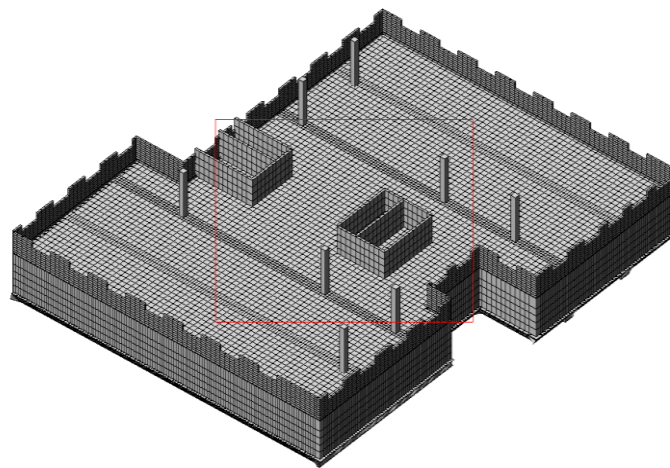


Рис. 6. Схема этажа с разрушенными колоннами и стенами монолитного здания

Оценка возможных степеней разрушения жилых зданий

Понятия степеней разрушения зданий сформировались по результатам оценки последствий действия на них воздушной ударной волны ядерного взрыва. В этом случае здание погружается в ударную волну и на все его конструктивные элементы действует избыточное давление одинаковой величины.

При действии обычных средств поражения нет выраженных признаков степеней разрушения здания, как при действии воздушной ударной волны ядерного взрыва. В связи с этим предложено [8, 9] степени разрушения здания оценивать экономическим ущербом в результате полных или частичных разрушений здания (табл.).

Взяв за основу эту классификацию степеней разрушения, в качестве показателя для их определения предлагается принять выражение [8, 9]:

$$K = \sum_{i=1}^m M_i C_i, \text{ руб. ,}$$

где M_i – математическое ожидание доли i -го типа разрушенных конструктивных элементов здания; C_i – стоимость i -го типа конструктивного элемента; m – количество типов конструктивных элементов.

Таблица. Связь степени разрушения здания с возможным экономическим ущербом

Степень разрушения	Характер разрушения	Ущерб от стоимости здания	Характер восстановительных работ
Полная	Обрушение несущих конструкций, повреждение подвальных помещений и инженерных коммуникаций	90–100 %	Восстановление невозможно и нецелесообразно
Сильная	Сохранилась часть несущих конструкций и подземные инженерные сети	50–90 %	Восстановление требует перестройки. Возможно частичное использование уцелевших конструкций
Средняя	Сохранились большая часть несущих конструкций и подвалы. Внутренняя часть разрушена или выгорает	30–50 %	Значительный объем восстановительных работ. Требуется привлечение специальных подразделений
Слабая	Деформация внутренних элементов, кровли, пристроек, оконных и дверных коробок	10–30 %	Незначительный объем работ, доступный ремонтно-восстановительным бригадам
Легкая	Повреждение второстепенных элементов: остекления, козырьков и т.п.	0–10 %	Восстановление доступно без перерыва эксплуатации здания

К критическим элементам зданий по важности относятся: фундамент, колонны и несущие стены; покрытие и междуэтажные перекрытия; внутренние стены и перегородки; оконные и дверные устройства. Для определения математического ожидания доли разрушенных конструктивных элементов воспользуемся следующими предпосылками.

Первая связана с выбором воздействия. По жилым зданиям возможно воздействие авиационно-ракетными боеприпасами по площади жилой зоны (площадное воздействие) или по площади здания (прицельное воздействие). При площадном воздействии возможны два случая: первый – ковровое воздействие, когда удар наносится по площади всего очага поражения; второй – удар наносится только по застроенной части. В качестве расчетного принимается самый опасный случай, когда боеприпасы снаряжены взрывателями замедленного действия, то есть способны пробивать междуэтажные перекрытия или проникать в грунт на уровень фундамента.

Вторая предпосылка касается распределения боеприпасов по площади жилой зоны и площади здания. В случае площадного воздействия боеприпасы распределяются по площади цели по определенным законам в зависимости от средств доставки. С учетом этого авторы считают, что площадь поражения от одного боеприпаса не накладывается на площадь поражения другого.

При воздействии по площади здания размеры площадей разрушения строительных конструкций соизмерены с размерами здания. В этом случае возможно наложение площадей поражения от соседних взрывов, что необходимо учитывать при определении суммарных разрушений конструкций зданий.

Третья предпосылка касается определения вероятностей попадания боеприпасов в площадь здания. Будем считать, что при прицельном воздействии вероятность попадания боеприпасов в площадь здания равна единице, так как в этом случае будут применяться управляемые боеприпасы или боеприпасы с высокой точностью их наведения.

С учетом предпосылок разработана расчетная схема локальных разрушений конструкции здания (рис. 7), которая предполагает возможные случаи воздействия обычных средств поражения.

1. Боеприпас кинетической энергией удара пробивает покрытие и междуэтажные перекрытия здания, вызывая сквозное пробивание с отколом бетона с внутренней поверхности плит покрытия (перекрытий). Радиус откольной зоны:

$$R_1 = 1,5d, \text{ м,}$$

где d – диаметр боеприпаса, м.

Количество пробиваемых перекрытий зависит от массы, скорости боеприпаса, толщины и материала перекрытий.

2. После исчерпания кинетической энергии боеприпас взрывается на очередном перекрытии, оказывая разрушающее действие взрывом.

Радиус разрушения перекрытия в результате местного действия взрыва:

$$R_2 = mK_{OT}\sqrt[3]{C_{ЭФ}}, \text{ м,} \quad (1)$$

где m – коэффициент забивки; K_{OT} – коэффициент сопротивления материала отколу; $C_{ЭФ}$ – эффективная масса заряда взрывчатого вещества боеприпаса, приведенная к тротилу.

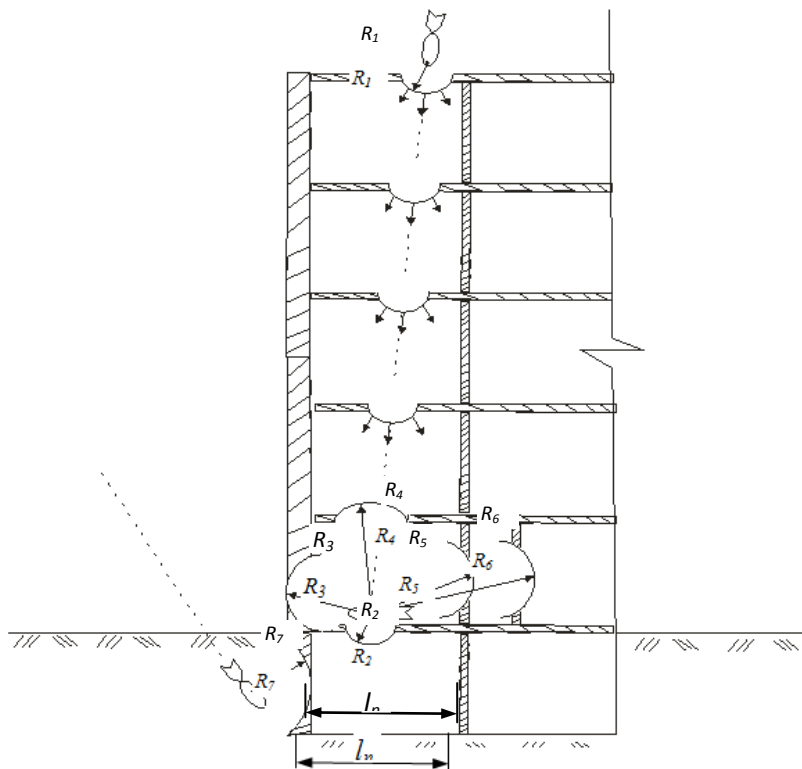


Рис. 7. Расчетная схема локальных разрушений конструкций здания средствами поражения в обычном снаряжении:

- R_1 – радиус разрушения междуэтажного перекрытия местным действием удара;
- R_2 – радиус разрушения междуэтажных перекрытий местным действием взрыва;
- R_3 – радиус разрушения несущих стен общим действием взрыва;
- R_4 – радиус разрушения междуэтажных перекрытий общим действием взрыва;
- R_5 – радиус разрушения колонн (пилон) общим действием взрыва;
- R_6 – радиус разрушения внутренних стен (перегородок) общим действием взрыва;
- R_7 – радиус разрушения фундамента сейсмической волной взрыва (при площадном воздействии); l_n – расстояние между осями несущих стен

3. Взрыв боеприпаса на междуэтажном перекрытии оказывает общее действие на конструкции здания воздушной ударной волной.

Радиус разрушения в результате общего действия взрыва в воздухе:

$$R_{3,4,5,6} = K \sqrt{\frac{C_{\text{ЭФ}}}{d}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где K – коэффициент, зависящий от взрывчатого вещества заряда боеприпаса и материала конструкций: 0,6 – для кирпичных конструкций, 0,25 – для железобетонных конструкций; d – толщина стен, принимается: 0,5 м – для кирпичных конструкций, 0,3 м – для железобетонных конструкций.

4. Взрыв боеприпаса в грунте рядом с фундаментом оказывает на него общее действие волной сжатия.

Радиус разрушения в результате общего действия взрыва в грунте:

$$R_7 = 2,133 \sqrt{\frac{C_{\text{ЭФ}}}{\Delta P_{\text{Ф}}}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{\text{Ф}}$ – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны ядерного взрыва для укрытий в подвалах жилых зданий, кг/см², фундаменты современных типовых зданий выдерживают нагрузку от $\Delta P_{\text{Ф}}=1$ кгс/см².

В формулах (3, 4, 5):

$$C_{\text{ЭФ}} = C \cdot K_{\text{ЭФ}}, \text{ кг}, \quad (6)$$

где C – масса заряда взрывчатого вещества боеприпаса, кг; $K_{\text{ЭФ}}$ – коэффициент приведения взрывчатого вещества боеприпаса к тротилу.

Площади поражения критических элементов зданий определяются в зависимости от их размеров и величины радиуса разрушения.

Площадь поражения несущих стен:

$$F_{\text{НС}} = L_{\text{НС}}(R_3 + t_{\text{НС}}), \text{ м}^2, \quad (7)$$

где $L_{\text{НС}}$ ($t_{\text{НС}}$) – соответственно, общая длина и толщина несущих стен одного этажа, м.

При условии $F_{\text{НС}} \geq F_{\text{зд}}$ площади поражения смежных стен накладываются друг на друга, где $F_{\text{зд}}$ – площадь здания, и принимается, что $F_{\text{НС}}=F_{\text{зд}}$.

Площадь поражения колонны (пилона):

$$F_{\text{к}}=(a+2R_5)(b+2R_5), \text{ м}^2, \quad (8)$$

где a , b – размеры колонны (пилон) в плане, м.

При условии $F_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}} \geq F_{\text{зд}}$ площади поражения колонн накладываются друг на друга, тогда $F_{\text{к}}=F_{\text{зд}}$, где $m_{\text{к}}$ – количество колонн.

Площадь поражения фундамента:

$$F_{\text{Ф}} = 2(L + R_7)(B + R_7), \text{ м}^2. \quad (9)$$

Вероятность разрушения критических элементов зданий определяется по выражению:

$$P = 1 - e^{-F_n N}, \quad (10)$$

где F_n – площадь поражения критических элементов: несущих стен – $F_{НС}$, колонн – F_k , фундамента – F_Φ ; N – плотность воздействия по очагу поражения, шт/м².

При прицельном воздействии и при условии $F_n \geq F_{3Д}$ принимаем $P=1,0$.

При прицельном воздействии по зданию:

$$N_{пр} = \frac{z}{S_{3Д}}, \quad \frac{\text{шт}}{\text{м}^2}, \quad (11)$$

где z – количество боеприпасов, прицельно выпущенных по зданию; $S_{3Д}$ – площадь здания в плане, м².

При площадном воздействии по жилой зоне:

$$N_{пл} = \frac{n}{P\rho} \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\text{шт}}{\text{м}^2}, \quad (12)$$

$$\rho = \frac{\sum S_{3Д}}{S_{жз}}, \quad (13)$$

где n – плотность площадного воздействия, т/км²; P – масса одного боеприпаса, кг; ρ – плотность застройки жилой зоны; $\sum S_{3Д}$ – общая площадь зданий жилой зоны, м²; $S_{жз}$ – площадь жилой зоны, м².

Математическое ожидание доли разрушенной критической длины несущих стен и фундамента ($M_{нс}$, M_Φ) определяется по следующим зависимостям.

При прицельном воздействии:

$$M_{нс} = 1 - \left(1 - \frac{L_c K}{L_k} P_{нс} \right)^z. \quad (14)$$

При площадном воздействии:

$$M_{нс} = \frac{L_c K}{L_k} P_{нс}, \quad M_\Phi = \frac{L_\Phi}{L_k} P_\Phi, \quad (15)$$

где L_c , L_Φ – соответственно, длина разрушенного участка стены и фундамента общим взрывом одного боеприпаса, м ($L_c=2 \cdot 0,7R_3$, $L_\Phi = 2 \cdot 0,7R_7$); $P_{нс}$, P_Φ – вероятность попадания боеприпаса в площадь поражения, соответственно, несущей стены и фундамента; K – количество смежных стен, разрушаемых одним взрывом, при $R_3 \geq l_n$ $K=2$; L_k – критическая длина несущих стен, разрушение которых приводит к прогрессирующему обрушению здания, м.

Математическое ожидание доли критического количества колонн M_k и критической длины фундамента M_Φ под наружные колонны и стены определяются по следующим зависимостям.

При прицельном воздействии:

при $R_5 \geq l_n - a$
$$M_k = 1 - \left(1 - \frac{N}{N_k} P_k \right)^z, \quad (16)$$

при $R_5 < l_n - a$
$$M_k = \frac{N}{N_k} P_k Z, \quad (17)$$

где N_k – критическое количество колонн (пилон) на этаже, разрушение которых приводит к прогрессирующему обрушению; a – наименьшая сторона колонны; P_k – вероятность попадания боеприпасов в площадь поражения колонны (пилона), при $2R_5+a>l_n$, $P_k=1$; N – количество колонн (пилон) на этаже, разрушаемых взрывом одного боеприпаса, при $R_5 \geq l_n - a$, $N=5$, при $R_5 < l_n - a$, $N=1$.

При площадном воздействии:

$$M_k = \frac{N}{N_k} P_k, \quad M_\phi = \frac{L_\phi}{L_k} P_\phi, \quad (18)$$

где L_k – критическая длина наружных стен, п.м.; L_ϕ – общая длина наружных стен, п.м.

Площадь разрушенных перекрытий здания определяется как сумма площадей перекрытий, разрушенных местным действием удара (R_1), местным действием взрыва (R_2) и общего действия взрыва (R_4). Возможные площади разрушенных междуэтажных перекрытий (покрытия) панельного и кирпичного зданий предлагается определять по следующим зависимостям.

В результате сквозного пробивания с отколом:

$$S_{n_1} = \pi R_1^2 \alpha, \quad \text{м}^2, \quad (19)$$

где α – количество пробитых перекрытий, шт.

В результате разрушения местным действием взрыва:

$$S_{n_2} = \pi R_2^2, \quad \text{м}^2. \quad (20)$$

В результате разрушения вышележащих перекрытий общим действием взрыва и в результате их обрушения из-за разрушения несущих стен могут иметь место следующие расчетные случаи.

1. При условии $R_4 > H_3$ (высота этажа), $R_4 < R_3$:

$$S_{n_3} = 2\pi R_4^2, \quad \text{м}^2. \quad (21)$$

2. При условии $R_4 > R_3$ перекрытие обрушается по всей длине пролета и длине разрушенной наружной длины:

$$S_{n_3} = 2R_3 \cdot l_n, \quad \text{м}^2. \quad (22)$$

3. При $2R_3 > l_n$ разрушается внутренняя несущая стена, а перекрытие обрушается по длине двух смежных пролетов:

$$S_{n_3} = 4R_3 \cdot l_n, \quad \text{м}^2. \quad (23)$$

Общая площадь разрушаемых перекрытий составит:

$$S_n = S_{n_1} + S_{n_2} + S_{n_3}, \quad \text{м}^2. \quad (24)$$

Математическое ожидание доли разрушенных перекрытий кирпичных и панельных зданий определяется по следующим выражениям.

При прицельном воздействии по зданию:

$$M_{\text{п}} = 1 - \left(1 - \frac{S_n}{S_{\text{об}}} \right)^z \quad (25)$$

При площадном воздействии по жилой зоне:

$$M_{\text{п}} = \frac{S_n}{S_{\text{об}}} P_n, \quad (26)$$

где P_n – вероятность попадания боеприпаса в площадь здания; $S_{\text{об}}$ – общая площадь междуэтажных перекрытий (покрытия):

$$S_{\text{об}} = L \cdot B \cdot (\alpha + 1), \quad \text{м}^2, \quad (27)$$

где L , B , α – соответственно, размеры этажей в плане и количество этажей.

Математическое ожидание доли разрушенных монолитных перекрытий определяется также, как и кирпичных (панельных), при условии, что:

$$S_{n_3} = \begin{cases} \pi R_4^2, & \text{при } H_3 < R_4 \leq 2H_3, \quad \text{м}^2 \\ 2\pi R_4^2, & \text{при } R_4 > 2H_3, \quad \text{м}^2. \end{cases} \quad (28)$$

Математическое ожидание доли разрушенных внутренних стен (перегородок) определяется по следующим зависимостям.

При прицельном воздействии по зданию:

$$M_{\text{вс}} = 1 - \left(1 - \frac{S_{\text{вс}}}{S_{\text{об}}} \right)^z \quad (29)$$

При воздействии по площади жилой зоны:

$$M_{\text{вс}} = \frac{S_{\text{вс}}}{S_{\text{об}}} P_{\text{зд}}, \quad (30)$$

где $P_{\text{зд}}$ – вероятность попадания боеприпаса в площадь здания; $S_{\text{вс}}$, $S_{\text{об}}$ – соответственно, площади этажей с разрушенными внутренними стенами (перегородками) и общая площадь междуэтажных перекрытий, м^2 .

$$S_{\text{вс}} = S_{\text{вс}_1} + S_{\text{вс}_2},$$

где $S_{\text{вс}_1}$ – площадь разрушенных внутренних стен на первом этаже $S_{\text{вс}_1} = 2R_6 l_n$, при $2R_6 \geq L$, $S_{\text{вс}_1} = L \cdot l_n$; $S_{\text{вс}_2}$ – площадь разрушенных внутренних стен на обрушенных пролетах:

$$S_{\text{вс}_2} = \begin{cases} S_{n_3} & \text{– для кирпичных и панельных зданий,} \\ \pi R_6^2 \beta & \text{– для монолитных зданий,} \end{cases}$$

где β – количество обрушенных пролетов;

$$S_{об} = L \cdot B \cdot \alpha,$$

где L, B, α – соответственно, размеры здания и количество этажей в здании.

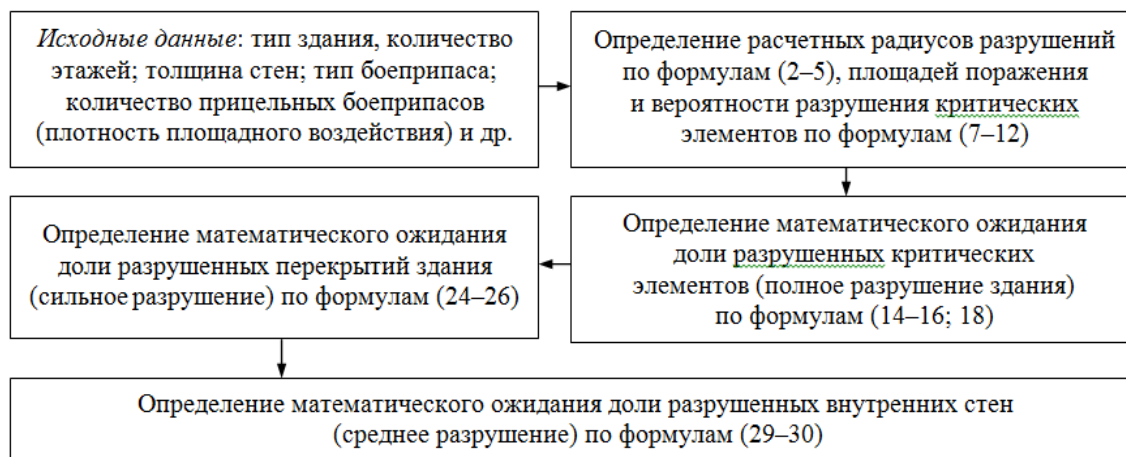


Рис. 8. Алгоритм определения состояния жилых зданий при действии обычных средств поражения

Получение результатов по предлагаемой методике (рис. 8) позволит обосновать предложения по повышению устойчивости зданий жилой зоны к воздействию обычных средств поражения.

Литература

1. ГОСТ Р 42.2.01–2014. Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета. М.: Стандартинформ, 2015. 17 с.
2. СП 165.1325800.2014. Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51–90. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2014. 68 с.
3. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. Москомархитектура. М., 2006. 35 с.
4. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. Москомархитектура. М., 2005. 40 с.
5. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. Москомархитектура. М., 2002. 14 с.
6. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. Москомархитектура. М., 1999. 35 с.
7. Нагрузки и воздействие на здания и сооружения / В.Н. Гордеев [и др.]. М.: Изд-во АСВ, 2006. 478 с.
8. Седнев В.А., Кошечкина Е.И. Методика прогнозирования взрывоустойчивости жилых зданий при действии обычных средств поражения // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2017. Вып. 1 (71). 11 с.
9. Седнев В.А., Кошечкина Е.И. Методика определения объемов разрушений жилых зданий при воздействиях обычных средств поражения // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2017. Вып. 1 (71). 6 с.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности создания программ для отечественных операционных систем, построенных на ядре операционной системы Linux. Рассмотрены характеристики существующих визуальных сред разработки программного обеспечения под операционную систему Linux.

Ключевые слова: визуальное средство разработки, операционная система, программное обеспечение

THE PROBLEM OF DEVELOPMENT THE PROGRAM FOR NATIVE OPERATING SYSTEM

A.Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article presents the problem of development the program for native operating system. The centre of attention use descriptions of the visual integrated development environments for Linux operating system.

Keywords: visual integrated development environment, operating system, computing program

О необходимости ускоренного развития отечественного рынка программного обеспечения (ПО), обеспечения опережающей независимости от иностранных разработок и сохранения информационного суверенитета в области высоких технологий впервые в руководящих органах государства заговорили в 2014 г. [1]. В результате были разработаны меры стимулирования спроса на отечественное ПО и поддержки отечественных разработчиков, что привело к тому, что за последнее время в России появилось много интересных проектов и разработок, включая разработки в области операционных систем (ОС) [1].

Создание отечественных ОС пошло в основном по пути доработки заимствованных исходных кодов ядра ОС Linux. Появились такие российские ОС, как ОС «Заря» (разработчик «ЦНИИ ЭИСУ»), ОС «Альт Линукс» (разработчик «Базальт СПО»), ОС «Ось» (разработчик «Ростех»), ОС Astra Linux (разработчик «РусБИТех»), ОС «ГосЛинукс» (разработчик «Ред Софт»), ОС Kraftway Terminal Linux (разработчик Kraftway) [1].

В Правительстве Российской Федерации разработан План перехода федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на использование свободного программного обеспечения [1]. Указанные отечественные ОС начинают активно применяться во многих государственных учреждениях России. Например, в январе 2018 г. Министерство обороны Российской Федерации объявило, что полностью переводит все военные персональные компьютеры (ПК) (в том числе в военных вузах) на ОС Astra Linux и отказывается от Microsoft Windows [1]. После этого планируется перевод на Astra Linux военных смартфонов и планшетов [1]. Интерфейс рабочего стола ОС Astra Linux представлен на рис. 1.

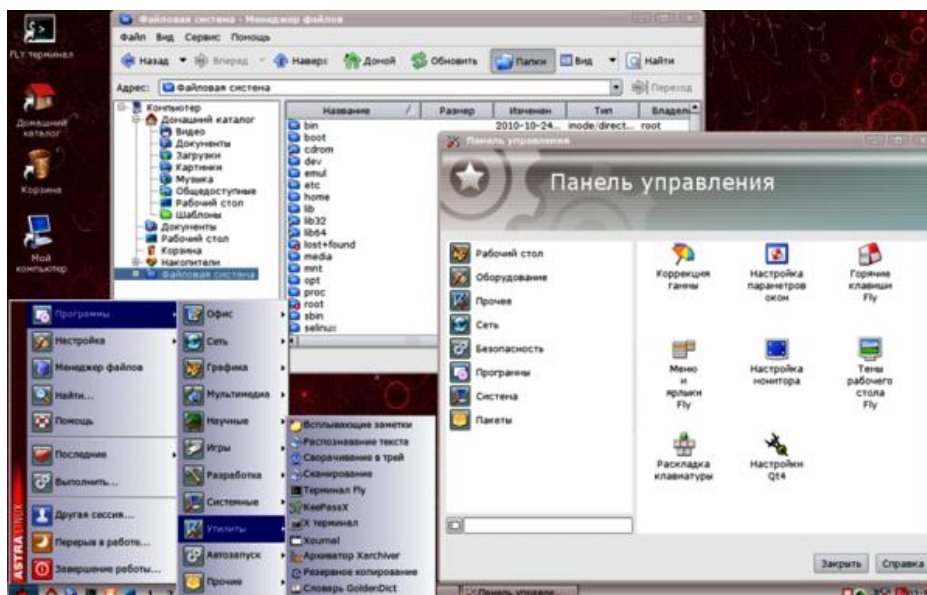


Рис. 1. Интерфейс рабочего стола ОС Astra Linux

В состав дистрибутива ОС Astra Linux входят офисный пакет LibreOffice, браузер Firefox, редактор графики GIMP, файловый менеджер и другие программы. Схема ОС Linux представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема ОС Linux

В ближайшее время возможен переход на использование отечественных ОС в учебных заведениях Российской Федерации. В связи с указанными обстоятельствами становится актуальной разработка ПО под ОС Linux.

Визуальные средства разработки ПО под Linux.

Среда разработки ПО Delphi 6

Среда разработки Delphi 6 позволяет работать с двумя различными визуальными библиотеками, используемыми для разработки приложений: библиотекой визуальных компонентов VCL (Visual Component Library) и библиотекой компонентов для

кроссплатформенных решений CLX (Component Library for Cross-Platform) [2]. Интерфейс IDE (Integrated Development Environment – интегрированная среда разработки) Delphi 6 в режиме создания приложения, использующего библиотеку CLX, представлен на рис. 3.

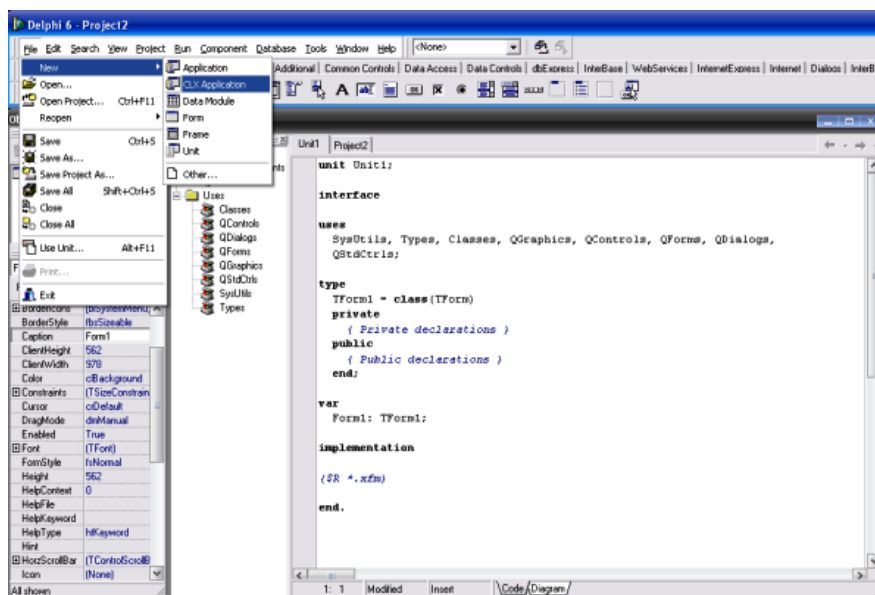


Рис. 3. Интерфейс IDE Delphi 6 в режиме создания CLX-приложения

Библиотека CLX позволяет перекомпилировать программный код с помощью Kylix, версии Delphi под Linux, для запуска под ОС Linux.

Библиотека CLX состоит из четырех частей: BaseCLX, VisualCLX, DataCLX и NetCLX.

BaseCLX является ядром библиотеки CLX и содержит высшие классы (например, TComponent) и ряд общих вспомогательных классов (включая списки, контейнеры, коллекции, и потоки). BaseCLX без изменений используется как на платформе Windows, так и на платформе Linux.

VisualCLX является коллекцией визуальных компонентов (элементов управления) [2]. Этот раздел библиотеки CLX более тесно связан с ОС – VisualCLX реализована на верхнем уровне библиотеки Qt, доступной в ОС Windows и в ОС Linux [2]. Использование VisualCLX обеспечивает полную переносимость визуальной части приложения между Delphi в ОС Windows и Kylix в ОС Linux [2].

DataCLX является коллекцией компонентов, относящихся к базам данных (БД). DataCLX является интерфейсной частью механизма работы с БД dbExpress, входящего как в Delphi, так и в Kylix.

NetCLX – это коллекция компонентов, относящихся к интернету. Этот раздел библиотеки CLX обладает высокой переносимостью между ОС Windows и ОС Linux.

Библиотека VCL служит оболочкой API Windows, а библиотека CLX является оболочкой для библиотеки Qt, которая является библиотекой классов языка C++, разработанного норвежской компанией Trolltech. В ОС Linux библиотека Qt является стандартной библиотекой пользовательского интерфейса и основой оконной среды KDE. В то время как библиотека VCL предлагает объектно-ориентированную абстракцию над низкоуровневым API, библиотека VisualCLX отображает интерфейс высокого уровня в библиотеку классов. Кроме того, библиотека CLX обеспечивает в визуальных элементах управления поддержку Unicode.

IDE Delphi 6 поддерживает обе библиотеки (VCL и CLX) во время разработки приложения и во время выполнения откомпилированной программы. Использование библиотеки CLX позволяет на основе одного файла исходного кода на языке

программирования Delphi создать приложение, которое может выполняться под ОС Windows и под ОС Linux с одинаковым пользовательским интерфейсом.

Среда разработки ПО Kylix

Среда Kylix представляет собой объектно-ориентированную среду визуального программирования и может быть использована для разработки 32-разрядных приложений под ОС Linux [3]. В среду Kylix входят библиотека визуальных компонентов CLX, набор средств проектирования, шаблоны приложений, а также инструменты, необходимые для разработки, тестирования и переноса приложений. В качестве основы для библиотеки CLX была выбрана библиотека Qt, что обеспечивает переносимость и независимость от платформы создаваемых приложений. Интерфейс среды Kylix представлен на рис. 4.

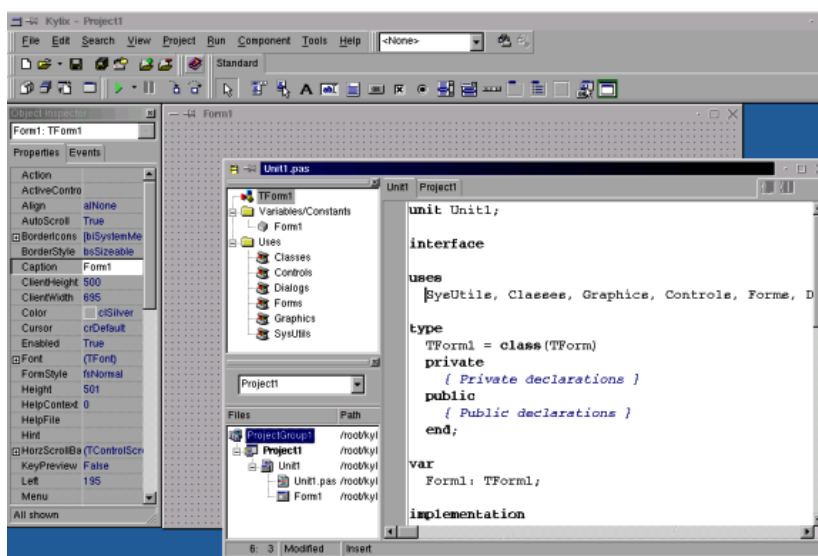


Рис. 4. Интерфейс IDE Kylix

Среда Kylix, с одной стороны, является версией среды Delphi для платформы ОС Linux и, с другой стороны, является средой кроссплатформенной разработки приложений. По сравнению с существующими средствами разработки приложений под ОС Linux, среда Kylix поддерживает механизм быстрой разработки приложений (RAD – Rapid Application Development). Быстрота разработки приложений достигается за счет визуального проектирования форм приложений. Кроме разработки графических интерфейсов среда Kylix имеет компоненты, предназначенные для работы с базами данных, работы с сетью и т.д.

Особенностью библиотеки визуальных компонентов CLX является расширяемость, то есть возможность добавления в библиотеку любых компонентов от других компаний-производителей ПО. IDE Kylix позволяет дополнять библиотеку CLX коммерческими и бесплатными библиотеками компонентов от сторонних производителей. Среда Kylix может работать на многих дистрибутивах ОС Linux, включая RedHat, Mandrake и SUSE.

Среда разработки ПО Lazarus

Среда разработки Lazarus [4] – свободный аналог среды разработки Delphi и Lazarus Components Library (LCL) – свободная библиотека визуальных компонентов, аналогичная библиотеке визуальных компонентов VCL в Delphi [4].

Среда разработки Lazarus поддерживает компиляцию в нескольких режимах, обеспечивающих совместимость с различными диалектами и реализациями языка (TurboPascal, ObjectPascal, MacPascal, GNUPascal) [4].

Lazarus – свободная система разработки программного обеспечения для компилятора Free Pascal Compiler [5]. Интегрированная среда разработки предоставляет возможность кроссплатформенной разработки приложений в Delphi-подобном окружении и основана на библиотеке визуальных компонентов Lazarus Component Library (LCL) [5]. Система разработки программного обеспечения Lazarus поддерживает следующие операционные системы: Linux, Microsoft Windows, Mac OS X, FreeBSD, WinCE [5].

Интерфейс IDE Lazarus представлен на рис. 5.

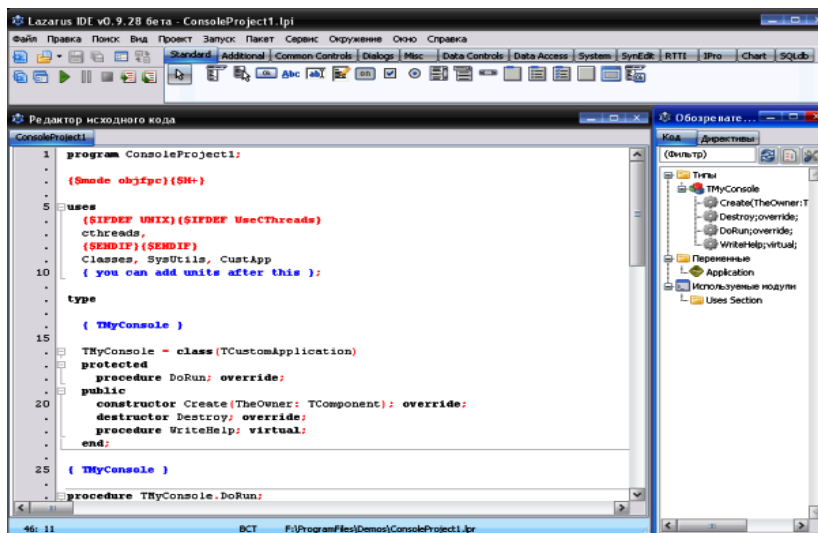


Рис. 5. Интерфейс IDE Lazarus

К недостаткам данной системы разработки программного обеспечения можно отнести [5]:

- нет полной совместимости с Delphi;
- отсутствие полноценной документации;
- проблемы со сборкой модулей под графическую библиотеку GTK2.

Среда разработки ПО MonoDevelop

MonoDevelop – свободная среда разработки приложения на языке C# под Linux [6]. Интерфейс IDE MonoDevelop представлен на рис. 6.

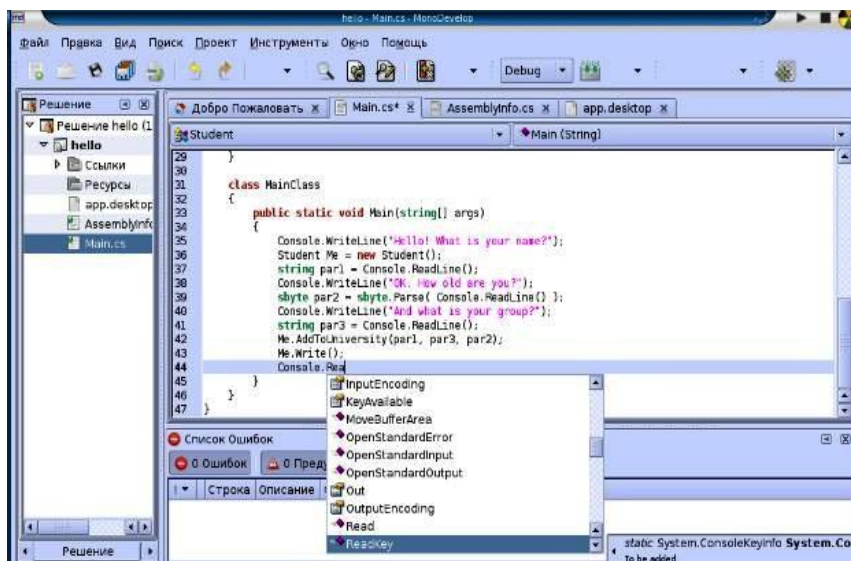


Рис. 6. Интерфейс IDE MonoDevelop

MonoDevelop поддерживает языки программирования C#, Java, VB.NET, C и C++. MonoDevelop поставляется вместе со средой разработки Unity3D [6], работающей в ОС Linux, Windows и Mac OS X.

Среда разработки ПО Eclipse

Среда Eclipse написана на языке программирования Java [7]. Поэтому она не зависит от платформы (аппаратного обеспечения и операционной системы). На основе Eclipse Platform разработаны различные «Eclipse IDE» для разработки ПО на языках C/C++, Fortran, PHP, JavaScript, Perl и некоторых других. Eclipse работает под операционными системами Linux, Windows, Solaris и Mac OS X [7].

Интерфейс IDE Eclipse представлен на рис. 7.

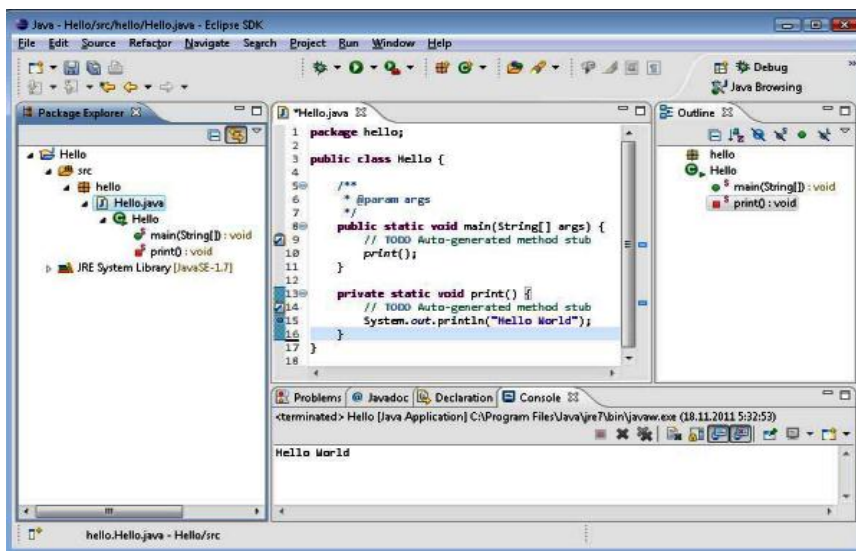


Рис. 7. Интерфейс IDE Eclipse

Среда разработки ПО KDevelop

KDevelop – кроссплатформенная свободная интегрированная среда разработки ПО для графической среды KDE ОС Linux [8].

Интерфейс IDE KDevelop представлен на рис. 8.

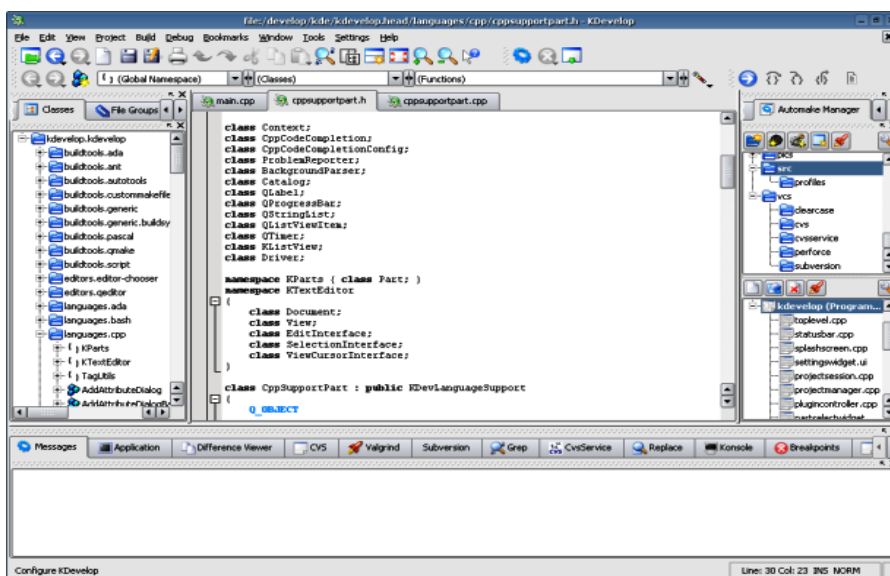


Рис. 8. Интерфейс IDE KDevelop

KDevelop поддерживает большое количество языков программирования, включая C, C++, Perl, Python, PHP, Java, Ruby, Ada, SQL, Фортран, Паскаль [8]. Поддерживаются такие системы сборки проектов, как GNU (automake), CMake, qmake и make для собственных средств сборки проектов [8].

Существует достаточно большое число визуальных средств разработки ПО под ОС Linux, использующих различные языки программирования и работающих под управлением различных операционных систем:

- IDE Delphi 6 (ОС Windows, язык ObjectPascal);
- IDE Kylix (ОС Linux, язык ObjectPascal);
- IDE Lazarus (ОС Windows, Linux, Mac OS X; языки TurboPascal, ObjectPascal, MacPascal);
- IDE MonoDevelop (ОС Windows, Linux, Mac OS X; языки C#, Java, C++);
- IDE Eclipse (ОС Windows, Linux, Mac OS X; языки C, C++, JavaScript, Fortran);
- IDE KDevelop (ОС Linux; языки C, C++, Java, Fortran, Pascal).

Приведенная информация дает возможность сделать выбор среды визуальной разработки, позволяющей наиболее эффективно решить поставленную задачу создания программного обеспечения под ОС Linux.

Литература

1. Журнал «LINUX Format». 2017. № 7. М.: ООО «Линукс Формат», 2017.
2. Кэнту М. Язык Object Pascal для профессионалов. СПб.: Питер, 2005.
3. Сысойкина М.А. Borland Kylix: разработка приложений. СПб.: БХВ, 2004.
4. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В., Кучер Т.В. Самоучитель по программированию на Free Pascal и Lazarus. Донецк: ДонНТУ, 2011.
5. Лабинский А.Ю. Снижение техногенных рисков в управлении. Особенности разработки кроссплатформенного программного обеспечения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2013. № 1. С. 5–9.
6. Хокинг Д. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. СПб.: Питер, 2016.
7. Казарин С.А., Клишин А.П. Среда разработки Java-приложений Eclipse: учеб. пособие. М.: Федеральное агентство по образованию, 2008.
8. Секунов Н.Ю. Программирование на C++ в Linux. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОРОШЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ

В.И. Михайлова;

И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент;

А.В. Иванов, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

На основании данных исследования теплофизических и реологических свойств водногелевых составов, полученных в условиях электрофизической модификации, а также результатов гидравлических расчетов систем орошения для резервуаров вертикальных стальных нефтепродуктов дано обоснование их применения для повышения эффективности тепловой защиты. Определены составы модифицированных водногелевых составов и их область применения в номенклатуре резервуаров парков нефтепродуктов.

Ключевые слова: пожар, резервуарный парк, вода, водногелевый состав, резервуар вертикальный стальной, система охлаждения, тепловая защита, насосная станция, гидравлический расчет, расход, напор

SIMULATION OF IRRIGATION SYSTEMS TANKS PETROLEUM PRODUCTS IN TERMS OF MODIFIED VODNOSOLEVY COMPOSITIONS

V.I. Mikhaylova; I.L. Skripnik; A.V. Ivanov.

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

On the basis of the study of thermophysical and rheological properties of water-gel compositions obtained under the conditions of electrophysical modification, as well as the results of hydraulic calculations of irrigation systems for surface vertical tanks of petroleum products, the rationale for their use to improve the efficiency of thermal protection is given. The compositions of the modified water-gel compositions and their application in the nomenclature of tanks of oil parks are determined.

Keywords: fire, tank farm, water, water-gel composition, vertical steel tank, cooling system, thermal protection, pumping station, hydraulic calculation, flow, pressure

В настоящее время вопросы обеспечения пожарной безопасности нефтебаз, в частности резервуаров с хранением нефтепродуктов, имеют актуальное значение. Каждый год на этих объектах происходят крупные пожары, влекущие за собой потерю материальных ценностей, гибель людей, наносящие вред экологической обстановке. Хранение нефти ввиду территориальных и климатических особенностей осуществляют в резервуарных парках.

Пожары углеводородных топлив являются наиболее опасными в резервуарных парках вследствие интенсивного теплового потока, который, воздействуя на соседние с горящими резервуары, может вызвать вскипание и выброс горящих жидкостей. При ликвидации горения нефтепродуктов необходимо охлаждение технологической арматуры резервуаров и обеспечение достаточной его тепловой защиты. Наиболее подвержены тепловому воздействию металлические конструкции и детали. Некачественная тепловая защита может привести к снижению надежности и разрушению оборудования резервуаров вертикальных стальных (РВС). Основным технологическим способом для решения данной задачи является предотвращение распространения опасных факторов пожара в резервуарном парке для горящего и соседних резервуаров за счет использования стационарных установок охлаждения.

Охлаждающим веществом в системе орошения РВС в основном выступает вода, которая является наиболее доступным огнетушащим и охлаждающим веществом. Однако ее невысокие эксплуатационные характеристики (вязкость, смачиваемость) не позволяют применять ее в системах противопожарной защиты при небольшом расходе. В то же время водногелевые составы (ВГС) на базе редкосшитого акрилового полимера (РАП) марки «Carbopol ETD-2020» обладают лучшими показателями, чем у воды [1]. Но при их применении увеличивается стоимость составов. Поэтому для их использования надо обосновать минимальные концентрации гелеобразующих компонентов в условиях обеспечения достаточной тепловой защиты.

Вопросам обеспечения пожарной безопасности РВС посвящено много исследований, в которых рассматриваются различные способы их защиты [2]. Заслуживает внимание и используемый на действующих нефтебазах метод защиты в виде водяного охлаждения с помощью колец орошения РВС.

Система, состоящая из колец орошения РВС, представляет собой совокупность кольцевых трубопроводов, расположенных по периметру внешних стенок РВС, как правило, в верхнем поясе с расположенными на них распылителями.

Пожар в резервуаре хранения нефти можно разделить на следующие стадии:

- начало горения внутри резервуара вызывает распространение огня по всей площади зеркала нефтепродукта;
- рост давления внутри резервуара, в результате которого происходит сброс стационарной либо понтонной крыши;
- прогрев слоев нефти в результате горения, вследствие чего возникает интенсивный прогрев стенок резервуара, вскипание донных вод, выброс нефти и ее разлив, в том числе и за пределами обвалования.

Анализ крупных пожаров на объекте хранения нефти показал, что иногда повреждаются и не функционируют системы пенного тушения (срываются пеногенераторы с мест крепления) и кольца орошения стенок РВС, что приводит к полному разрушению резервуара, уничтожению обвалования, разливу нефти и увеличению площади пожара. Исходя из характеристик РВС и нормативных требований по их охлаждению, определено, что для охлаждения горящего резервуара объемом 20 000 м³ необходимо обеспечить расход воды 107,5 л/с, а на защиту негорящих РВС – 34 л/с на 50 % окружности со стороны горящего резервуара.

Недостатками существующей системы охлаждения являются: незащищенность трубопровода от взрывов соседних резервуаров, расположение колец орошения на верхних уровнях резервуаров. Так как теплота сгорания нефти и нефтепродуктов примерно равна 43,5–46 МДж/кг, то в верхних точках системы орошения тепловое воздействие будет наиболее интенсивным, что повлечет за собой ее разрушение и невозможность обеспечения нужной интенсивности подачи воды. Решение существующей проблемы может быть достигнуто модернизацией системы орошения РВС (рис. 1) за счет применения модифицированных гидрогелей в качестве перспективных охлаждающих веществ.

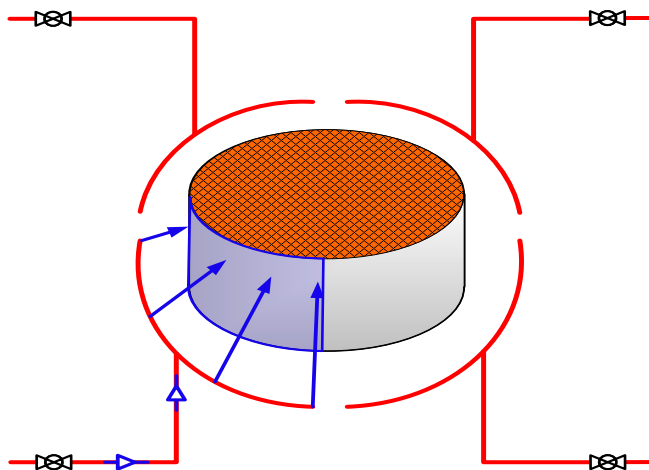


Рис. 1. Предлагаемая система орошения

В предложенном варианте необходимо:

1. Установить кольца орошения большего диаметра в зависимости от диаметра РВС на нижних ярусах.
2. Привести обоснование выбора огнетушащего и охлаждающего вещества для горящих РВС.
3. Защитить теплоотражающими материалами трубопроводы для предотвращения воздействия на них высоких температур.
4. Разработать четырехсекционные кольца орошения с таким расчетом, что бы одна секция кольца обеспечивала охлаждение 25 % длины окружности РВС. Это позволит подавать огнетушащее вещество с необходимой интенсивностью и с требуемых сторон защиты.
5. Подготовить трубопроводы подачи огнетушащих веществ по аналогии с сухотрубками с целью исключения их повреждения или промерзания в зимний период времени.

Предложенные организационно-технические мероприятия изложены в приведенных ниже расчетах. В качестве исходных данных выбрана система водяного охлаждения [3].

Стационарные установки охлаждения должны предусматриваться при проектировании резервуаров объемом от 5 000 м³ и более, независимо от высоты наружной стенки резервуара либо других конструктивных особенностей.

В исследовании применялась дистиллированная вода и ВГС на ее основе. Гелеобразующей составляющей выступал РАП с концентрацией карбопола 0,1÷1,0 масс. %.

В качестве объекта исследования был выбран РВС с параметрами, указанными в ГОСТе [4].

Цель исследования состояла: на основании экспериментальных данных и результатов расчетов систем гидравлической подачи охлаждающего вещества обосновать оптимальную концентрацию гелеобразователя для обеспечения тепловой защиты резервуаров на объектах нефтегазового комплекса.

Скорости охлаждения резервуаров при подаче ВГС различной концентрации были получены на основании экспериментальных данных, опубликованных в работе [5] и приведенных в табл. 1 (для немодифицированных ВГС) и табл. 2 (для модифицированных ВГС). Модификация ВГС заключалась в воздействии переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС) в процессе водоподготовки и гелеобразования.

Таблица 1. Экспериментальные данные по измерению времени достижения предельного состояния и скорости охлаждения защищаемого металла в условиях применения немодифицированных ВГС

Концентрация РАП, масс %	Начальная температура ВГС, °С	Максимальная температура ВГС, °С	Изменение температуры, °С	Время прогрева металла до 500 °С	Скорость охлаждения стенки резервуара, °С/с
0	21	96	75	440	0,17
0,1	21	98	77	260	0,30
0,2	30	89	59	600	0,01
0,25	20	92	72	850	0,09
0,3	17	94	77	440	0,18
0,4	21	99	78	550	0,14
0,5	19	96	77	410	0,19
1	22	82	60	1 160	0,05

Таблица 2. Экспериментальные данные по измерению времени достижения предельного состояния и скорости охлаждения защищаемого металла в условиях применения модифицированных ВГС

Концентрация РАП, масс. %	Начальная температура ВГС, °С	Максимальная температура ВГС, °С	Изменение температуры, °С	Время прогрева металла до 500 °С	Скорость охлаждения стенки резервуара, °С/с
0	21	97	76	480	0,158
0,1	19	97	78	200	0,390
0,2	20	98	78	500	0,156
0,25	20	95	75	840	0,089
0,3	19	89	70	750	0,093
0,4	23	91	68	550	0,124
0,5	21	85	64	870	0,074
1	23	67	44	1 030	0,043

Реологические свойства исследуемых ВГС по результатам измерений приведены в табл. 3.

Таблица 3. Экспериментально определенные реологические свойства ВГС

Концентрация РАП (масс. %), тип модификации	Плотность, кг/м ³	Вязкость, Пуазейля (Па·с)·10 ⁻²
0,1 % не мод.	1 066	0,50
0,1 % ПЧМС	1 058	0,44
0,2 % не мод.	1 060	14,14
0,2 % ПЧМС	1 055	13,82
0,25 % не мод.	1 052	107,80
0,25 % ПЧМС	1 048	106,48
0,3 % не мод.	1 045	164,63
0,3 % ПЧМС	1 041	169,80
0,4 % не мод.	1 040	186,24
0,4 % ПЧМС	1 038	184,52
0,5 % не мод.	1 033	190,23
0,5 % ПЧМС	1 029	188,47
1,0 % не мод.	1 016	571,40
1,0 % ПЧМС	1 010	508,63
вода не мод.	1 000	10,03
вода ПЧМС	998	9,06

При моделировании системы орошения РВС предполагалось, что для резервуаров предусмотрены кольца орошения с четырьмя секциями. Расчет систем проводился в программе «Mathcad». В ходе расчетов учитывались скорость нагрева, вязкость и плотность ВГС. Полученные в ходе расчетов данные дают информацию о необходимых напорах насосных станций систем орошения, а также требуемых удельных расходов на охлаждение конструкций резервуаров.

Вычисления осуществлялись для условного диаметра трубопровода $d=100$ мм. В отличие от представленной методики расчета, в Своде правил [3] дополнительно применительно к ВГС использовались следующие аналитические выражения (1–4).

Изучив кинетику разогрева ВГС [6], можно определить требуемую интенсивность подачи ВГС на один метр расчетной длины пропорционально водяному охлаждению:

$$\frac{dT / d\tau^{ВГС}}{dT / d\tau^{воды}} = \frac{I^{воды}}{I^{ВГС}}, \quad (1)$$

где T – температура, °С; τ – время нагрева, с; $I^{воды}$ ($I^{ВГС}$) – нормативная интенсивность подачи воды (ВГС) на один метр расчетной длины, л/с.

$$\frac{A^{ВГС}}{A^{воды}} = \frac{\lambda^{воды}}{\lambda^{ВГС}}, \quad (2)$$

где $A^{воды}$ ($A^{ВГС}$) – расчетное значение удельного сопротивления трубопровода для воды (ВГС) (определяется по справочным пособиям для гидравлического расчета водопроводных труб); для ВГС определяется как величина, зависящая от коэффициента вязкости и плотности состава. Расчетные значения коэффициентов трения и удельных сопротивлений трубопроводов для

немодифицированных и модифицированных ВГС с различными концентрациями РАП представлены в табл. 4–5.

λ – коэффициент трения, рассчитываемый по закону Гаген-Пуазейля для ламинарного режима течения жидкости в трубопроводе:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (3)$$

где Re – число Рейнольдса (должно быть меньше 2300 для ламинарного режима), рассчитываемое по формуле:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot V}{\eta}, \quad (4)$$

где ρ – плотность жидкости; d – диаметр трубопровода (во всех расчетах принимаем равным 150 мм); V – скорость потока в трубопроводе (принимаем для расчета максимальную скорость потока при ламинарном режиме течения равной 5 м/с); η – коэффициент динамической вязкости (определен экспериментально для ВГС).

Таблица 4. Коэффициенты трения и расчетные значения удельных сопротивлений трубопроводов для немодифицированных ВГС с различными концентрациями РАП

Концентрация РАП, масс. %	Число Рейнольдса	Коэффициент трения (Гаген-Пуазейля)	Расчетное значение удельного сопротивления трубопровода, А
0	500,00	0,128	0,00026740
0,1	1003,99	0,064	0,00013317
0,2	37,48	1,707	0,00356702
0,25	4,88	13,116	0,02740087
0,3	3,17	20,165	0,04212638
0,4	2,82	22,676	0,04737094
0,5	2,72	23,572	0,04924250
1	0,89	71,987	0,15038618

Таблица 5. Коэффициенты трения и расчетные значения удельных сопротивлений трубопроводов для модифицированных ВГС с различными концентрациями РАП

Концентрация РАП, %	Число Рейнольдса	Коэффициент трения (Гаген-Пуазейля)	Расчетное значение удельного сопротивления трубопровода, А
0	550,77	0,116	0,00026740
0,1	1205,01	0,053	0,00012222
0,2	38,17	1,677	0,00385851
0,25	4,92	13,005	0,02992750
0,3	3,07	20,878	0,04804528
0,4	2,81	22,754	0,05236123
0,5	2,73	23,444	0,05394989
1	0,99	64,460	0,14833524

Расчет проводился для различных типов резервуаров, с геометрическими параметрами согласно ГОСТ 31385–2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов». Диаметры и высота наружной стенки различных резервуаров представлена в табл. 6.

Таблица 6. Геометрические параметры РВС

Номинальный объем резервуара РВС, м ³	5000 Тип 1	5000 Тип 2	10000 Тип 1	10000 Тип 2	20000 Тип 1	20000 Тип 2	30000	40000	50000
Диаметр резервуара, м	22,8	20,92	28,5	34,2	39,9	47,7	45,6	56,9	60,7
Высота наружной стенки резервуара, м	12	15	18	12	18	12	18	18	18

Данные гидравлических расчетов для различных типов резервуаров представлены в табл. 7–10. Графическое представление полученных в результате гидравлического расчета напоров насосных станций с применением ВГС различных концентраций показано на рис. 2, 3.

Таблица 7. Результаты расчета напоров ВГС у подошвы резервуара в системе охлаждения немодифицированным гидрогелем

Концентрация РАП (масс.%)	Номинальный объем резервуара РВС, м ³								
	5000 Тип 1	5000 Тип 2	10000 Тип 1	10000 Тип 2	20000 Тип 1	20000 Тип 2	30000	40000	50000
0,00	22,85	25,65	28,19	24,88	32,57	29,83	34,84	41,31	44,16
0,10	22,14	25,11	28,27	22,47	28,75	23,28	29,12	30,18	30,65
0,20	56,20	51,40	94,95	137,84	212,14	336,93	303,08	563,00	677,68
0,25	376,60	298,69	721,84	1222,42	1935,87	3284,53	2877,75	5569,68	6757,30
0,30	148,49	122,54	275,99	451,60	711,41	1191,72	1049,51	2016,36	2443,06
0,40	239,36	192,67	453,83	759,34	1200,57	2028,28	1780,21	3437,46	4168,76
0,50	138,21	108,85	261,42	445,62	703,09	1196,43	1046,07	2026,99	2459,92
1,00	5259,98	4069,16	10269,81	17732,95	28167,21	48125,16	42048,38	81712,86	99209,64

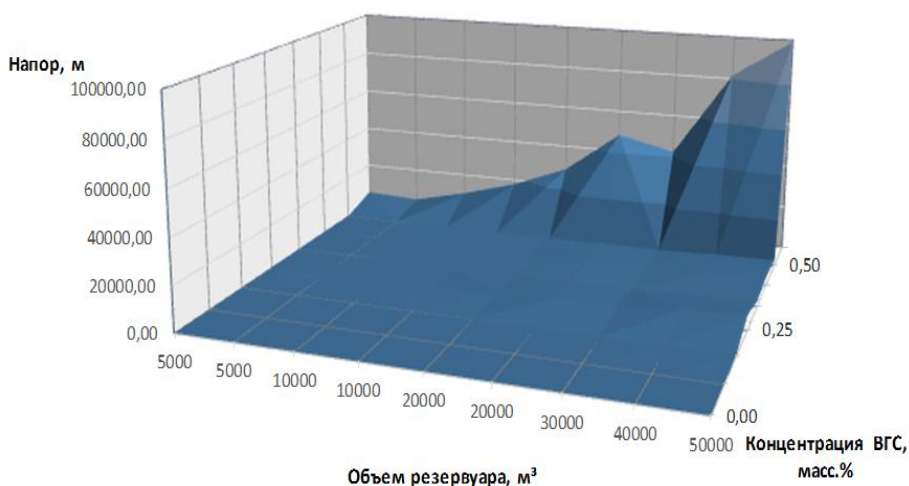


Рис. 2. Напоры насосных станций стационарных систем охлаждения резервуаров нефтепродуктов при использовании немодифицированных ВГС

Таблица 8. Результаты расчета напоров ВГС у подошвы резервуара в системе охлаждения модифицированным ПЧМС гидрогелем

Номинальный объем резервуара РВС, м ³									
Концентрация РАП (масс.%)	5000 Тип 1	5000 Тип 2	10000 Тип 1	10000 Тип 2	20000 Тип 1	20000 Тип 2	30000	40000	50000
0,00	22,85	25,65	28,19	24,88	32,57	29,83	34,84	41,31	44,16
0,10	22,06	25,05	28,12	22,21	28,34	22,58	28,51	28,99	29,21
0,20	34,59	34,71	52,68	64,75	96,00	138,37	129,63	225,81	268,25
0,25	322,40	256,84	615,94	1039,36	1645,12	2787,65	2443,67	4726,13	5733,15
0,30	463,13	365,43	891,46	1516,20	2403,18	4084,29	3576,19	6929,04	8408,33
0,40	295,01	235,62	562,76	947,84	1500,20	2540,74	2227,81	4308,01	5225,92
0,50	809,20	626,89	1573,60	2714,97	4308,88	7360,84	6430,89	12495,44	15170,93
1,00	6561,60	5074,39	12813,28	22129,50	35150,40	60059,27	52474,09	101973,53	123808,21

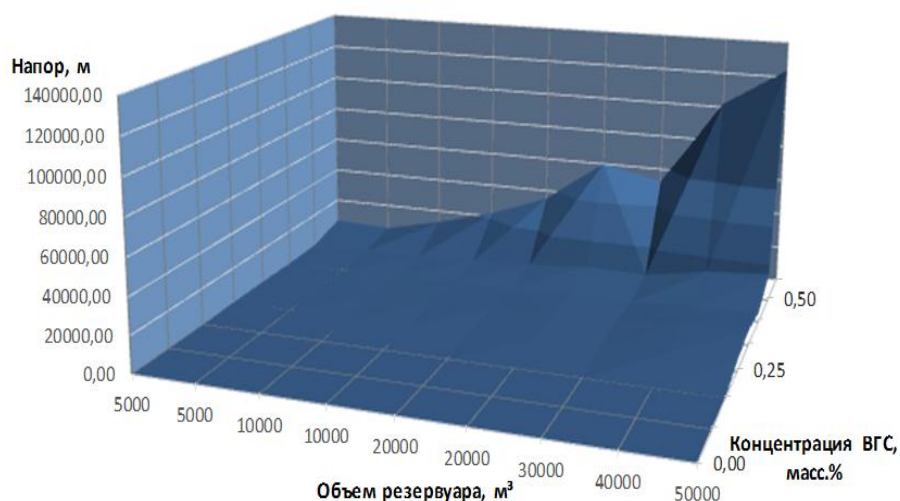


Рис. 3. Напоры насосных станций стационарных систем охлаждения резервуаров нефтепродуктов при использовании модифицированных ВГС

Таблица 9. Результаты расчета расходов немодифицированного гидрогеля в системе охлаждения резервуара

Номинальный объем резервуара РВС, м ³									
Концентрация РАП (масс.%)	5000 Тип 1	5000 Тип 2	10000 Тип 1	10000 Тип 2	20000 Тип 1	20000 Тип 2	30000	40000	50000
0,00	53,70	49,27	67,12	80,54	93,96	112,33	107,39	134,00	142,95
0,10	30,90	28,36	38,63	46,36	54,08	64,65	61,81	77,12	82,28
0,20	93,08	85,40	116,34	139,61	162,88	194,72	186,15	232,28	247,79
0,25	108,05	99,14	135,06	162,07	189,09	226,05	216,10	269,65	287,66
0,30	52,30	47,99	65,37	78,45	91,52	109,42	104,60	130,52	139,24
0,40	64,54	59,21	80,67	96,80	112,94	135,02	129,07	161,06	171,81
0,50	48,73	44,72	60,92	73,10	85,28	101,96	97,47	121,62	129,74
1,00	176,95	162,36	221,18	265,42	309,66	370,19	353,89	441,59	471,08

**Таблица 10. Результаты расчета расходов модифицированного гидрогеля
в системе охлаждения резервуара**

Концентрация РАП (масс.%)	Номинальный объем резервуара РВС, м ³								
	5000 Тип 1	5000 Тип 2	10000 Тип 1	10000 Тип 2	20000 Тип 1	20000 Тип 2	30000	40000	50000
0,00	53,69	49,27	67,12	80,54	93,96	112,33	107,39	134,00	142,95
0,10	21,80	20,00	27,25	32,70	38,15	45,61	43,60	54,40	58,03
0,20	54,50	50,00	68,12	81,75	95,37	114,01	108,99	136,00	145,09
0,25	95,22	87,37	119,02	142,83	166,63	199,20	190,43	237,63	253,50
0,30	91,09	83,58	113,86	136,63	159,40	190,57	182,18	227,32	242,50
0,40	68,76	63,09	85,95	103,14	120,33	143,86	137,53	171,60	183,07
0,50	115,57	106,04	144,46	173,35	202,24	241,78	231,14	288,41	307,67
1,00	199,01	182,60	248,77	298,52	348,27	416,36	398,03	496,66	529,83

Полученные экспериментальные и расчетные данные позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Преимущество применения ВГС в системах орошения заключается в технической возможности подачи охлаждающего вещества по уже существующим трубопроводам.

2. При использовании в качестве охлаждающего вещества ВГС по сравнению с водой происходит снижение интенсивности подачи огнетушащих веществ (ОТВ), времени охлаждения и расхода.

3. Модифицированные ВГС с концентрацией гелеобразующего полимера 0,2 масс. % обеспечивают наиболее эффективный отвод тепла от металлических конструкций резервуаров при минимальном расходе и могут применяться для интенсификации процессов теплообмена на пожаре. Составы с концентрацией более 0,3 масс. % обладают значительными теплоизолирующими характеристиками и могут применяться для изоляции металлоконструкций и нефтепродуктов от высоконагретых продуктов горения, возникающих при пожарах в резервуарных парках.

4. Данные гидравлических расчетов показывают эффективность применения модифицированных ВГС с концентрацией полимера 0,1 масс. % для охлаждения резервуаров объемом от 5 000 до 10 000 тыс. м³.

5. Применение модифицированных ВГС позволяет сократить расход воды на охлаждение в два раза, что может быть решающим фактором при выходе из строя систем противопожарного водоснабжения резервуарных парков.

6. Подача ВГС повышенной вязкости (при концентрации РАП свыше 0,3 масс. %) по системам орошения нецелесообразна вследствие значительных потерь напора и может быть использована для теплоизоляции негорящих резервуаров в условиях применения штатным пожарно-техническим оборудованием пожарно-спасательных подразделений.

7. Анализ расчетных характеристик гидравлического сопротивления трубопроводов для модифицированных и немодифицированных ВГС показывает, что модификация ВГС ПЧМП, вследствие изменения вязкости и плотности составов, позволяет снизить потери на трение ОТВ в трубопроводах, что позволит, в свою очередь, снизить расход ОТВ на 30–40 % по сравнению с немодифицированными ВГС.

Литература

1. Физико-химические свойства и коллоидные особенности электрофизически модифицированной воды и акрилового гидрогеля при использовании их огнетушащих и ранозаживляющих возможностей / Д.С. Азимов [и др.] // Известия Санкт-Петербургского технологического института (технического университета). 2018. № 47 (73). С. 57–61.

2. 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.

3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2019).

4. ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.09.2019).

5. Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для целей тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / Иванов А.В. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 4. С. 58–68.

6. Михайлова В.И., Иванов А.В., Трофимец В.Я. Влияние параметров модификации на теплозащитные характеристики водногелевых составов в условиях углеводородного горения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 79–87.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ ВОЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

С.В. Саркисов, доктор технических наук;

В.А. Вакуненко, кандидат технических наук;

В.И. Мусатов.

**Военный институт (инженерно-технический) Военной академии
материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева**

Рассмотрена проблема создания надежной системы водоотведения мобильных комплексов жизнеобеспечения малочисленных воинских подразделений Министерства обороны России. Кроме того, отражены различные варианты устройства таких систем водоотведения, приведены их достоинства и недостатки. Подробно описан способ отвода сточных вод посредством устройства вакуумной канализации, показаны перспективы ее использования. Выполнен анализ методик, применяемых в настоящее время для расчета вакуумной канализации малых населенных пунктов. Предложена усовершенствованная система самотечно-вакуумной канализации, позволяющая избежать необходимости соблюдения уклонов трубопроводов и их обязательной прокладки прямолинейно, а также избежать необходимости устройства низконадежных индивидуальных канализационно-насосных станций с индивидуальными напорными коллекторами.

Ключевые слова: водоотведение, вакуумная канализация, Арктика, мобильные комплексы жизнеобеспечения

THE USE OF VACUUM SEWERAGE AT MILITARY INFRASTRUCTURE FACILITIES IN THE ARCTIC REGION

S.V. Sarcisov; V.A. Vakunenkov; V.I. Musatov.

**Military institute (engineering and technical) of the Military academy logistics support them army
general A.V. Hrulev**

The problem of creating a reliable drainage system for mobile life support systems of small military units of the Russian Ministry of Defense is considered. In addition, various variants

of the device of such drainage systems are reflected, their advantages and disadvantages are given. The article describes in detail the method of wastewater disposal through a vacuum sewer device and shows the prospects for its use. An analysis of the methods currently used to calculate the vacuum sewerage of small settlements. An improved system of gravity-vacuum sewerage is proposed, which allows avoiding the need to observe slopes of pipelines and their obligatory routing in a straight line, as well as avoiding the need for low-reliable individual sewage pumping stations with individual pressure collectors.

Keywords: drainage, vacuum sewage, Arctic, mobile life support systems

В соответствии со «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [1] надежное обеспечение безопасности государственной границы Российской Федерации в Арктике становится одной из наиболее приоритетных задач развития в данном регионе.

Для этих целей в 2014 г. создана отдельная (арктическая) мотострелковая бригада. Кроме того, воссоздан аэродром «Темп» на острове Котельный архипелага Анжу, где активно возводятся и другие объекты военной инфраструктуры. Для обеспечения работы аэродрома возведен объект на 500 человек для проживания и несения службы.

На указанном выше архипелаге Министерство обороны Российской Федерации (МО РФ) планирует к размещению большое количество подразделений, которые должны в полном объеме обеспечить жизнедеятельность военнослужащих, выполняющих задачи, связанные с охраной государственной границы. Еще одной важной задачей является обеспечению судоходства в этом регионе, поэтому такие базы планируются на многих «Северных» островах.

Научными коллективами Военного института (инженерно-технического) ВИ(ИТ) Военной академии материально-технического обеспечения (МТО) разработаны проекты по размещению подразделений МО РФ в условиях Арктики с применением мобильных, сборно-разборных зданий и сооружений [2]. Также рассматриваются решения по организации функционирования систем жизнеобеспечения для этих климатических условий.



Рис. 1. Разработанный проект размещения подразделений МО РФ в условиях Крайнего Севера

Один из вариантов проработанных проектных решений размещения военных городков в Арктической зоне приведен на рис. 1. Этот вариант отличается тем, что позволяет компактно размещать большие группы военнослужащих, обеспечивая их всей необходимой инфраструктурой. Такие модули обладают необходимыми характеристиками для подобных сооружений: хорошей теплоизоляцией, минимально возможной площадью наружных поверхностей, защитой от заноса снегом (рис. 1) [3].

Второй вариант разработан на основе изучения зарубежного опыта обустройства полярных станций. В этом решении используются элементы, указанные на рис. 2. Такая

форма элементной базы позволяет конфигурировать городки с размещением до 500 человек, выполняющие задачи как военного и особого назначения, так и городки для добывающей промышленности или специальных служб (рис. 2).

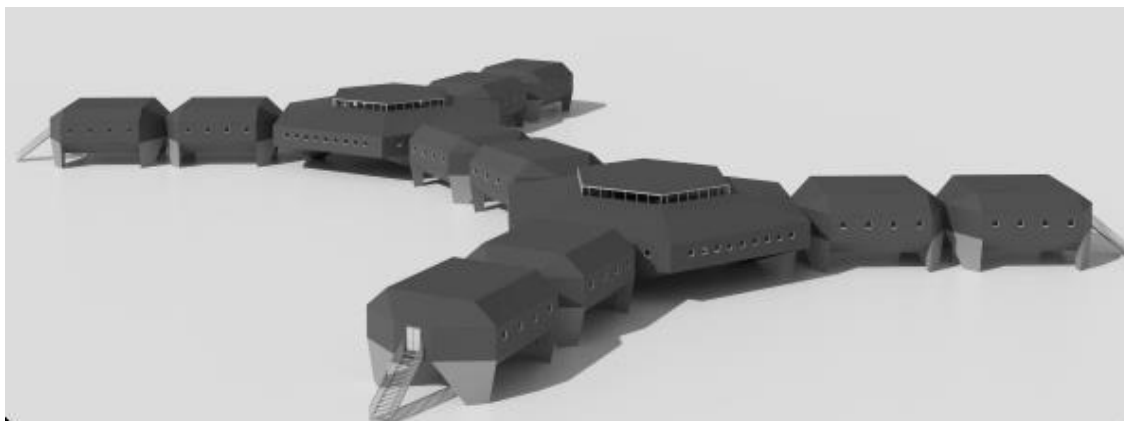


Рис. 2. Жилой комплекс на 250 человек

Помимо этого, по результатам работы исследовательских групп в ходе Специальных командно-штабных учений «Восток-2018» установлен ряд проблем, связанных с жизнеобеспечением малочисленных воинских подразделений при выполнении боевых задач в Арктическом регионе.

Для этих целей разработаны различные варианты комплектования мобильных комплексов жизнеобеспечения малочисленных воинских подразделений видов Вооруженных Сил и родов войск при выполнении задач в Арктическом регионе (рис. 3).

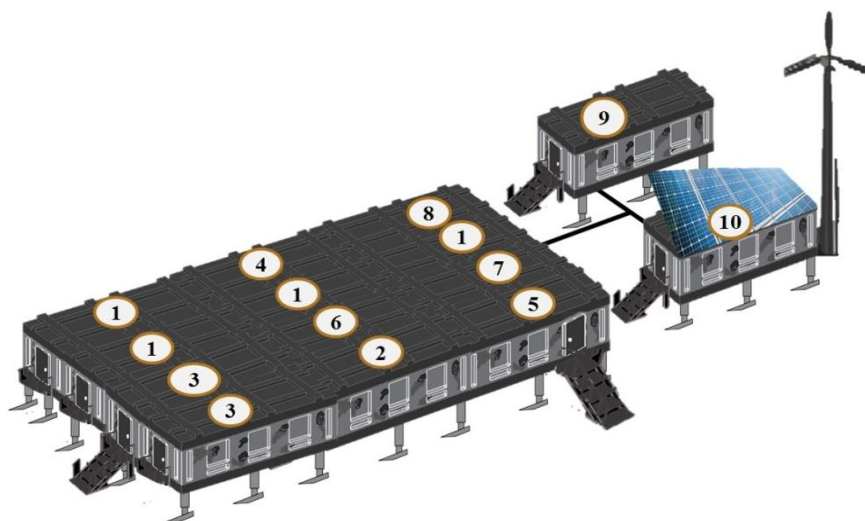


Рис. 3. Мобильный комплекс жизнеобеспечения:

1 – модуль отдыха личного состава; 2 – модуль-продовольственный склад; 3 – модуль пункта управления; 4 – модуль-лазарет; 5 – модуль санитарно-технический; 6 – модуль-столовая; 7 – модуль-кухня; 8 – модуль водообеспечения; 9 – модуль для оборудования дизельной электростанции; 10 – модуль комбинированной энергоустановки

Мобильный комплекс представляет собой сборно-разборное сооружение, состоящее из сопряженных между собой или отдельно-стоящих мобильных модулей жизнеобеспечения в полевых условиях, с комплектом жизнеобеспечения и применением автоматизированных автономных систем управления, энерго- и водоснабжения, противопожарной защиты.

Организация быта военнослужащих, выполняющих боевые задачи в Арктическом регионе, обуславливает устройство хозяйственно-бытовой канализации, предназначенной для сбора, транспортировки и очистки сточных вод.

Одной из основных задач исследования является выбор оптимальной системы водоотведения мобильных комплексов жизнеобеспечения для малочисленных воинских подразделений МО РФ, выполняющих боевые задачи в Арктике [4].

Результаты исследования

При проектировании водоотводящих систем военного городка (мобильного комплекса), расположенного в рассматриваемой климатической зоне, в качестве исходных данных принимают следующие факторы, встречающиеся в Арктическом регионе: вечная мерзлота, низкая температура воздуха, топографические условия, трудоемкость строительства и т.д.

Учитывая суровые условия района строительства, применение классических схем системы водоотведения с применением безнапорных и напорных трубопроводов приведет к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат по следующим причинам:

1. Применение безнапорных сетей требует обеспечения минимальных уклонов коллекторов, что в условиях вечной мерзлоты (невозможность подземной прокладки сетей) приведет к необходимости увеличения высотных отметок приборов, установленных в зданиях и сооружениях. При эксплуатации таких сетей существенно увеличатся затраты на их прочистку.

2. Применение напорных сетей требует оборудования в каждой зоне сооружения канализационных насосных станций небольшой производительности с индивидуальным напорным коллектором до очистных сооружений [5]. При эксплуатации таких канализационных насосных станций существенно увеличатся затраты ввиду низкой надежности индивидуальных канализационных насосных станций.

Альтернативным вариантом отведения стоков от зон различного назначения военного городка является применение комбинированной системы водоотведения, включающей в себя:

- классические безнапорные системы внутри зон отведения сточных вод с резервуарами-приемниками;
- вакуумные коллекторы с одной вакуумной станцией для транспортировки стоков от резервуаров-приемников до канализационных очистных сооружений.

В настоящее время вакуумная канализация в практике проектирования водоотводящих сетей в России не получила широкого применения из-за отсутствия норм ее расчета и конструирования. Хотя данные системы известны более 130 лет, а практическое промышленное использование осуществляется уже несколько десятилетий по всему миру. Опыт применения вакуумной канализации в России практически отсутствует, нет методик расчета таких систем [6–8].

Первые попытки использования данных систем в России предпринял «Водоканал Санкт-Петербурга» для малонаселенных поселков Торики и Лисий Нос Ленинградской области, основываясь на примерах и опыте, полученных из зарубежной практики [9].

Наиболее известными учеными и инженерами, которые внесли существенный вклад в развитие вакуумного транспортирования сточных вод, являются Й. Лильендаль, М. Роджерс, А. Хассет, И. Купер, Д. Резек, Р. Бец, Т. Асанаги, В.И. Нездойминов, Н.И. Григоренко и др. [10–12].

В научной работе [13] авторами предложена методика расчета необходимой величины поддерживаемого вакуума в трубопроводе системы вакуумной канализации. При этом учитывается изменение структуры потока на протяжении транспортировки сточных вод между коленами. Участок трубопровода между коленами разделен на расчетные участки с различной структурой потока: пузырьковой, расслоенной и снарядной. Представленные ниже формулы служат для определения потерь давления на этих участках (пузырьковой структуре соответствует формула (1), расслоенной – (2), снарядной – (3):

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_H = \rho_s \cdot \left(g \cdot \sin \alpha + 2 \cdot \frac{f_s}{d} v_s^2 \right); \quad (1)$$

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_P = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{4}{\pi \cdot d^2} \frac{L_L}{L} \left(\frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \cdot \overline{S}_G + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \cdot \overline{S}_L \right); \quad (2)$$

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_C = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + 2 \cdot \frac{f_s \cdot \rho_s}{d} v_s^2 \cdot \frac{L_s}{L} + \frac{4}{\pi \cdot d^2} \frac{L_L}{L} \left(\frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \cdot \overline{S}_G + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \cdot \overline{S}_L \right), \quad (3)$$

где ρ_s, ρ_G, ρ_L – плотность воздушной смеси, газа и жидкости, кг/м³; α – угол наклона трубопровода к горизонту; d – диаметр трубопровода, м; v_s, v_G, v_L – скорость водовоздушной смеси, газа и жидкости соответственно; f_s, f_G, f_L – коэффициент Фаннинга для водовоздушной смеси, газа и жидкости соответственно; L_L, L_s, L – длина трубопровода, занимаемого жидкостью, водовоздушной смесью и общая длина трубопровода; $\overline{S}_G, \overline{S}_L$ – смоченный периметр газа и жидкости, м.

Решая задачу проектирования и строительства систем канализации вахтовых поселков нефтяных месторождений Тюменской области, авторами статьи [14] модернизированы формулы (1–3), так как применяемый в них коэффициент Фаннинга применяется в основном за рубежом.

Выражая коэффициент Фаннинга через коэффициент гидравлического сопротивления λ ($f = \lambda/4$) и учитывая, что $L_s/L=1, L_L/L=1, \overline{S}_G = \overline{S}_L = \pi \cdot d/2, v_s = v_G = v_L$, в работе [13] получены следующие зависимости:

$$\Delta P_H = \rho_s \cdot \left(g \cdot \sin \alpha + \frac{\lambda_s}{2d} v_L^2 \right); \quad (4)$$

$$\Delta P_P = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{1}{4d} \left(\lambda_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2 + \lambda_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2 \right); \quad (5)$$

$$\Delta P_C = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{\lambda_s \cdot \rho_s}{d} v_L^2 + \frac{v_L^2}{4d} \left(\lambda_G \cdot \rho_G + \lambda_L \cdot \rho_L \right), \quad (6)$$

Авторы предлагают использование преобразованных формул (4–6) для расчета системы вакуумной канализации в северных районах с учетом зимних температур сточных вод.

Учитывая актуальность этого вопроса, а также активное использование блочно-модульной архитектуры при размещении личного состава в различных климатических условиях и, в том числе в Арктической зоне, на кафедре № 6 ВИ(ИТ) Военной академии МТО разработано решение по канализованию модульных военных городков, расположенных в условиях Крайнего Севера [15].

В связи со сложностью и зачастую невозможностью прокладки сетей канализации в грунте, в рассматриваемых условиях авторами предлагается прокладка трубопроводов системы канализации внутри сборных модулей. Но и прокладка коммуникаций водоотведения в модулях накладывает некоторые ограничения на технические и схемные решения. Это связано с тем, что большая часть объема сборного модуля используется для жизнедеятельности и работы личного состава, то есть в этих помещениях отсутствует место для прокладки канализационных труб диаметром от 50 мм, а также нет возможности соблюдения необходимого уклона для функционирования самотечной канализации. Предлагается разработка самотечно-вакуумной системы канализации (рис. 4).

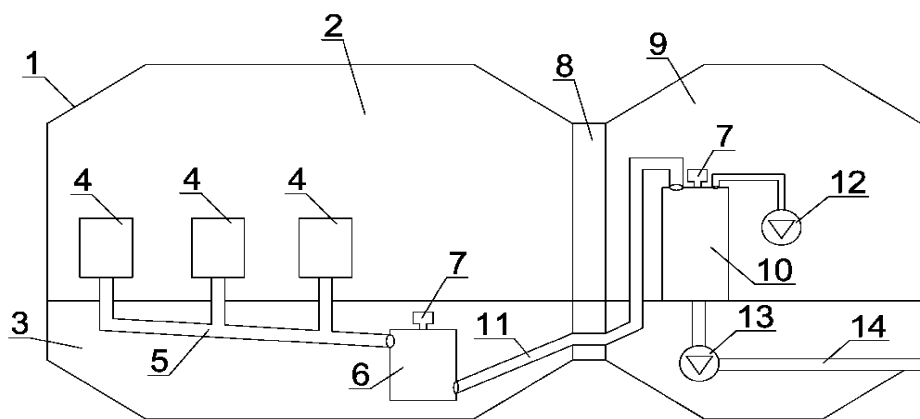


Рис. 4. Схема системы самотечно-вакуумной канализации:

- 1 – сборный модуль; 2 – жилая часть сборного модуля; 3 – технический подпол сборного модуля; 4 – санитарно-технические устройства; 5 – безнапорные трубопроводы; 6 – накопительная емкость; 7 – выпускной клапан; 8 – соединительный тамбур; 9 – технический модуль; 10 – сборный бак; 11 – напорный трубопровод; 12 – вакуумный насос; 13 – выпускной насос; 14 – отводящий трубопровод

Система работает следующим образом. Из санитарно-технических устройств, расположенных в жилой части блочно-модульной конструкции, сточные воды по безнапорным трубопроводам поступают в накопительную емкость, находящуюся в техническом подполе сборного модуля. При этом образовавшиеся газы выпускаются из накопительной емкости в атмосферу с помощью выпускного клапана с периодичностью t , в зависимости от расчетного расхода воды. При предельном наполнении накопительной емкости стоками включается вакуумный насос. Тем самым в системе канализации создается отрицательное давление, вследствие чего сточные воды из накопительной емкости поступают по напорному трубопроводу в сборный бак горodka, находящийся в техническом модуле. При опустении накопительной емкости вакуумный насос прекращает работу. Газы, накапливающиеся в общем сборном баке, выпускаются с помощью выпускного клапана с периодичностью n , в зависимости от расчетного расхода поступающей жидкости. После того, как сборный бак наполнится стоками до предельного уровня, выпускной насос отводит стоки на очистные сооружения по отводящему трубопроводу.

Отличительными особенностями предлагаемой системы водоотведения от существующих решений является:

- прокладка системы канализации внутри сборных модулей, что позволяет решить вопрос защиты системы от замерзания;
- использование трубопроводов небольших диаметров (до 50 мм), это упрощает монтаж и увеличивает вариативность прокладки;
- незасоряемость системы, поскольку движение стоков осуществляется со скоростью порядка 5–7 м/с;
- малый расход электроэнергии, так как насосы включаются в работу по мере необходимости [16].

В результате проведенного исследования разработана самотечно-вакуумная канализация для мобильных модулей жизнеобеспечения:

- по сравнению с безнапорными системами позволяет избежать необходимости соблюдения уклонов трубопроводов и их обязательной прокладки прямолинейно, что дополнительно упрощает устройство пересечений с другими инженерными сетями;
- по сравнению с напорными системами позволяет избежать необходимости устройства низконадежных индивидуальных канализационных насосных станций [5] с индивидуальными напорными коллекторами, так как для надежной работы системы достаточно одного сборного вакуумного коллектора.

Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечение национальной безопасности на период до 2020 года: утв. Президентом Рос. Федерации 8 февр. 2013 г. URL: <http://government.ru/> (дата обращения: 17.08.2019).
2. Климанов С.Г. Быстровозводимые мобильные комплексы в экстремальных условиях Крайнего Севера // Национальные приоритеты России. Сер. 1: Наука и военная безопасность. СПб.: ВА МТО, 2015. № 2 (2). С. 55–61.
3. Климанов С.Г., Лазыко Е.А. Модульные комплексы в обустройстве войск в условиях Крайнего Севера // Военный инженер. СПб.: Фонд содействия развитию «ВИТУ», 2017. № 2 (4). С. 60–65.
4. Анисимов Ю.П., Саркисов С.В. Основные положения программы модернизации водопроводно-канализационного хозяйства Министерства обороны Российской Федерации // Современное состояние эксплуатационного содержания казарменно-жилищного фонда Министерства обороны России и инновационные пути перспектив его развития: сб. докладов круглого стола. 2018. С. 55–63.
5. Саркисов С.В., Гринев А.П., Винокуров П.В. Исследование работы насосов при перекачке сточных вод на объектах военной инфраструктуры // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2018. № 1 (7). С. 289–301.
6. Иваненко И.И., Урпин Н.А. Методика расчета вакуумной канализации // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. М.: ООО «Синергия ПРЕСС», 2017. № 6. С. 56–60.
7. Рыбаков Р.Р. Инновации в строительстве. Наружная вакуумная канализация // Инженерные системы. 2014. № 3. С. 46–48.
8. Vacuflow (EN) Archieven // Qua Vac: [Б.м.]: Qua Vac, 2008–2017. URL: <http://QuaVac.com/category/vacuflow-en> (дата обращения: 10.08.2019).
9. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». URL: <http://www.vodokanal.spb.ru> (дата обращения: 10.08.2019).
10. Математическое описание газожидкостной структуры потока в системе транспортирования жидкости под вакуумом / В.И. Нездойминов [и др.] // Motrol. Commision of Motorization and Energeticsin Agriculture. 2013. Vol. 15. № 6. P. 125–132.
11. Рекомендации по методике расчета вакуумной канализации для малых населенных пунктов / В.И. Нездойминов [и др.] // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 7 (59). С. 105–111.
12. Григоренко Н.И., Дрозд Г.И. Определение параметров работы натуральных систем вакуумной канализации // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 4 (17). С. 129–140.
13. Нездойминов В.И., Григоренко Н.И. Применение на практике модели расчета системы вакуумной канализации // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 57–60.
14. Глущенко Е.С., Вялкова Е.И. Вакуумная канализация как инновационный способ отвода сточных вод в условиях Арктики // Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: ООО «Аэтерна», 2018. С. 6–10.
15. Булат Р.Е., Игнатчик В.С., Саркисов С.В. Направления научно-исследовательских работ Военного института (инженерно-технического) на современном этапе развития // Военный инженер. 2017. № 1 (3). С. 29–32.
16. Булат Р.Е., Саркисов С.В., Вакуненко В.А. Повышение эффективности функционирования жилищно-коммунального хозяйства Министерства обороны Российской Федерации // Военный инженер. 2018. № 4 (10). С. 32–39.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

О ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СДЕРЖИВАНИЯ ПОЖАРА

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

А.Л. Танклевский.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

А.А. Таранцев, доктор технических наук, профессор,

заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук

Приведена классификация автоматических установок пожаротушения и рассмотрены вопросы требований к автоматическим установкам сдерживания пожара в части перечня защищаемых помещений, интенсивности подачи огнетушащих веществ и времени работы. Приведены некоторые расчетные выражения.

Ключевые слова: автоматические установки пожаротушения, сдерживание пожара

ON THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF AUTOMATIC FIRE CONTAINMENT SYSTEMS

O.A. Zyбина; A.L. Tanklevsky. Saint-Petersburg politechnical university of the Peter the Grate.

A.A. Tarantsev. N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences

The classification of automatic fire extinguishing installations is given and the questions of requirements to automatic fire containment installations in terms of the list of protected premises, the intensity of supply of fire extinguishing agents and operating time are considered. Some calculation expressions are given.

Keywords: automatic fire extinguishing installations, fire containment

Автоматические установки пожаротушения (АУП) [1–4], срабатывающие при превышении опасными факторами пожара (ОФП) [4] пороговых значений, являются важным элементом системы пожарной безопасности в целом. Согласно ГОСТ [3] «предназначение АУП – локализация или тушение и ликвидация пожара».

Общая классификация АУП приведена на рис. 1, а рекомендуемые типы АУП в зависимости от целей защиты приведены в табл. 1.

В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) [5] помимо АУП водяного и пенного, газового, порошкового, аэрозольного, комбинированного, а также роботизированных АУП, оговорена необходимость создания и автоматических установок сдерживания пожара (АУСП) со следующими требованиями, согласно его ст. 117:

1. АУСП должны обеспечивать снижение скорости увеличения площади пожара и образования его ОФП.

2. АУСП должны применяться в помещениях, в которых применение других АУП нецелесообразно или технически невозможно.

3. Вид огнетушащих веществ (ОТВ), используемых в АУСП, определяется особенностями объекта защиты, вида и размещения пожарной нагрузки.

Таблица 1. Рекомендуемые типы АУП в зависимости от целей защиты

Тип установки пожаротушения	Обеспечение сохранности жизни и здоровья людей	Обеспечение сохранности материальных ценностей
Водяное	✓	--
Пенное	--	--
Газовое	--	✓
Порошковое	--	--
Аэрозольное	--	--
Тонкораспыленная вода (ТРВ)	✓	✓



Рис. 1. Классификация АУП

Автоматические установки сдерживания пожара

В этом п. 3 аналогия с нормой ч. 3 ст. 61 [5], предусматривающей, что тип АУП, вид ОТВ и способ его подачи в очаг пожара определяются в зависимости от вида горючего материала (пожарной нагрузки), объемно-планировочных решений здания и параметров окружающей среды.

При этом само понятие автоматические установки сдерживания пожара является новым. Ни данное понятие, ни близкие к нему понятия ранее не использовались в нормативных документах по пожарной безопасности [1–4]. Это, в свою очередь, предполагает необходимость конкретизации требований к АУСП по перечню защищаемых объектов, по виду ОТВ и интенсивности его подачи, по времени сдерживания пожара и т.п. при условии обеспечения надежности срабатывания и минимизации риска [6].

Основные требования к АУСП

1. При определении перечня помещений (зданий), где целесообразно оборудовать АУСП, следует основываться на следующих принципах:

а) ущерб от вторичного ОФП – излишне примененного ОТВ (пролившей воды) может превышать ущерб от первичных ОФП – пламени, теплового излучения и др.;

б) запас ОТВ (воды) ограничен;

в) на объекте имеется своя пожарная часть или добровольная пожарная дружина (ДПД), что гарантирует начало тушения до прибытия основных пожарных подразделений;

г) на защищаемом объекте находятся вещества, материалы, оборудование и т.п., контакт которых с применяемым ОТВ нежелателен или опасен.

Исходя из этого, в перечень могут войти:

– исторические и культовые здания, театры, музеи, выставочные комплексы и т.п.;

– энергетические и другие предприятия, где нужно тушить пожар класса Е без обесточивания оборудования;

– некоторые помещения лечебных и научных учреждений;

– помещения больших площадей при отсутствии противопожарных преград (в том числе склады с высокостеллажным хранением продукции, подземные автостоянки);

– объекты в северных широтах;

– эвакуационные пути специализированных и обычных зданий и т.п.

На рис. 2 показаны некоторые объекты, для защиты которых могут применяться АУСП.



а



б



в



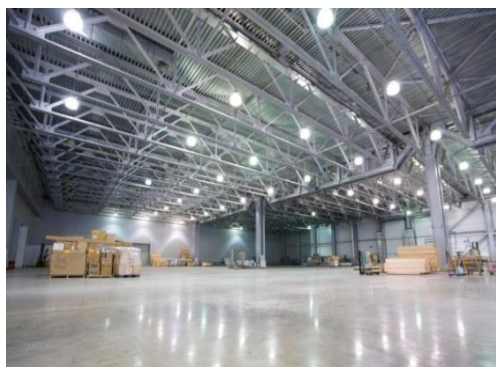
г



д



е



ж



з

Рис. 2. Объекты, на которых целесообразно применять АУСП
(а – музей; б – медицинский центр; в – исследовательская лаборатория;
г – объект в северных широтах; д – крупный цех; е – помещение с силовым
электрооборудованием; ж – склад; з – подземная автостоянка)

2. Снижение скорости V распространения пожара класса А (горение твердых горючих материалов) достигается подачей ОТВ (воды) в очаг пожара расходом q с учетом интенсивности I , которая может быть ниже нормативной I_n (согласно Своду правил [2], для культурно-зрелищных учреждений $I_n=0,08$ л/(м²с). Для этого можно воспользоваться выражением:

$$V \approx V_n \left(1 - \frac{I}{I_n} \right), \quad (1)$$

где V_n – нормативная (табличная) скорость распространения пламени по пожарной нагрузке (согласно [7], для зданий $V_n=0,5-1,5$ м/мин).

Из (1) следует, что при $I=0$ пожар развивается свободно – $V=V_n$, а при $I=I_n$ пожар может быть локализован, то есть $V=0$.

3. Требуемый запас ОТВ (воды) Q в зависимости от заданного времени τ_c сдерживания пожара и расхода q может быть найден как произведение:

$$Q = \tau_c q. \quad (2)$$

Выражение (2) пригодно также для решения обратной задачи – определения времени τ_c при ограниченном объеме Q и заданном расходе q .

4. Время сдерживания пожара, в свою очередь, может быть оценено по выражению:

$$\tau_c = k_3(\tau_1 + \tau_{бр}),$$

где τ_1 – время подачи первого ствола на тушение пожарными, отсчитываемое от момента срабатывания АУСП; $\tau_{бр}$ – время боевого развертывания, с; $k_3 > 1$ – коэффициент запаса, учитывающий случайные факторы.

5. Время τ_1 можно оценить, исходя из требований ст. 76 ФЗ № 123-ФЗ [5]: «Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется, исходя из условия, что время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 мин, а в сельских поселениях – 20 мин».

Время $\tau_{бр}$ можно определить, исходя из требований Боевого устава [8] с учетом этажности здания, его степени огнестойкости и других факторов.

Таким образом, АУСП должна сдерживать пожар не менее времени τ_c , после чего вся ответственность за локализацию и ликвидацию пожара, согласно [8], ложится на прибывших

должностных лиц пожарной охраны – руководителя тушения пожара (РТП), начальника боевого участка (НБУ) и др.

6. Кроме того, АУСП могут применяться для осаждения дыма, снижения температуры в помещениях и повышения пределов огнестойкости строительных конструкций и противопожарных преград за счет их орошения.

7. Сдерживание образования (распространения) ОФП, например с применением водяных завес от АУСП, может интерпретироваться как создание неких противопожарных преград с условными пределами огнестойкости. По аналогии с признаками R, E, I, S, W и временами (в минутах) достижения предельных состояний могут быть предложены следующие обозначения: С 15, С 30, С 45.... Это означает, что АУСП будет сдерживать пожар 15, 30, 45... мин в зависимости от интенсивности и продолжительности подачи воды.

В Своде правил [2] для блокирования распространения ОФП [5] водяными завесами приведены требования к интенсивности подачи воды АУП – 1 л/с/м. Если же необходимо сдерживать опасное воздействие теплового (лучистого) потока, то требуемый расход воды G может быть оценен из выражения [9]:

$$G = k \varepsilon_{\text{П}} \varepsilon_{\text{В}} \frac{\sigma (T_{\text{П}}^4 - T_{\text{В}}^4)}{r + C_{\text{В}} \Delta T}, \quad (3)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11}$ кВт·м⁻²·К⁻⁴ – постоянная Стефана-Больцмана; $r \approx 2200$ кДж/кг – удельная теплота парообразования воды; $C_{\text{В}} \approx 4,2$ кДж/кг·К – удельная теплоемкость воды; ΔT – разность между температурой кипения воды и ее начальной температурой; $T_{\text{П}}$, $T_{\text{В}}$ – температуры пламени и воды, соответственно, К; $\varepsilon_{\text{П}}$, $\varepsilon_{\text{В}}$ – степени черноты пламени и воды соответственно; $k > 1$ – коэффициент, учитывающий соотношение площадей пламени и воды, коэффициент облученности [9] и развитость поверхностей, а также случайные факторы.

Предварительные оценки с учетом выражения (3) для различных вариантов завес показали, что интенсивность подачи воды для сдерживания теплового излучения при классах пожаров А и В [5] могут быть ниже вышеуказанной величины, время сдерживания будет обуславливаться временем подачи воды, а общий ее запас Q определяться по выражению (2).

Таким образом, создание АУСП является новым и обоснованным шагом в обеспечении пожарной безопасности ряда объектов. Формулировка требований к АУСП – предмет отдельного комплекса научно-исследовательских работ с последующей разработкой соответствующего нормативного документа.

Литература

1. ГОСТ 12.3.046–91. ССБТ. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
2. СП 5.13130.2013. ССБТ. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.08.2019).
3. ГОСТ 12.4.009–83. ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
4. Автоматические установки пожаротушения. АУП-ГЕФЕСТ. Проектирование. СТО 420541.004. ВНПБ 40-16. М.: МЧС России, 2016. 56 с.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Крымский В.В., Панков А.Е. Система риск-контроллинга промышленного предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. 2014. № 2 (192). С. 114–122.
7. Теренбёв В.В. Справочник РТП. М.: ПожКнига, 2004. 248 с.

8. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: Приказ МЧС России от 16 окт. 2017 г. № 444. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

9. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справ. / Е.В. Аметистов [и др.]; под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982. 512 с.

ЭФФЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА ОРГАНИЗАЦИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ

**А.П. Карташова, кандидат физико-математических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены основные причины падения внешней квантовой эффективности светодиодов на основе InGaN/GaN полупроводниковых гетероструктур. Представлены результаты исследования вклада сложного характера организации наноматериала в процессы рекомбинации. Наблюдаемые эффекты позволяют сделать вывод об ограничении применения ABC-модели для описания рекомбинационных процессов.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасные объекты, твердотельное освещение, Оже-рекомбинация, ABC-модель, характер организации наноматериала, внешняя квантовая эффективность

THE EFFECTS OF INFLUENCE OF NANOSTRUCTURAL ARRANGEMENT OF THE MATERIALS ON OPTICAL PROPERTIES OF LIGHT EMITTING DIODES

A.P. Kartashova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The main reasons for the efficiency droop in InGaN/GaN LEDs semiconductor heterostructures are considered. The results of the study of the contribution of the complex nature of the nanostructural arrangement of the material in the recombination processes are presented. The observed effects allow us to conclude that the application of the generally accepted ABC model of recombination processes description is limited.

Keywords: fire and explosion hazard objects, solid-state lighting, Auger recombination, ABC-model, nanostructural arrangement of the material, external quantum efficiency

В настоящее время светодиодные светильники на основе InGaN/GaN квантоворазмерных структур являются наиболее безопасными и энергосберегающими осветительными приборами. Безопасными их делает возможность низковольтного питания, а в случае их повреждения исключаются проявления сопутствующих факторов пожара и взрыва. Такие светильники удовлетворяют требованиям, предъявляемым к оборудованию освещения пожаровзрывоопасных объектов [1]. В последние годы достигнуты высокие значения эффективности, близкие к теоретическим значениям, таких светильников при плотностях тока менее 10 А/см^2 . Для снижения стоимости 1 лм света предпочтительным является рабочий режим с большими плотностями тока до 100 А/см^2 . Однако практика и наука столкнулись с проблемой падения эффективности светильников при плотностях тока более 10 А/см^2 . Многолетние исследования показали, что проблема носит фундаментальный характер, вызванный особенностями внутренней структуры материала InGaN/GaN полупроводниковых гетероструктур.

Причинами падения внешней квантовой эффективности могут быть механизмы Оже-рекомбинации, утечки электронов, рекомбинация дефектов, генерируемых под действием инжекционного тока.

III – нитриды, в том числе InGaN/GaN гетероструктуры, формируются в условиях рассогласования постоянных решетки слоев относительно подложки, что является причиной образования сложной внутренней структуры материала, включающей прорастающие дислокации, их скопления, дилатационные и дислокационные границы, неоднородно распределенные по объему и пронизывающие всю структуру. Эти особенности дефектной системы сильно зависят от ростовых условий и определяют многочисленные формы характера организации наноматериала от плохо сросшихся колонн до квази-эпитаксиального материала со следами плохо сросшихся границ, типичного для современных эффективных светодиодов. Кроме того, общеизвестно, что для твердого раствора InGaN характерно явление фазового распада. Из-за большого рассогласования параметров решеток InGaN и GaN состав In в квантовой яме неоднородный и сильно зависит от условий и морфологии GaN слоя.

Современное материаловедение описывает подобные неоднородные структуры как системы с нелинейными свойствами, имеющими фрактальную размерность. Сложная дефектная система и фазовый распад являются по существу проявлениями фрактальной природы этих наноструктур. Важная роль этих проявлений в формировании электрических и оптических свойств была обнаружена в первых экспериментах по росту нитрида галлия. В многочисленных работах была выяснена сильная зависимость подвижности носителей заряда от режима роста зародышевых и буферных слоев, при этом проводились исследования поверхностей методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). При этом однозначной связи с шероховатостью и плотностью дислокаций не было обнаружено.

Хорошо известно, что сложная структурная организация III-нитридов является типичной для GaN эпитаксиальных слоев гексагональной модификации. Тем не менее данных по влиянию особенностей мозаичной структуры на электрические и оптические свойства приборных структур недостаточно. В большинстве работ особенности проанализированы на локальном уровне (из данных ПЭМ), на интегральном уровне (рентгеновская дифрактометрия) или на качественном уровне (используя атомно-силовую микроскопию). Результаты, получаемые при исследовании этими методами, вряд ли могут полностью показать важные особенности мозаичной структуры. Известно, что самоорганизация в неравновесной дефектной системе в виде мозаичной структуры занимает наиболее высокий ранг по шкале классификации дефектов в твердых телах. Похожие дефекты, в частности, с мозаичной структурой, хорошо изучены в металлургии. Особенности системы протяженных дефектов, связанные с различными углами наклона и разворота доменов мозаичной структуры и многочисленными прорастающими винтовыми дислокациями, отражаются на морфологии поверхности. Было показано, что исследования поверхностной топологии объектов со сложной структурой с последующей обработкой данных методами мультифрактального анализа позволяют количественно характеризовать особенности наноматериалов.

Исследования методами катодолюминесценции с пространственным разрешением при различных токах электронного пучка показали, что часть прорастающих дислокаций при высоком уровне инжекции изменяет свои свойства и становится центрами безызлучательной рекомбинации [2]. При низких плотностях тока дислокации не участвуют в рекомбинации носителей из-за локальных потенциалов, экранирующих взаимодействие носителей с дислокациями. В изображениях катодолюминесценции это соответствует увеличению темного контраста вокруг дислокаций. Методиками устранения несоответствий в параметрах между подложкой и растущим слоем и уменьшения плотности дислокаций являются создание новых подходов к гомо- и гетероэпитаксии соединений на основе III-нитридов.

Одним из возможных каналов безызлучательной рекомбинации является Оже-рекомбинация или ударная рекомбинация. При этом энергия рекомбинирующих электрона и дырки передается третьему носителю посредством кулоновского взаимодействия.

Наиболее популярной моделью описания рекомбинационных процессов в полупроводниках является так называемая ABC-модель. Согласно модели уравнение $G_R = An + Bn^2 + Cn^3$ описывает скорость рекомбинации, а уравнение:

$$\eta = Bn^2 / (An + Bn^2 + Cn^3)$$

внутренний квантовый выход излучения, где A – коэффициент рекомбинации Шокли-Рида-Холла; B – коэффициент спонтанной эмиссии; C – коэффициент Оже-рекомбинации; n – концентрация неравновесных носителей.

ABC-модель основана на принципе преобладания процесса безызлучательной рекомбинации через точечные дефекты, создающие глубокие уровни в запрещенной зоне в обедненной области с довольно однородным их распределением. Механизм рекомбинации Шокли-Рида-Холла проявляется при коэффициенте идеальности 1,5–2 в прямых ветвях вольт-амперной характеристики при смещениях меньших, чем высота барьера.

В данной работе выясняется вклад сложного характера организации наноматериала в процессы рекомбинации. Исследованы три типа структур, количественно охарактеризованных с помощью методов мультифрактального анализа. Обратные ветви вольт-амперных характеристик светодиодов с различным характером организации показаны на рис. 1. Светодиоды с минимальной токовой утечкой (рис. 1, кривая 1) имеют хороший характер организации. Им соответствуют структуры с двухмерным ростом и слабо развитой системой протяженных дефектов. Светодиоды с плохой упорядоченностью структуры (трехмерный рост с значительной разупорядоченностью и высокой проводимостью системы протяженных дефектов) имеют максимальные токи утечки (рис. 1, кривая 3). Промежуточному характеру организации соответствует кривая 2 (рис. 1). Потери связаны с выходом части инжектированных носителей в систему протяженных дефектов. Таким образом, нет связи при $U < 2,5$ В между потерями и безызлучательной рекомбинацией через глубокие уровни в запрещенной зоне в обедненной области (A коэффициент). С ростом концентрации носителей и напряженности поля будет меняться динамика электронных свойств проникающих дислокаций и приводить к изменению туннельного вклада канала безызлучательной рекомбинации.

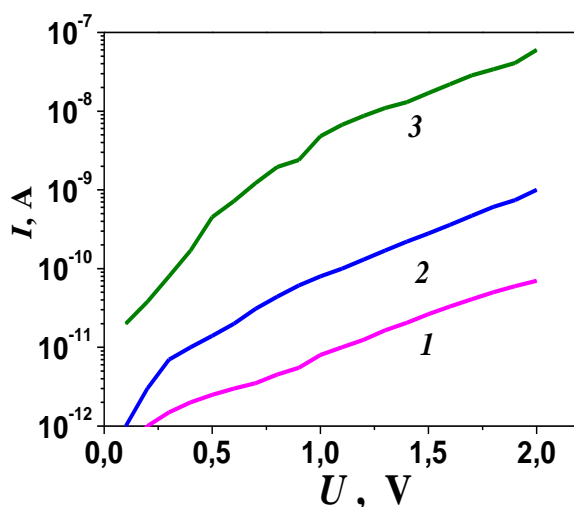


Рис. 1. Обратные ветви вольт-амперной характеристики с отличающимися токами утечки и разным характером организации наноматериала

Исследование зависимостей спектральной плотности низкочастотного токового шума S_I от плотности тока j (рис. 2) светодиодов с различным характером организации и утечками токов позволяет обнаружить сложную динамику безызлучательной рекомбинации в широком диапазоне токов инжекции. При этом можно обнаружить три типичных области плотности тока. При $j < 10^{-2}$ A/cm² спектральная плотность шума S_I увеличивается с увеличением плотности тока j . Это происходит из-за заполнения уровней ловушек, локализованных в системе протяженных дефектов вблизи краев зон. Затем, с увеличением плотности тока, при 10^{-2} A/cm² $< j < 1$ A/cm² наблюдается участок начала излучательной рекомбинации и подавления шума. Вид зависимости $S_I(j)$ заметно отличается от типичного механизма заполнения только ловушек $S_I \sim j^2$. Таким образом, нет связи между этим поведением и поведением, предсказанным АВС-моделью. При плотностях тока $j > 10$ A/cm² зависимость $S_I(j)$ растет как $S \sim j^3$, что свидетельствует о динамике изменения дефектной структуры в условиях высокой инжекции.

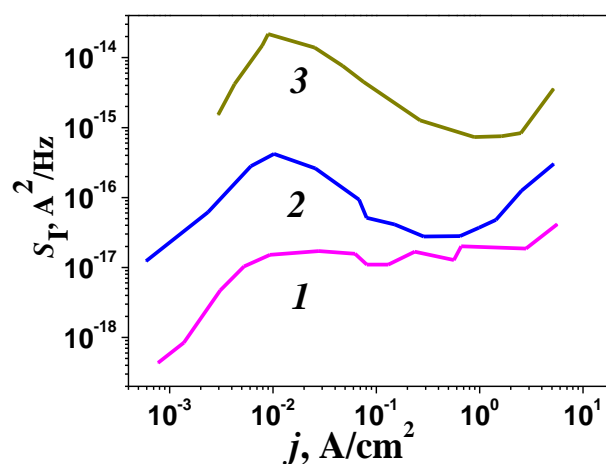


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности шума от плотности тока для светодиодов с токами утечки (рис. 1). Частота измерений 1,22 Гц

Таким образом, процессы рекомбинации в InGaN/GaN светодиодах являются более сложными, чем в приборах, основанных на традиционных АЗВ5 материалах, и не могут быть однозначно описаны только механизмом Шокли-Рида-Холла рекомбинации, особенно при $j > 10$ A/cm².

Полученные результаты ставят под сомнение предположение, что внутрizonная Оже-рекомбинация, описываемая АВС-моделью, является главным механизмом, ведущим к рекомбинационным потерям в InGaN/GaN светодиодах при больших плотностях тока. Тем не менее, могут быть задействованы другие механизмы Оже-рекомбинации. Таким образом, существование системы протяженных дефектов ограничивает применение модели для описания эффекта падения внешней квантовой эффективности.

Эффект падения квантовой эффективности с ростом плотности тока светодиодов ограничивает их применение для освещения пожаровзрывоопасных объектов. Поэтому выяснение причин эффекта остается актуальной задачей.

Литература

1. Карташова А.П. Твердотельное освещение пожаровзрывоопасных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 76–86.
2. Galia Pozina, Rafal Ciechonski, Zhaoxia Bi, Lars Samuelson, Bo Monemar. Dislocation related droop in InGaN/GaN light emitting diodes investigated via cathodoluminescence // Applied Physics Letters 107. 2006 (2015).

МОБИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

А.В. Скрипка, кандидат технических наук;

А.А. Королев;

Н.В. Лоскутов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Отображен анализ специальных базовых шасси, которые могут быть использованы для установки модуля импульсного пожаротушения. Изучены и проанализированы тактико-технические характеристики специальной техники. Актуальность исследования обусловлена увеличением техногенных аварий и стремлением снизить влияние опасных факторов пожара на работников пожарной охраны.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, специальное шасси, мобильная установка импульсного тушения, защита экипажа

MOBILE PULSE FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

A.V. Skripka; A.A. Korolev; N.V. Loskutov.

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

The analysis of special basic chassis, which can be used for installation of pulse fire extinguishing module, is displayed. Studied and analyzed the tactical and technical characteristics of special equipment. The relevance of the study is due to the increase in man-made accidents and the desire to reduce the impact of fire hazards on fire protection workers.

Keywords: fire truck, special chassis, mobile pulse extinguishing system, crew protection

В современном мире с развитием общества и его потребностей растет количество производственных объектов. А вместе с этим возрастают вероятность возникновения чрезвычайно опасных техногенных аварий.

Нередко во время возникновения пожаров пожарно-спасательным формированиям не сразу удается взять под контроль развитие пожара, локализовать его и провести ликвидацию, особенно на производственных объектах.

Во время тушения пожара могут возникать различные ситуации. Так, например, во время тушения пожара на складах твердых горючих материалов, нефтеперерабатывающих производствах и военных объектах происходит возникновение опасных факторов пожара (ОФП), которые могут привести к резкому повышению температуры внутри очага и вокруг пожара, а из-за этого к разрушению строительных конструкций или взрыву.

Данные последствия оказывают негативное влияние на проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР), приводят к большому экономическому ущербу и возникновению угрозы жизни и здоровью работникам производства и пожарным [1].

Каждый день сотрудники пожарной охраны рискуют своей жизнью во время борьбы с огненной стихией. Ниже приведены несколько последних техногенных аварий, которые привели к гибели пожарных.

Город Владикавказ, 21 октября 2018 г., завод «Электроцинк». Во время тушения пожара вследствие больших температур произошло обрушение конструкций и гибель пожарного.

Москва, ночь с 22 на 23 сентября 2016 г., складской комплекс на Амурской улице. Пожар вышел из-под контроля, при тушении пожара произошла неоправданная гибель восьми пожарных. Они погибли от обрушения перекрытий кровли, которая потеряла свою несущую способность из-за перегрева конструкции.

В целях снижения опасности влияния ОФП на жизнь и здоровье сотрудников пожарно-спасательных формирований подразделениями пожарной охраны используются различные современные образцы пожарной техники.

В мире есть множество примеров изготовления пожарных машин на базе специальной автомобильной техники. Каждая база имеет свою характерную особенность. Гусеничные шасси обладают хорошими качествами проходимости в условиях бездорожья, колесные установки имеют лучшие скоростные, маневренные характеристики по отношению к первым видам [2].

В использовании военной автомобильной техники в пожарной охране есть ряд существенных плюсов. Она рассчитана под большую массу на шасси, например, орудием с полным боекомплектом либо сравнительно большим запасом нагрузки в виде понтонных мостов, подвозимого дополнительного боекомплекта. А самое важное, что эта техника дополнительно оборудуется бронированием для защиты экипажа и самого оборудования от негативных факторов на определенный промежуток времени.

В последнее время по заказу Министерства обороны оборонная промышленность существенно нарастила разработку и выпуск современных видов транспорта, при этом незначительно увеличивая стоимость техники. Повышенная проходимость данной техники позволяет доставить личный состав в необходимую точку как по дорогам, так и по бездорожью. Скорость, которая позволит выйти из-под вражеского огня за короткий промежуток времени. Бронирование, которое спасет экипаж и десант от пулевых попаданий, а также осколочно-фугасного поражения. Вот концепция современного броневедомохода.

При выборе базы для мобильной установки импульсного пожаротушения необходимо было руководствоваться тремя параметрами: скоростными данными, стоимостью автомобиля и эксплуатации, а также параметрами защиты экипажа, которые были рассмотрены ранее.

Автомобили, которые могут послужить в качестве основы: были выбраны базовые шасси Урал-63095 (Тайфун У) (рис. 1), КамАЗ-5350 (рис. 2), КамАЗ-6560 (Торнадо) (рис. 3), КамАЗ-6560М (рис. 4). Данные отечественные специальные автомобили обладают прекрасной проходимостью по бездорожью, не теряя скоростных параметров, что является наиболее важным в пожарной охране.



Рис. 1. Урал-63095

Рассмотрим конкретно каждый автомобиль. Урал-63095 (Тайфун У) является достойным сменщиком своего предшественника Урал-4320. Он идеально справлялся с поставленными задачами в тех местах, где требовалась повышенная проходимость и при этом способность вывезти с собой достаточно много огнетушащих веществ (ОТВ) по сравнению со своими коллегами из пожарной охраны. Новый Урал обладает следующими массово-габаритными характеристиками: длина 8 850 мм, ширина 2 550 мм, тип брони: противоминная,

противопульная от пуль 14,5 мм, боевая масса с бронированным съемным модулем 24,5 т, скорость движения по шоссе 100 км/ч, двигатель ЯМЗ-5367 мощностью 450 л.с. [3].

Перейдем к КамАЗам. КамАЗ-53501 «Мустанг», данный автомобиль военного назначения с колесной формулой 6х6 был представлен миру еще в 2003 г. На базе этого автомобиля было сделано множество армейских бортовых грузовиков. Он обладает следующими техническими характеристиками: длина 7 960 мм, ширина 2 550 мм, полная масса 15 800 кг, максимальная скорость 100 км/ч и мощностью двигателя 260 л.с. Эти автомобили получили широкое применение в гражданской промышленности, а также в пожарной охране.



Рис. 2. КамАЗ-5350

В 2005 г. Камским автомобильным заводом было представлено шасси КамАЗ-6560. Оно было надлено четвертой осью и увеличена грузоподъемность до 23,5 т. И в конце первого десятилетия оно было по достоинству оценено множеством заказчиков Камского автомобильного завода. В том числе, высокую оценку дало Министерство обороны Российской Федерации, для которого оно и разрабатывалось изначально. В настоящее время база КамАЗ 6560 выпускается в модификации 6560-43 в двух вариантах шасси:

– бортовой грузовик (6560-6610-43) – из них было сделано множество тяжелых грузовиков как для армии, так и для частных компаний;

– 6560-3198-43. Остановимся на втором варианте данного шасси, которое приспособлено для установки спецнастроек, например ЗРПК «Панцирь-С», КС-65713 (кран строительный «Галичанин») и др.



Рис. 3. КамАЗ-6560

Грузовик имеет следующие массово-габаритные характеристики: длина 11 365 мм, ширина 2 550 мм, грузоподъемность 23,5 т, полная масса 38 т. Они идеально подходят для размещения на шасси многоствольной установки импульсного тушения.

КамАЗ 6560М является модернизацией ранее рассмотренного автомобиля. Есть ряд существенных отличий и особенностей данного грузовика. Одна из главных – это усиленное бронирование кабины и рамы целиком по сравнению с его предшественником 6560. Она схожая с бронированием Урал-63095. Кабина выполнена в стиле грузовиков класса «Тайфун», международной классификации «MRAP». Ее бронирования хватит, чтобы выдержать даже несколько попаданий из автоматической 30 мм пушки. Массово-габаритные характеристики имеют схожие характеристики с КамАЗ-6560. Поэтому авторами будет предложено установить аналогичный порядок расположения модуля и резервных зарядов с ОТВ.



Рис. 4. КамАЗ-6560М

В случае с пожарным автомобилем бронирование однозначно будет плюсом. Ведь любой руководитель хочет минимизировать шансы получения травм и тем более гибели его подчиненных. Но есть и существенный недостаток – это стоимость производства данного грузовика. Ниже приведена таблица массово-габаритных характеристик каждого автомобиля с учетом затрат на их покупку (табл.) [5].

Таблица

Наименование	Урал-63095	КамАЗ-5350	КамАЗ-6560	КамАЗ-6560М
Длина, мм	8850	7960	11365	11365
Ширина, мм	2550	2550	2550	2550
Высота с модулем, мм	3670	3380	3425	3425
Мощность двигателя, л.с.	450	260	400	550
Максимальная скорость, км/ч	100	100	90	100
Грузоподъемность, кг	4000	6000	23525	25400
Полная масса, кг	28500	15850	38000	40000
Бронирование, класс	6	отсутствует	отсутствует	6
Запас ОТВ, количество	40	40	120	120
Ориентировочная стоимость, руб.	25 000 000	12 000 000	15 500 000	23 000 000

Ориентировочно стоимость КамАЗ-53501 с установленной на ней установкой 12 000 000 руб. (рис. 5), но он способен нести на себе всего лишь 40 запасных зарядов с ОТВ. На шасси КамАЗ-6560 (рис. 6) можно разместить 120 запасных зарядов, его стоимость увеличилась на 3 500 000 руб. Что касается автомобилей, оснащенных бронированием, то их стоимость значительно выше, так, например, КамАЗ-6560М стоит около 23 млн руб., в то время как Урал-63095 (рис. 7) оценивается приблизительно в 25 млн руб. Поэтому в условиях ограниченного финансирования наиболее перспективным вариантом базового шасси для мобильной установки порошкового тушения «Импульс» будет КамАЗ-53501 и КамАЗ-6560, которые по приблизительным данным оцениваются в 12–15 млн руб.

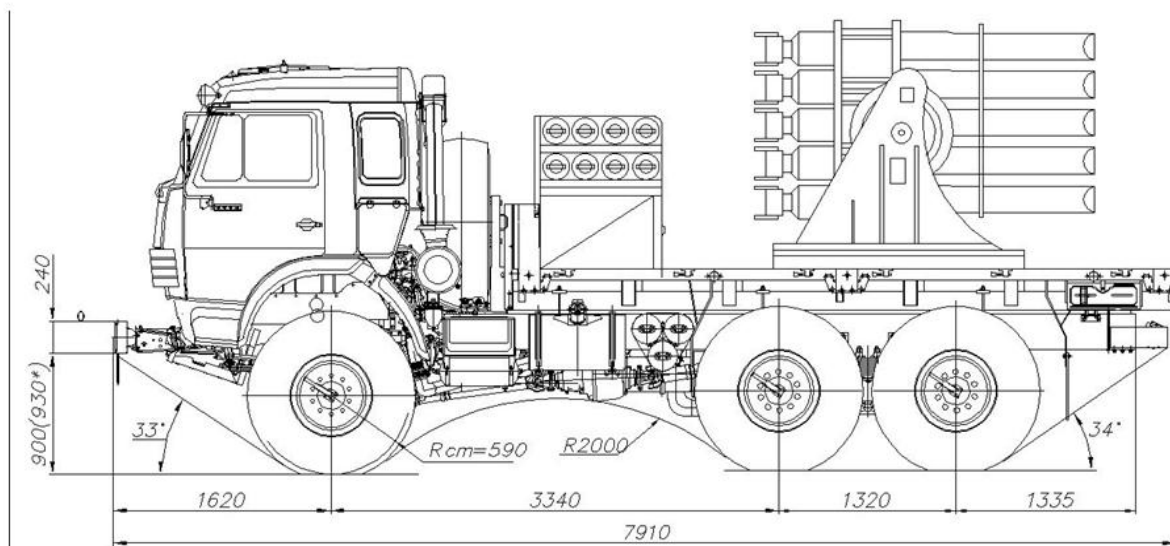


Рис. 5. КамАЗ-53501

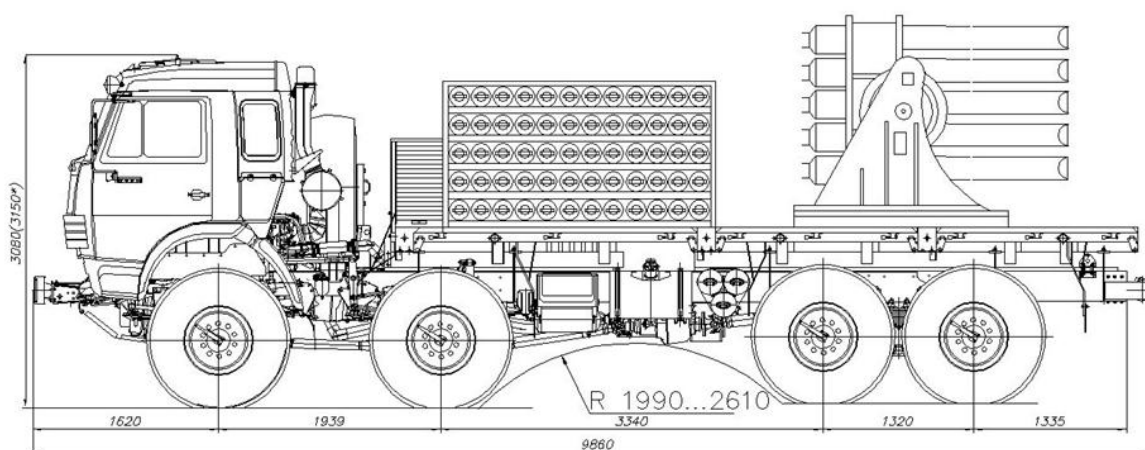


Рис. 6. КамАЗ-6560

Поэтому, исходя из параметров: что за вещество и какие объемы необходимо защитить, будет понятен выбор, какую из предложенных установок будет наиболее рационально приобрести. Так, например, на склад боеприпасов будет логично приобрести бронированную установку, чтобы не подвергать опасности поражения боевыми элементами личный состав пожарной охраны и минимизировать ущерб техники, участвующей в тушении пожара.

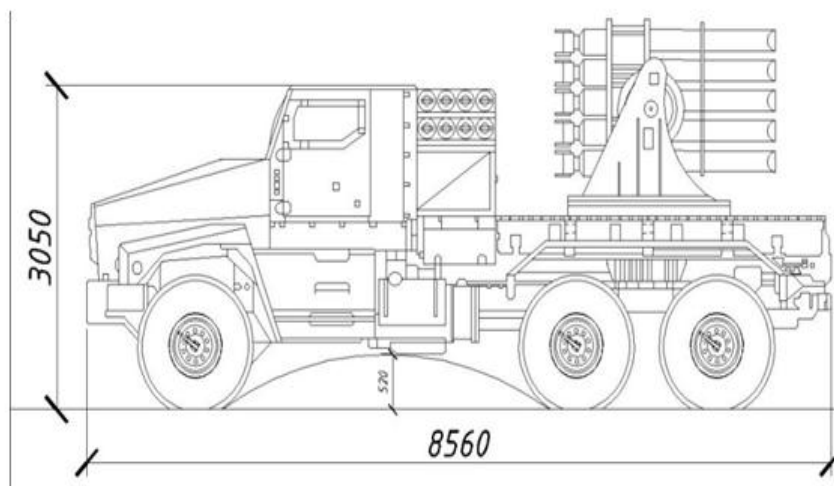


Рис. 7

Один из немаловажных параметров для любой техники это высота. Требования к железнодорожным грузоперевозкам определяются зонами и степенями негабаритности. Так самой крайней точкой вагона допускается 5 300 мм, чтобы попасть в зону верхней негабаритности 4 625 мм автомобиль не должен превышать 3 225 мм. КамАЗ-53501 (рис. 8) имеет высоту 3 308 мм, Урал-63095 (рис. 10) имеет высоту 3 670 мм, а тяжелый КамАЗ-6560 (рис. 9) высоту 3 425 мм.

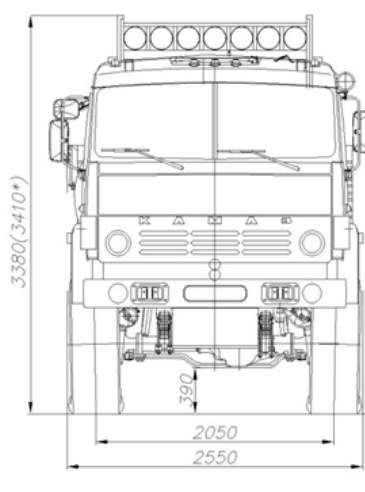


Рисунок 8. КамАЗ-53501



Рисунок 9. КамАЗ-6560

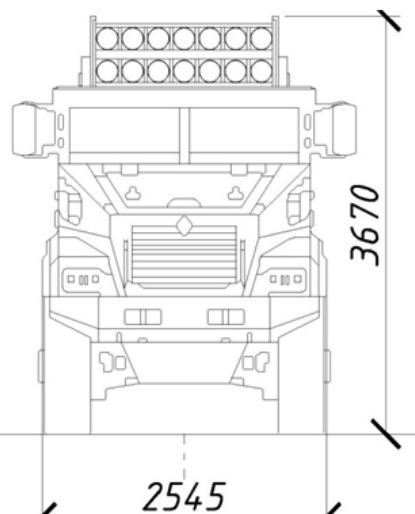


Рисунок 10. Урал-63095

Рассмотрим более подробно, что представляет из себя импульсное тушение: данное тушение производится готовым к применению огнетушащим составом порошков или водяных составов, которые находятся в капсуле (снаряде). Содержимое капсулы вытесняется под большим давлением и ОТВ выходит из ствола высокоскоростным импульсным выстрелом.

Огнетушащее вещество, которым может быть специальный порошок или же специальный раствор на основе воды, распыляется и создает облако тонкораспыленного ОТВ в очаге пожара. Это приводит к тому, что тонкораспыленное ОТВ в несколько раз увеличивает свою теплопоглощающую способность по сравнению с обычным проливом водой. Также не менее важный эффект – это осаждение водяной или порошковой завесой газов и продуктов

неполного сгорания, что приводит к резкому уменьшению сразу же четырех ОФП из шести – увеличение температуры, снижение видимости в дыму, теплового потока от пламени, повышенной концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения. А, соответственно, заметно снижается расход ОТВ и величина материального ущерба, наносимая объекту тушения и близлежащим строениям.

Установка, состоящая из 50 стволов, с зарядами ОТВ, которая может работать в трех режимах: по одному стволу, по одному столбику или же целиком 50 стволов производят импульсный залп в очаг пожара. Ощущение, будто ураган сметает и поглощает в себе пожар. Масса 50 зарядов составляет в среднем 1 000–1 250 кг, или же 300 кг воды (геля). Дальность эффективного тушения из данной установки составляет порядка 80–120 м, это позволяет находиться на достаточно безопасном расстоянии от очага пожара, что значительно снижает влияние ОФП и на саму технику, и на экипаж [6].

Идея импульсного тушения на подвижных установках далеко не новая, она получила распространение в ГБПМ «Импульс-3М», сделанная на базе танка Т-62. Но многим известны главные и характерные минусы танков: они скрываются в малом запасе хода, малой скорости передвижения и быстрому износу силовой установки, трансмиссии и ходовой части.

Колесная же техника обладает лучшими скоростными данными, она гораздо маневреннее гусеничного транспорта. Также происходит куда меньший износ силовых и ходовых агрегатов. Именно поэтому новизна идеи авторов данной статьи заключается в установке модуля импульсного тушения на колесное шасси, тем самым повысив защищенность экипажа от влияния ОФП.

Исходя из вышеописанных параметров, можно сделать вывод, что данное шасси является наиболее перспективным к дальнейшему развитию проекта мобильной колесной установки импульсного пожаротушения. Создание автомобиля с возможностью импульсного тушения как на основе воды, так и порошковыми составами создают универсальность данного пожарного автомобиля. Так во время тушения пожара у командира есть выбор: либо потушить легкий пожар класса «А» огнетушащим составом на основе воды и не подвергнуть объект заливу водой, либо потушить сложный пожар порошком. Оба способа достаточно эффективные, но имеют различие с экономической стороны, что является темой дальнейшего исследования.

Литература

1. Импульсная техника для тушения пожаров и предотвращения взрывов в шахтах / В.Д. Захматов [и др.] // Уголь Украины. 2009. № 5 (629). С. 22–24.
2. Пожарная техника: учеб. / А.И. Преснов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016. Т. 2.
3. Печурин А.А., Скрипка А.В., Брусянин Д.В. Базовые шасси пожарных автомобилей и спасательной техники. Трансмиссия и механизмы управления: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018.
4. Многомодульная установка импульсного порошкового пожаротушения: пат. Рос. Федерация № 120366 U1: МПК А62С 27/00; заяв. и патентообл. Панкратьев Н.А., Пятачев В.Н., Цветков М.А.; заяв. 31.05.124 опубл. 20.09.12.
5. Официальный сайт ПАО «КАМАЗ». URL: <https://kamaz.ru/production/> (дата обращения: 28.10.2019).
6. Бронеавтомобили Урал-63095 и Урал-63099 семейства «Тайфун» // Интернет-журнал «Армейский вестник». URL: <https://army-news.ru/2013/04/broneavtomobili-ural-63095-i-ural-63099-semejstva-tajfun/> (дата обращения: 28.10.2019).

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПРИВОДА ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

Д.Д. Богачев;

А.В. Вагин, кандидат технических наук, доцент;

Д.В. Брусянин, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены вопросы моделирования основных неисправностей пневматического привода тормозной системы пожарного автомобиля, что позволило определить диагностические параметры, характеризующие их.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, тормозная система, диагностирование неисправностей, пневматический привод, быстродействие пневмосистемы

DIAGNOSTICS OF COMMON BRAKE SYSTEM DEFECTS IN THE FIRE VEHICLE

D.D. Bogachev; A.V. Vagin; D.V. Brusyanin.

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

The issues of modeling the main malfunctions of the pneumatic drive of the brake system of a fire engine were considered, which allowed to determine the diagnostic parameters characterizing them.

Keywords: fire truck, brake system, troubleshooting, pneumatic drive, pneumatic system performance

Во многих работах уделялось внимание моделированию функционирования пневматических приводов. При этом авторы этих работ преследовали в основном цель оптимизации конструкции привода управляющих аппаратов [1]. В данном случае требуется решить обратную задачу. Необходимо определить, как влияют на динамику привода различные факторы, являющиеся эксплуатационными дестабилизирующими параметрами и неисправностями привода тормозной системы. Проведенный анализ, в соответствии с таблицей, позволил установить структуру основных эксплуатационных факторов, воздействующих на динамику привода. Влияние группы дестабилизирующих эксплуатационных параметров (p_{max} , $\mu f(y)$, β , $f_{тр}$) на динамику привода можно определить в математической модели с помощью варьирования значений соответствующих параметров. Несколько сложнее моделировать изменение темпа воздействия на тормозную педаль.

Моделирование влияния на динамику привода темпа воздействия на тормозную педаль сводится, в сущности, к математическому описанию закона открытия клапана тормозного крана. Закон открытия клапана тормозного крана $h(t)$, оказывающий существенное влияние на динамические свойства всей системы, зависит от параметров цепи управления тормозным краном, параметров следящего механизма крана площади поршня, жесткости возвратной пружины и др., сил трения в подвижных элементах [2]. Работу тормозного крана можно разделить на два этапа. На первом этапе кран обладает следящим действием, при этом перемещение x_2 толкателя используется для выбора зазора h_0 между следящим поршнем и клапаном, деформации упругого элемента d и открытия впускного клапана h , то есть математически это можно представить:

$$x_2 = h_0 + d + h.$$

Таблица. Структура основных факторов, воздействующих на динамику привода тормозной системы

Обозначения	Факторы
Группа дестабилизирующих эксплуатационных параметров	
$\tau_{вкл}$	Темп воздействия на тормозную педаль
p_{max}	Начальное давление воздуха в питающей части пневмоконтура
z_0	Зазоры в тормозных механизмах
Группа неисправностей	
$\mu f(y)$	Негерметичность пневмоконтуров
μf	Дросселирование рабочего тела
$\beta, f_{тр}$	Повышенное сопротивление перемещению поршней тормозных аппаратов (заклинивание поршней рабочего тормозного цилиндра)

Деформация упругого элемента ограничена определенной конечной величиной d_{max} . С этого момента начинается второй этап работы тормозного крана, в течение которого клапаны, следящий поршень, толкатель совместно с заблокированным упругим элементом перемещаются как одно целое. Соотношение продолжительности этих этапов зависит от величины усилия $P_{bx}(t)$, прикладываемого к тормозной педали, времени t_{max} , за которое это усилие достигает своего максимального значения, а также параметров следящего механизма. Такой механизм действия тормозного крана показывает, что динамика подвижных элементов тормозного крана в общем случае описывается системой линейных дифференциальных уравнений. Однако если пренебречь силами трения и массой подвижных частей из-за их незначительного влияния, то закон открытия клапана тормозного крана выглядит следующим образом:

$$h = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < x_2 \leq h_0 \\ x_2 - h_0 - d & \text{при } x_2 > h_0 \end{cases} \quad (1)$$

Значение деформации d упругого элемента с учетом закона нечувствительности и насыщения определяется по известной методике:

$$d = \begin{cases} 0 & \text{при } 1 < p_4 \leq p_{04} \\ F_k p_4 / C_k & \text{при } p_{04} < p_4 \leq \dot{p}_4 \\ F \dot{p}_4 / C_k & \text{при } p_4 > \dot{p}_4 \end{cases},$$

где F_k – площадь следящего поршня; p_4 – давление воздуха в плоскости тормозного крана; \dot{p}_4 – давление воздуха в плоскости тормозного крана, при котором деформация упругого элемента достигает максимальной величины d_{max} ; C_k – жесткость упругого элемента.

При этом очевидно, что значение h , определяемое по выражению (1), ограничивается максимальным перемещением клапана h_{max} , то есть $h \leq h_{max}$.

Для моделирования работы тормозного крана необходимо задаться темпом его включения $\tau_{вкл}$. Допускаем, что усилие на педали тормоза P_{bx} изменяется линейно, тогда время τ_0 , необходимое для выбора зазоров в механической части привода крана h_0 , можно также определить из выражения:

$$\tau_0 = \frac{h_0 \tau_{вкл}}{x_2},$$

где x_2 – суммарная величина перемещения привода крана, приведенная к оси перемещения клапана. В этом случае открытие клапана будет иметь также линейную зависимость. Текущее значение h' определяется из выражения:

$$h' = x_2' - h_0 - d, \quad (2)$$

где x_2' – текущее значение x_2 .

$$x_2' = x_2 \frac{t}{\tau_{\text{вкл}}}, \quad (3)$$

где t – текущее значение времени в период $\tau_{\text{вкл}}$.

Анализ зависимостей (1–3) показывает, что время наполнения пневмопривода должно существенно возрастать с увеличением времени открытия клапана тормозного крана, то есть с уменьшением темпа его включения $\tau_{\text{вкл}}$ и при увеличении зазора h_0 между следящим поршнем и клапаном крана. Степень влияния данных факторов на динамику наполнения пневматической части привода можно определить путем решения системы дифференциальных уравнений и соответствующих алгебраических выражений, описывающих процесс функционирования пневмопривода. Моделирование основных неисправностей привода тормозной системы выполняется по аналогии с известными моделями неисправностей пневмосистем [3].

Негерметичность привода

Моделирование негерметичности в пневматической части привода производилось в соответствии с разработанной ранее методикой, сущность которой заключается в том, что при утечке рабочего тела в окружающую среду будет справедливым выражение, описывающее опорожнение постоянного объема:

$$\frac{dp_1}{dt} = - \frac{r \mu f v_{\text{кр}}}{V} A \frac{p_1 - p_0}{B p_1 - p_0},$$

где r – показатель адиабаты; μf – местное сопротивление утечки; $v_{\text{кр}}$ – критическая скорость истечения воздуха; V – объем контура, откуда происходит утечка; A, B – асимптоты гиперболической функции расхода; p_0 – давление окружающей среды; p_1 – изменяющееся давление в контуре.

Дросселирование рабочего тела

При сужении сечения трубопроводов и каналов пневмоконтура в результате смятия трубопроводов, отложения продуктов коррозии на перепускных отверстиях в аппаратах контура, в тормозном кране, соединительной арматуре и т.п. происходит ухудшение динамики поступления рабочего тела. Моделирование дросселирования рабочего тела на участке системы выполняется путем изменения величины, определяющей пневмопотери μf . Для целей исследования приближенная величина μ и f определялись из ранее выполненных работ. Необходимые исходные данные для расчетов были получены путем обмера трубопроводов привода КамАЗ-5350 и вычисления объемных данных.

Повышенное сопротивление перемещению поршней тормозных аппаратов

Повышенное сопротивление перемещению поршней тормозных аппаратов является следствием возрастания сил трения поршней, уплотнительных манжет о стенки цилиндра. Силы трения обуславливают нелинейность и гистерезис динамических характеристик,

и в результате зона нечувствительности аппаратов оказывается во многих случаях достаточно большой, а время переходного процесса при функционировании привода увеличивается.

Таким образом, динамика исследуемого пневмопривода пожарного автомобиля при влиянии эксплуатационных факторов и возможных неисправностей, характерных для пневмопривода тормозной системы, с учетом принятых допущений описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, включающих уравнение движения исполнительного элемента:

$$m_{\text{пр}} \frac{d^2y}{dt^2} + \beta \frac{dy}{dt} + c_{\text{пр}}y + (p_1 - p_i)(F_k f_{\text{мп}} - F) = 0.$$

Эта система совместно с алгебраическими выражениями представляют собой математическую модель контура пневмопривода, исследование которой возможно выполнить с использованием компьютерных программ. По разработанной математической модели составлен алгоритм решения задачи Коши для системы дифференциальных уравнений и математических зависимостей, описывающих основные неисправности пневмопривода. Задача решалась методом Рунге-Кутты, алгоритм реализации которого заключается в циклических вычислениях на каждом $i+1$ шаге по следующим формулам:

$$K_{1j} = hF_j(t_i, Y_{ji}); \quad K_{2j} = hF_j\left(t_i + \frac{h}{2}, Y_{ji} + \frac{1}{2}K_{1j}\right);$$

$$K_{3j} = hF_j\left(t_i + \frac{h}{2}, Y_{ji} + \frac{1}{2}K_{2j}\right);$$

$$K_{4j} = hF_j\left(t_i + \frac{h}{2}, Y_{ji} + \frac{1}{2}K_{3j}\right);$$

$$K_j(i+1) = Y_{ji} + \frac{1}{6}(K_{1j} + K_{2j} + K_{3j} + K_{4j}),$$

где h – шаг интегрирования; t – время (независимая переменная); Y – параметр (зависимая переменная); K – вспомогательная переменная; j – номер каждой независимой переменной; i – номер шага; F – производная зависимой переменной.

Вычисления производятся при постоянном шаге $h=0,001$. При переходе от одной формулы к другой вычисляются соответствующие значения времени переходного процесса t и параметров Y_j и находятся по подпрограмме значения функции $F_j(t, Y_j)$. В результате математического моделирования эксплуатационных факторов условлено:

– динамика изменения параметров $p_1, p_2, p_3, \Delta P$, а значит и быстродействие пневмопривода существенно зависит от темпа воздействия на тормозную педаль и с ростом $\tau_{\text{вкл}}$ значительно увеличивается;

– с увеличением начального давления воздуха в питающей магистрали с ресивером p_{max} быстродействие пневмопривода существенно изменяется.

Поэтому данные эксплуатационные факторы при диагностировании пневмопривода необходимо стабилизировать на определенных уровнях.

На основании существующих регламентирующих стандартов по испытанию тормозных приводов автотранспортных средств установлено:

– темп полного приведения в действие тормозной педали $\tau_{\text{вкл}} 0,2$ с, но в результате проведенных ранее исследований установлено, что отклонения темпа до $\pm 0,05$ с существенного влияния на динамику изменения давления не оказывает;

– значение начального давления воздуха в ресивере $p_{\text{max}} - 0,75$ МПа нижний предел регулирования давления, предусмотренного инструкцией предприятия-изготовителя.

Из расчетных зависимостей так же следует, что с увеличением вязкости (уменьшением температуры) значение параметра t_{p1} существенно возрастает при отрицательной температуре.

Для окончательного установления интервала температуры, при котором обеспечивается достоверность диагностирования привода, необходимо проведение экспериментального исследования. Результаты исследования влияния зазора в тормозных механизмах на параметры диагностирования свидетельствуют о том, что при увеличении значения z_0 (величина зазора в тормозном механизме) более $4 \cdot 10^{-3}$ м увеличивается наполняемый объем его пневматической полости, что в конечном итоге приводит к увеличению времени срабатывания привода. При увеличении величины влияние увеличения зазора на снижение быстродействия сказывается в большей степени. Таким образом, увеличение значения z_0 от номинального значения до 0,4 мм не вызывает существенного изменения в быстродействии контуров пневмопривода, но при этом несколько увеличивается величина максимального перемещения. Последний параметр позволяет определять отклонение суммарного зазора $\sum z_0$ в тормозных механизмах от номинального значения.

Расчетные зависимости основных параметров, характеризующих динамические процессы в контурах пневмопривода на установленных уровнях дестабилизирующих факторов, свидетельствуют, что динамический процесс функционирования пневмоконтур по времени имеет два характерных участка:

– задержка нарастания давления воздуха в пневмоконтуре и перемещения подвижных деталей;

– крутизна нарастания зависимостей параметров давления рабочих тел и времени.

В результате математического моделирования определено давление воздуха, при котором его поршни перемещаются на величину z_0 , то есть до момента прижатия тормозных накладок к внутренней поверхности барабана. Это позволило определить важный параметр для определения эффективности рабочей тормозной системы – время запаздывания действия тормозного привода τ_c . Расчетное значение τ_c совпадает с аналогичным показателем, полученным при экспериментальных исследованиях. Время нарастания давления воздуха находится в корреляционной зависимости с временем срабатывания привода. Регламентирующие документы определяют время срабатывания тормозного привода, функционирующего с использованием сжатого воздуха, как время достижения давления в исполнительном органе 75 % от его асимптотического значения. Быстродействие пневматического привода оценивается временем $t_{\text{ср.пр.}}$, определяемым как промежуток времени от начального перемещения тормозной педали до момента достижения давления, составляющего 90 % от максимального значения. В этом случае при известных условиях данный параметр соответствует времени срабатывания тормозной системы автомобиля в процессе его экстренного торможения. Расчетные зависимости параметров быстродействия пневмопривода, полученные при моделировании характерных неисправностей привода, позволили установить ценность параметров диагностирования и существенное влияние моделируемых неисправностей на быстродействие тормозного привода [4].

Литература

1. Смолин А.А. Экспериментальные исследования влияния технического состояния тормозных механизмов на характер протекания тормозных сил // Вестник ИрГТУ. 2008. Вып. 2.
2. Малиновский М.П. Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортных средств: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2011.
3. Алексеик Е.Б., Марченко М.А., Скрипка А.В. Моделирование динамических процессов при диагностировании пневматического тормозного привода // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 2 (26). С. 73–78.
4. Установка для диагностирования тормозной системы по динамике исполнительных элементов: пат. на полезную модель 112128 Рос. Федерация: МПК В60Т 17/22 G01L 5/28, Скрипка А.В., Сысоев О.И. [и др.]; заявитель и патентообладатель Военная академия тыла и транспорта им. генерала армии А.В. Хрулева.-№ 123885; опубли. 10.01.12.

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

ТЕХНОЛОГИЯ СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

**О.В. Ударцева, доктор технических наук, профессор.
Тюменский индустриальный университет**

Проведено исследование возможности снижения последствий взрывов на предприятиях нефтегазовой отрасли. Предлагаемые и подтвержденные расчетами мероприятия направлены на снижение рисков на этапе проектирования предприятия. Произведен сравнительный анализ последствий аварийных ситуаций при взрыве посредством перерасчета зон разрушений с учетом используемой подстилающей поверхности. Изменение подстилающей поверхности позволяет снизить эквивалентную массу взрыва отраженной ударной волны в три раза, а протяженность зон разрушения более чем в два раза.

Ключевые слова: ударная волна, нефтегазовая отрасль, аварийная ситуация

THE TECHNOLOGY TO REDUCE INDUSTRIAL ACCIDENTS AT THE ENTERPRISES OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

O.V. Udartseva. Tyumen industrial university

In this article the study of the possibility of reducing the effects of explosions on the oil and gas industry. The proposed and confirmed by the calculations measures can reduce the risks at the design stage of the enterprise. The comparative analysis of consequences of emergency situations at explosion, by means of recalculation of zones of destructions taking into account the used underlying surface is made. The change in the underlying surface allows to reduce the equivalent mass of the explosion of the reflected shock wave by more than 3 times, and the length of the fracture zones by more than 2 times.

Keywords : shock wave, oil and gas industry, emergency

Объекты нефтегазовой отрасли являются опасными производственными объектами, которые способны причинить вред окружающей среде, жизни и здоровью людей. Наиболее частой причиной аварийных ситуаций на предприятии является частичная или полная разгерметизация емкостного оборудования, сопровождающаяся выбросом газа или жидкости с последующим формированием ударной волны, имеющей разрушительные последствия.

Вопросам снижения техногенных рисков занимались ученые С.А. Карауш, Ю.М. Михайлов и др. [1–5], оцениванию причин возникновения взрывов производственных предприятий посвящены работы ученых П.А. Дегтярева, Н.И. Плотникова и др. [1–5, 5–10]. Но вместе с тем возникает необходимость оценки последствий воздействия ударной волны с учетом поверхности, на которую она попадает.

Цель исследования – провести оценку зон разрушения при взрыве на опасном производственном объекте с учетом разных типов подстилающей поверхности.

Причинами возникновения аварийных ситуаций на предприятиях нефтегазовой отрасли может быть разгерметизация насоса, трубопровода, резервуара и т.д. При возникновении данной ситуации образуется выброс газа или жидкости с дальнейшим формированием ударной волны. Любой предмет, находящийся на поверхности земли, подвергается воздействию взрывной волны в виде удара. При воздушном взрыве ударная сферическая волна достигает земной поверхности и отражается от нее на некотором расстоянии от эпицентра взрыва, вследствие чего происходит образование второго фронта или фронта отраженной волны.

Сила ударной волны зависит от поверхности, на которую она попадает [11–17]. Таким образом, от выбора подстилающей поверхности будут зависеть конечные параметры ударной волны по отношению к объекту воздействия. При взрыве на твердой поверхности ударная волна распространяется в воздухе в виде полусферы. Вся выделившаяся энергия при взрыве как бы удваивается, то есть происходит сложение падающей и отраженной волн. При взрыве на мягкой поверхности часть энергии расходуется на работу по образованию воронки. Для учета поверхностного отражения при проведении расчетов действия ударной волны использован k_i учитывающий характер поверхности отражения [18–20]. Радиус зон поражения от взрыва топливно-воздушной смеси определяем по формуле:

$$R = K \cdot \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}},$$

где R – радиус зон поражения, м; K – безразмерный коэффициент, характеризующий воздействие взрыва на объект; W_T – тротиловый эквивалент взрыва парогазовой среды.

При взрыве на нефтегазовом предприятии, согласно количеству участвующего в аварии вещества, возможны следующие зоны разрушения, представленные на рисунке.

При проведении расчетов использован коэффициент отражения от разных поверхностей, представленный в табл. 1.

Таблица 1. Значение коэффициента k_i с учетом поверхности отражения

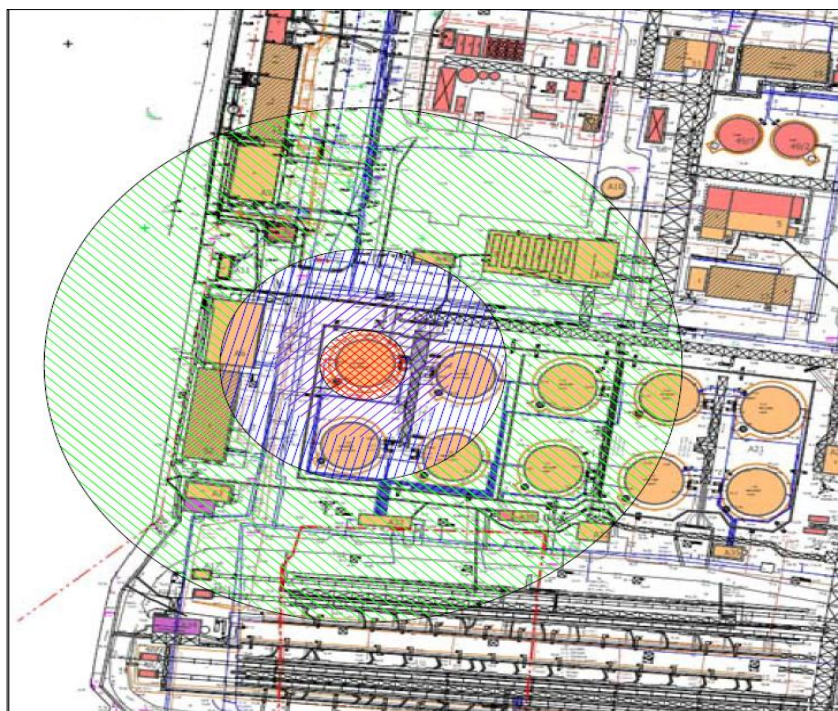
Поверхность отражения	Коэффициент k_i
Бетон	0,95
Асфальт	0,8
Грунт	0,6

При пересчете зон разрушения с учетом коэффициента отражения поверхности k_i использована формула:

$$W_T = \frac{0,4 \cdot Q_H}{0,9 \cdot Q_T} \cdot z \cdot m \cdot k_1 \cdot 2,$$

где W_T – тротиловый эквивалент взрыва парогазовой среды; 0,4 – доля энергии взрыва парогазовой смеси, затрачиваемая непосредственно на формирование ударной волны; 0,9 – доля энергии взрыва, затрачиваемая непосредственно на формирование ударной

волны; Q_H – удельная теплота сгорания взрывающейся горючей смеси, кДж/кг; Q_r – удельная энергия взрыва, кДж/кг; Z – доля приведенной массы парогазовых веществ, участвующих во взрыве; m – масса вещества, участвующего в образовании поражающих факторов.



- Зона полных разрушений ($P_{ф}=100$ кПа) – 20,19 м;
- Зона тяжелых повреждений ($P_{ф}=70$ кПа) – 29,76 м;
- Зона средних повреждений ($P_{ф}=28$ кПа) – 51,00 м;
- Зона легких повреждений ($P_{ф}=14$ кПа) – 148,76 м.

Рис. Зоны разрушений территории нефтегазового предприятия при разной величине избыточного давления на фронте ударной волны

По результатам полученных расчетов можно предположить, что изменение подстилающей поверхности в теории позволяет снизить эквивалентную массу взрыва отраженной волны более чем в три раза, а протяженность зон разрушения более, чем в два раза (табл. 2).

Таблица 2. Изменение радиуса действия ударной волны с учетом подстилающей поверхности при давлении на фронте ударной волны

Тип поверхности	100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	2 кПа
Бетон	18,26 м	26,91 м	46,12 м	134,52 м	269,03 м
Грунт	7,26 м	10,69 м	18,34 м	53,49 м	106,99 м

Решением проблемы разрушения зданий и сооружений от ударной волны является подбор необходимого вида подстилающей поверхности. Определение данного вида поверхности позволит регулировать степень влияния отраженной ударной волны на рассматриваемое строение, что будет наиболее заметно при высоких значениях массы участвующих взрывоопасных веществ. Как правило, все производственные площадки предприятий нефтегазовой отрасли имеют бетонное покрытие. В качестве альтернативы под потенциально опасными установками с высоким содержанием взрывоопасных веществ рекомендуется использовать поверхность, обладающую относительно высокой проницаемостью, например, грунт. Решая задачу снижения последствий техногенных аварий путем использования грунта в качестве подстилающей поверхности возникает необходимость решения вопроса экологической безопасности данного процесса. Но так как вопрос экологической безопасности предлагаемых решений в рамках данного исследования не рассматривался, можно только предположить, что использование грунта в качестве подстилающей поверхности возможно при условии обеспечения гидроизоляции и защиты почвы.

Литература

1. Дегтярев П.А. Состояние и перспективы развития нефтепереработки и нефтехимии в Российской Федерации. М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2017.
2. Кудинов В.И. Основы нефтегазопромыслового дела. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований; Удмуртский гос. ун-т, 2011. 720 с.
3. Карауш С.А. Оценка параметров промышленных взрывов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 96 с.
4. Карауш С.А. Основы процессов горения и взрывов: учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского гос. архит.-строит. ун-та, 2016. 278 с.
5. Плотников Н.И. Идентификация предмета риска // Проблемы безопасности чрезвычайных ситуаций. 2013. № 3. С. 79–86.
6. Михайлов Ю.М. Промышленная безопасность и охрана труда. Справочник руководителя (специалиста) опасного производственного объекта. М.: Альфа-Пресс, 2014. 232 с.
7. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 2017. С. 432.
8. Чернышева Е.А. Проблемы и пути развития глубокой переработки нефти в России // Специализированный журнал «Бурение & Нефть». 2011. № 5. С. 7–14.
9. Муромцев Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М.: Химия, 2017. 155 с.
10. Надежность и эффективность в технике: справочник. М.: Машиностроение, 2016. Т. 2. 233 с.
11. Бесчастнов М.В., Соколов В.М. Предупреждение аварий в химических производствах. М.: Химия, 2009. 394 с.
12. Брот Р.А. Определение характера падения нефти в трубопроводе с газонасыщенной нефтью // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов: обзор. информ. М.: ВНИИОЭНГ нефтепром, 2016. С. 5–7.
13. Борисов В.В. Управление магистральными трубопроводами. М.: Недра, 2017. 215 с.
14. Биргер И.А. Остаточное напряжение. М.: Машгиз, 2003. 232 с.
15. Колмогоров В.А. Напряжение, деформация, разрушение. М.: Metallurgia, 2017. 230 с.
16. Нейбер Г. Концентрация напряжений. М.: ОГИЗ, 2011. 204 с.
17. Сафарян М.К. Металлические резурвуары и газгольдеры. М.: Недра, 2017. 201 с.
18. Strehlow R.A., Ricker R.E. The blast wave from a bursting sphere // Loss Prevention. 2016.
19. Held M., Jager E.H., Stolz D. TNT-equivalence for uncontrolled explosion of gas pressure vessels. Paper at Euro-Mech, 2011.
20. Igra O., Ben-Dor G. Dusty shock waves. Appl. Mech. Rev. 2018.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИИ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

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

Ф.А. Дали, кандидат технических наук, доцент;

С.А. Щукина.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Работа посвящена применению автоматизированных систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе BIM-моделирования. Во второй части исследования была проведена экспериментальная проверка функциональных возможностей и эффективности применения основных компонентов предложенной системы оповещения и управления эвакуацией людей, а также было проведено моделирование процесса эвакуации посетителей типового бизнес-центра Санкт-Петербурга. Предлагаемая интеллектуальная система позволит повысить уровень принятия управленческих решений эвакуации людей при пожаре.

Ключевые слова: объекты с массовым пребыванием людей, системы оповещения, пожар, управление эвакуацией людей, время эвакуации людей, BIM-моделирование

INTELLECTUAL MANAGEMENT OF EVACUATION OF PEOPLE FOR FIRE IN BUILDING WITH MASS STAY OF PEOPLE

Yu.E. Akterskiy; F.A. Dali; S.A. Shchukina.

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

This work is focuses on the application of automated warning systems and evacuation management in case of fire, which based on BIM-modeling. The second part of the article was carried out an experimental verification of the functionality and efficiency of the main components in proposed of warning systems and evacuation management. Moreover, was carried out a simulation of the evacuation process in the typical business center in Saint-Petersburg. The proposed intellectual system will improve the efficiency of management decisions in the organization of safe evacuation of people and the salvation of material resources in case of fire.

Keywords: objects with mass stay of people, warning systems, fire, managements of evacuation of people, evacuation time of people, BIM-modeling

Несмотря на некоторые экономические сложности, в настоящее время на территории нашей страны ведется активное строительство различных по назначению и объему зданий как жилых или промышленных, так и общественных или административных. Большинство из них относятся к объектам с массовым пребывание людей (МПЛ). Практически все объекты такого типа являются многоуровневыми и имеют в своей основе сложные объемно-планировочные и конструктивные решения [1].

В случае возникновения пожара на таких объектах организация эвакуации граждан становится чрезвычайно проблематичной. Это, прежде всего, объясняется тем, что функциональная специфика объектов связана с высокой концентрацией пожарной нагрузки на ограниченных участках, блокированием некоторых частей эвакуационных путей на объектах вследствие воздействия на них опасных факторов пожара (ОФП) с неблагоприятными для жизни и здоровья человека характеристиками, а также малоэффективными с точки зрения своевременной эвакуации действиями людей различных возрастных групп и категорий мобильности, находящихся на объектах [2].

Эффективное решение проблемы снижения пожарного риска, количества человеческих жертв и материального ущерба требует поиска новых высокотехнологичных решений и подходов, обеспечивающих защиту посетителей объектов с МПЛ в полуавтоматическом и автоматическом режимах с оперативным учетом динамики распространения ОФП и меняющихся параметров объектов защиты [3].

Существующие современные системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) сложных объектов должны обладать собственными интеллектуальными способностями как на уровне централизованного управления всей системой, так и на уровне отдельных периферийных устройств – датчиков, оповещателей, объединенных между собой в единое интеллектуальное пространство [4–8].

В ходе анализа установлено, что первым этапом в реализации интеллектуальных систем управления нового поколения с учетом особенностей функционирования сложных объектов с МПЛ должно стать применение цифровых моделей, сопровождающих эксплуатацию каждого объекта защиты на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ).

В основу применения таких моделей может быть положено BIM-моделирование [9, 10], представляющие собой современную методологическую основу для создания и использования единой, структурированной и взаимосвязанной информационной модели строительных объектов с их ЖЦ, включая различные чрезвычайные ситуации (ЧС).

Для экспериментальной проверки функциональных возможностей и эффективности применения основных компонентов предложенной СОУЭ было проведено моделирование процесса эвакуации посетителей типового бизнес-центра (БЦ) в Санкт-Петербурге.

В качестве типового рассматривалось десятиэтажное здание БЦ, функционально разделенное на два пожарных отсека со следующими параметрами.

Первый пожарный отсек (ПО № 1) представляет собой автомобильную стоянку на 156 мест, расположенную в цокольном этаже здания, и служебные помещения, расположенные с первого по третий этажи.

Второй пожарный отсек (ПО № 2) представляет собой общественную часть здания, в которой с четвертого по девятый этажи размещаются офисные помещения.

Часть помещений четвертого этажа используется для размещения кафе с залом на 100 посадочных мест.

В соответствии с проектными решениями емкость БЦ составляет 1 865 человек, включая работников и посетителей. При этом до 93 человек могут относиться к маломобильным группам населения (МГН).

На этажах ПО № 1 размещается 161 человек (в том числе: шесть человек МГН с группой мобильности М4).

Распределение людей по этажам ПО № 2 следующее:

4 этаж – 296 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 6 человек группы мобильности М3; 6 человек группы мобильности М4);

5 этаж – 213 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 5 человек группы мобильности М3; 5 человек группы мобильности М4);

6 этаж – 331 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 5 человек группы мобильности М3; 5 человек группы мобильности М4);

7 этаж – 249 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 5 человек группы мобильности М3; 5 человек группы мобильности М4);

8 этаж – 296 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 5 человек группы мобильности М3; 5 человек группы мобильности М4);

9 этаж – 319 человек (в том числе: 5 человек группы мобильности М2; 5 человек группы мобильности М3; 5 человек группы мобильности М4).

Режим работы БЦ – 12 ч в сутки (ПО № 1 и ПО № 2).

Для определения расчетного времени эвакуации принята модель индивидуально-поточного движения людей [11].

Моделирование и определение параметров процесса эвакуации людей из БЦ при возникновении пожара осуществлялось с учетом следующих осложняющих обстановку факторов:

- максимальная пожарная нагрузка в помещении;
- максимальная протяженность эвакуационного пути;
- максимальное количество людей в помещении;
- блокирование очагом пожара одного из выходов из помещения.

Исходя из требований анализа максимально сложной обстановки, для моделирования была предложена следующая ЧС.

Очаг пожара находится в зале кафе на четвертом этаже БЦ. В результате возникновения пожара блокируется один из эвакуационных выходов, ведущий из помещения зала кафе в эвакуационный коридор.

Расчет времени эвакуации происходит с учетом присутствия 93 посетителей МГН (М2, М3, М4).

Выбор данного сценария пожара обусловлен максимальным количеством людей в помещении очага пожара на этаже здания, а также расположением помещения очага пожара в непосредственной близости от эвакуационного выхода, ведущего в эвакуационный коридор. ОФП распространяются из помещения очага пожара в помещения этажа пожара и блокируют процесс эвакуации из помещений объекта. Время моделирования пожара составляет 400 с.

Расчет времени эвакуации из БЦ проводится в соответствии с положениями приложения № 3 к п. 10 Методики [11] и в соответствии со ст. 89 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [2] от момента начала эвакуации. Расчет и моделирование осуществлялось при помощи программного комплекса «Pathfinder 2017.2.0301», реализующего изложенную выше методику. Размеры путей эвакуации принимались по поэтажным планам разработанной BIM-модели здания [12].

На рис. 1 представлен пример из расчета эвакуации людей для рассматриваемого варианта пожара. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Расчетные значения параметров эвакуации:

- время выхода (с): мин. – 2,4; макс. – 344,1; сред. – 163,4; станд. откл. – 89,7;
- длина пути (м): мин. – 3,0; макс. – 190,8; сред. – 94,5; станд. откл. – 32,9.

Общее время эвакуации людей из помещений БЦ составляет 344,1 с (5,73 мин), в расчетной точке «А» – 61,7 с (1,03 мин), что не превышает значения времени эвакуации (6 мин).

Определение необходимого времени эвакуации осуществлялось с помощью программы «PyroSim» на основе использования полевого метода моделирования пожара.

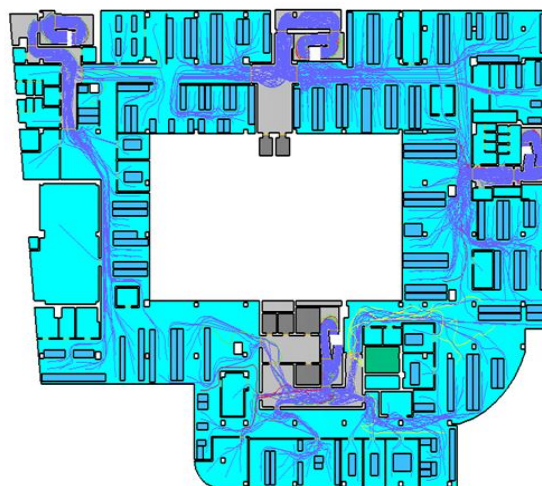


Рис. 1. Пример моделирования эвакуация людей из помещений шестого этажа

При моделировании принимались следующие допущения:

1. Теплоемкость, газовая постоянная, коэффициент полноты горения, коэффициент теплопотерь и дымообразующая способность на начальной стадии пожара принимаются постоянными.

2. При расчете времени блокирования эвакуационных путей за пределами помещения пожара определяющим принимается наступление ОФП по потере видимости, содержанию токсичных продуктов горения, снижению концентрации кислорода, повышенной температуре и тепловому потоку.

3. Коэффициент теплопотерь φ для случая пожара на различных отметках рассчитывается исходя из условий теплообмена в помещениях для конкретного сценария развития пожара.

4. Расчеты производятся по типовой пожарной нагрузке в зависимости от особенностей назначений помещений.

Геометрические характеристики помещений принимались в соответствии с представленной BIM-моделью здания БЦ.

Расчет значений критической продолжительности пожара ($t_{кр}$) проводился по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений:

- по повышенной температуре;
- по потере видимости («задымление»);
- по пониженному содержанию кислорода;
- по каждому из газообразных токсичных продуктов горения;
- по тепловому потоку.

Время моделирования пожара составляет 400 с.

Предельно допустимое значение по видимости для расчетной точки «А» составляет 20 м.

Размеры ячеек расчетной сетки составляют: по оси X – 0,56 м; по оси Y – 0,56 м; по оси Z – 0,56 м.

BIM-моделирование очага пожара (зал кафе на четвертом этаже БЦ) приведено на рис. 2.

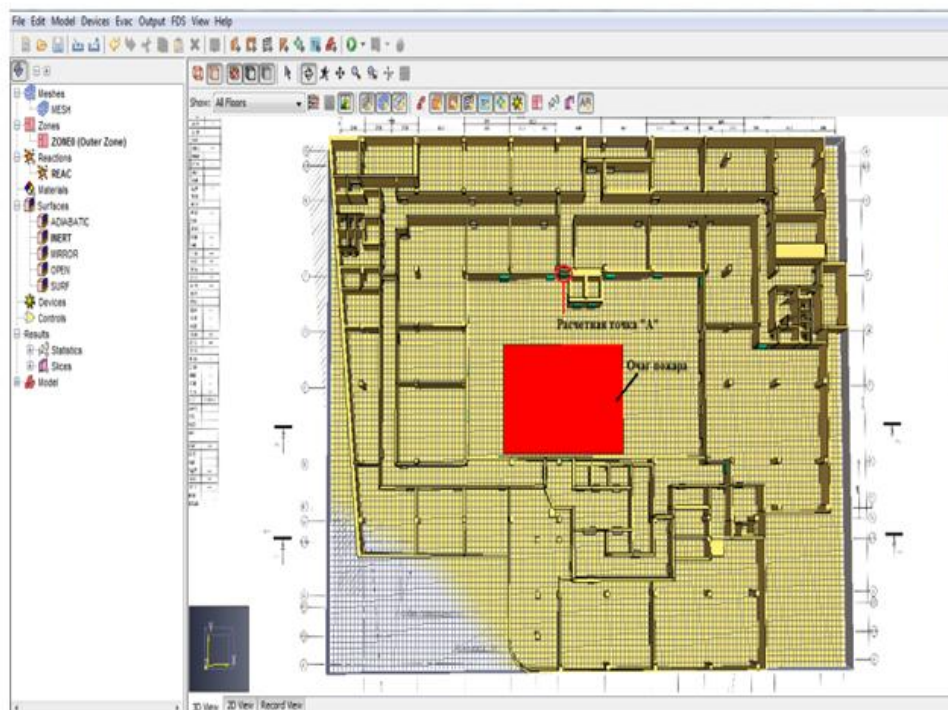


Рис. 2. Моделирование очага пожара (зал кафе, 4 этаж БЦ)

Результаты моделирования достижения ОФП предельно-допустимых значений в расчетной точке «А» приведены на рис. 3–9.

Достижение предельной концентрации кислорода наступает на 214 с.

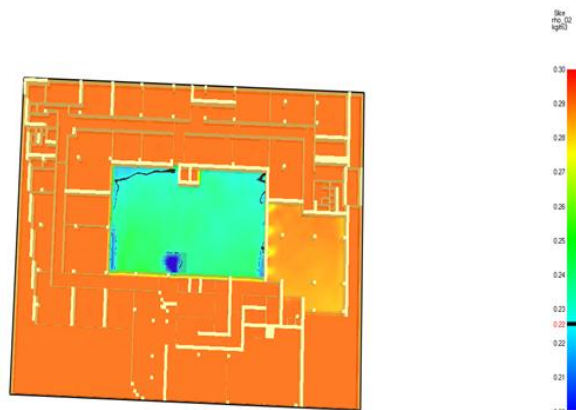


Рис. 3. По предельной концентрации кислорода

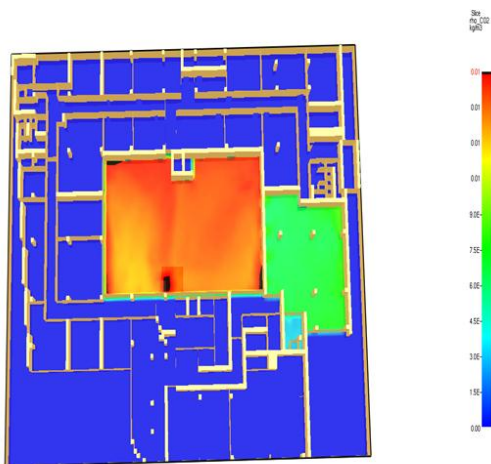


Рис. 4. По предельной концентрации двуокиси углерода

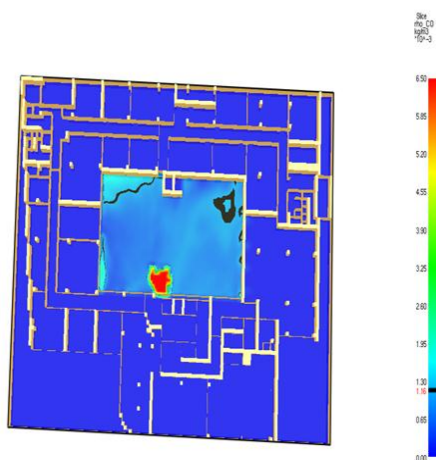


Рис. 5. По предельной концентрации окиси углерода

Достижение предельной концентрации двуокиси углерода наступает в течение времени, превышающем время моделирования пожара (>400 с).

Достижение предельной концентрации окиси углерода наступает на 376 с.

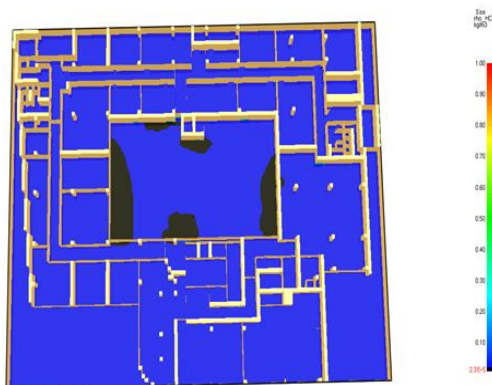


Рис. 6. По предельной концентрации HCl

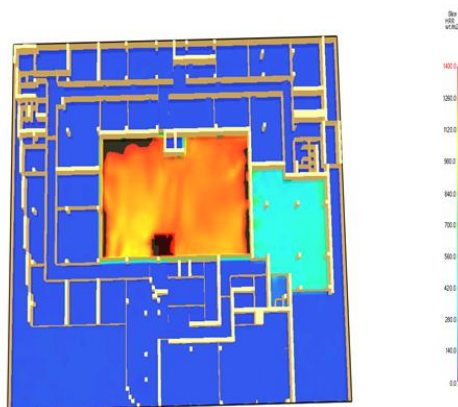


Рис. 7. По тепловому потоку

Достижение предельной концентрации HCl в расчетной точке «А» наступает на 218 с.
Достижение критического параметра по тепловому потоку наступает в течение времени, превышающем время моделирования пожара (>400 с).

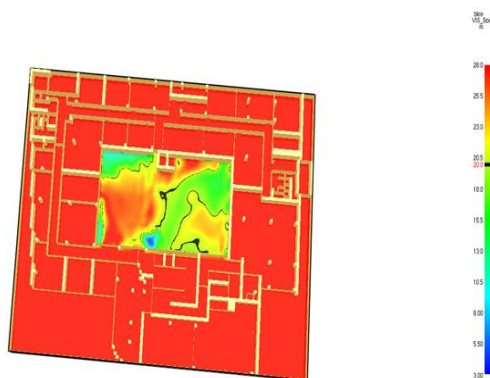


Рис. 8. По потере видимости

Достижение критического параметра по потере видимости наступает на 212 с.

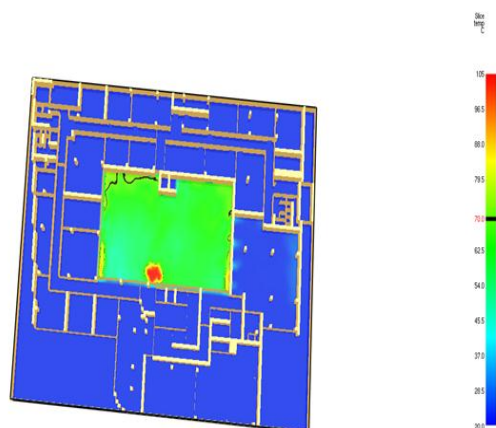


Рис. 9. По предельной температуре

Достижение критического параметра по предельной температуре наступает на 392 с.

Таблица 1. Время блокирования для расчетной точки «А»

Наименование параметра	Время блокирования
Понижение концентрации кислорода	214 с
Повышение концентрации углекислого газа	>400 с
По повышенной температуре	392 с
По потере видимости	212 с
Повышение концентрации угарного газа	376 с
По тепловому потоку	>400 с
Повышение концентрации HCL	218 с

Результаты расчета времени эвакуации людей и необходимого времени эвакуации с учетом времени до начала эвакуации приведены в табл. 2 [11].

Таблица 2. Результаты расчета времени эвакуации людей и необходимого времени эвакуации с учетом времени до начала эвакуации

Расчетное время эвакуации t_p , с/мин	Время начала эвакуации $t_{нэ}$, с/мин *	$t_p + t_{нэ}$, с/мин	$0,8 * t_{бл}$ с/мин *	Время сущест. скопления, с/мин	Условие $t_p + t_{нэ} \leq 0,8 * t_{бл}$ и $t_{ск} < 6$ мин. при котором $P_3 = 0,999$
61,7/1,03	90/1,5	151,7/2,53	169,6/2,82	<< 6 мин	Выполняется

Анализ результатов расчетов показал, что для принятых объемно-планировочных решений интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей на улицу не превышает необходимое время эвакуации людей.

Условие безопасной эвакуации людей (в соответствии со ст. 53 п. 3 [2]) из здания БЦ со встроенной автостоянкой выполняется.

Таким образом, учитывая реализованные в БЦ объемно-планировочные и конструктивные решения, а также развернутые средства предлагаемой СОУЭ, можно сделать вывод о возможности своевременной эвакуации людей из помещений исследуемого здания БЦ

при заданном сценарии возникновения и развития пожара (в соответствии со ст. 6 п. 1[2]), при условии выполнения дополнительных организационных мероприятий, а также требований пожарной безопасности, установленных техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Полученные результаты расчетов и выводы, сделанные в ходе проведенных исследований, справедливы только для принятых исходных данных и должны быть пересмотрены при их изменении (перепланировке, изменении функционального назначения помещений, изменении количества сотрудников, персонала и посетителей и т.п.).

Литература

1. Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л., Власова Т.В. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: Ч. 2: Строительные конструкции, здания, сооружения и их поведение в условиях пожара: учеб. СПб: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 293 с.

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ (с изм. и доп.). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

3. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска: постановление Правительства Рос. Федерации от 31 марта 2009 г. № 272. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. СП 1.13130.2009*. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

5. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 04.09.2019).

6. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 04.09.2019).

7. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 04.09.2019).

8. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 04.09.2019).

9. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М., 2015.

10. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. Second edition. NJ: Wiley, 2011. 626 с.

11. 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. Приказа МЧС России от 2 дек. 2015 г. № 632). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

12. СИТИС 4-09: Методические рекомендации по использованию программы FDS с применением программ PyroSim и Flamer.

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В СИСТЕМЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Л.А. Коннова, доктор медицинских наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Статья посвящена радиационному контролю и его роли в обеспечении радиационной безопасности населения. Представлены виды радиационного контроля, задачи и способы их решения в штатных условиях и при чрезвычайных ситуациях радиационного характера, типы приборов для выполнения задач радиационного контроля.

Ключевые слова: радиация, радиационный контроль, радиационная обстановка, дозиметрия, радиометрия, дозиметры, радиометры

ABOUT RADIATION CONTROL IN THE RADIATION SAFETY SYSTEM

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

The article is devoted to radiation monitoring and its role in ensuring radiation safety of the population. The types of radiation monitoring, tasks and methods for their solution in standard conditions and in emergency situations of a radiation nature, types of devices for performing radiation monitoring tasks are presented

Keywords: radiation, radiation monitoring, radiation situation, dosimetry, radiometry, dosimeters, radiometers

Постоянно возрастающее использование источников радиации (ионизирующего излучения) во всех областях хозяйственной деятельности и активизация развития атомной энергетики объясняют актуальность проблемы радиационной безопасности населения и территорий. Проблема связана с решением большого числа задач, которые включают три основных круга вопросов – гигиеническое нормирование, радиационный контроль (РК) и, собственно, защита.

Отсутствие у человека возможности ощущать радиацию (специальных органов чувств к радиации нет) потребовало особого подхода к созданию системы безопасности, которая включает кроме систем сигнализации, блокировки, механизации и автоматизации технологических процессов использование аппаратуры радиационного контроля. В общей системе мер радиационной безопасности (РК отводится первостепенная роль, поскольку для оценки и прогнозирования риска облучения человека необходима объективная информация о радиационной обстановке). В штатных ситуациях РК, по сути, является контролем за соблюдением норм радиационной безопасности и основных санитарных правил на объектах, использующих источники радиации [1, 2]. Это комплекс мероприятий, благодаря которым ведется постоянный мониторинг радиационной обстановки на рабочих местах и регистрация доз облучения, которому подвергается персонал объекта. Ведется также измерение уровней загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Уже в период проектирования потенциально опасного объекта в проект включают конкретный перечень видов и объем радиационного контроля (п. 7.1 НРБ99/2009). В случае превышения установленных основных пределов доз и допустимых уровней облучения принимаются соответствующие меры. В нештатных ситуациях с риском облучения персонала данные РК являются основанием для выбора мероприятий по защите персонала, спасателей и населения.

В связи с насыщенностью крупных промышленных городов предприятиями, использующими источники радиации, и близостью городов-спутников с расположенными на их территории атомными станциями, сегодня в крупных мегаполисах мира действуют

системы радиационного мониторинга – стационарные посты контроля радиационной обстановки. На рис. 1 представлена схема локализации таких постов контроля на территории Санкт-Петербурга, которые действуют с 1995 г. [3].

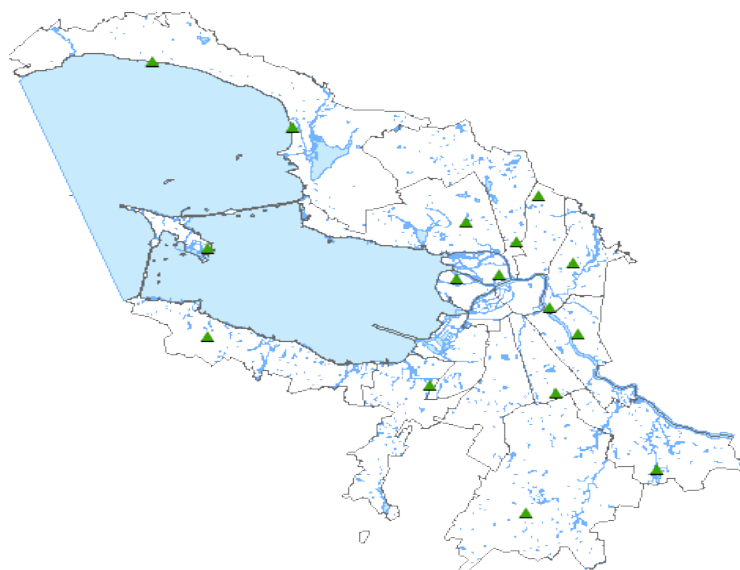


Рис. 1. Карта постов радиационного мониторинга в Санкт-Петербурге [3]

При чрезвычайной ситуации (ЧС) с радиоактивным загрязнением объектов и местности первоочередной задачей является получение достоверной информации о радиационных параметрах, характеризующих радиационную обстановку – об уровнях мощности дозы излучения (дозиметрический контроль (ДК)) и о нуклидном составе радиоактивных изотопов (радиометрический контроль). Без данных контроля радиационной обстановки невозможно принять адекватные меры защиты населения и личного состава подразделений, привлекаемых к ликвидации последствий ЧС. На рис. 2 представлена принципиальная схема организации ДК в случае аварии на АЭС. ДК является одним из видов РК.

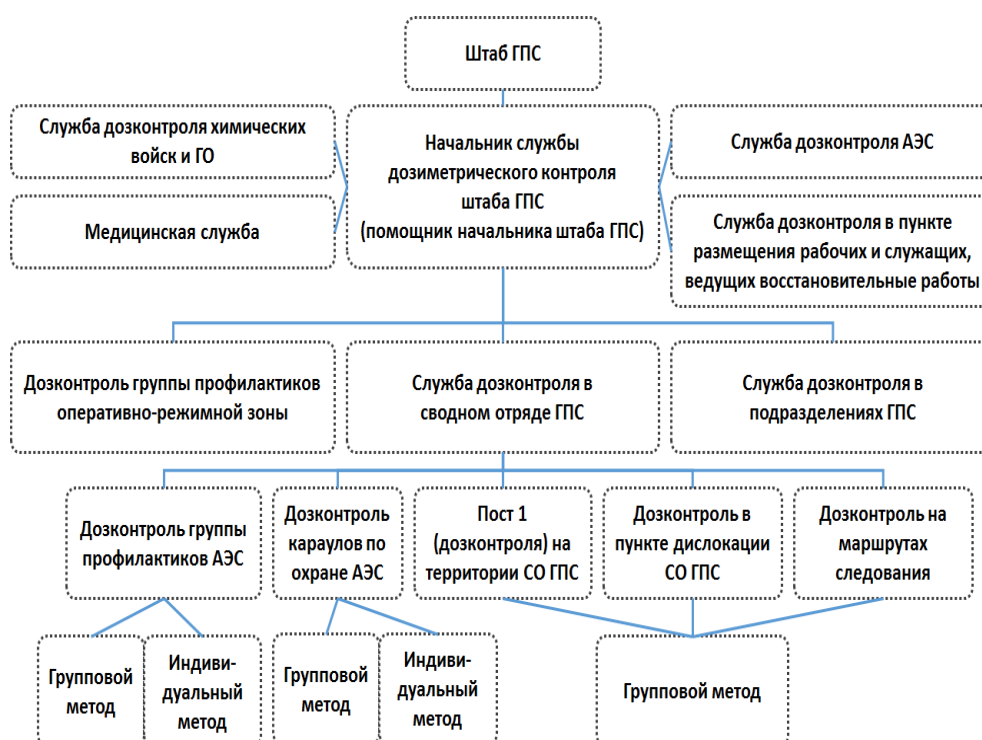


Рис. 2. Принципиальная схема организации ДК в случае аварии на АЭС

Объективная информация о радиационной обстановке в аварийной ситуации является, с одной стороны, основой для выбора мер защиты населения и, с другой стороны, условием выбора тактики защиты личного состава. Информированность личного состава о радиационной обстановке является важным фактором для осознанного применения мер защиты и соблюдения правил безопасного поведения, исключающего как развитие необоснованной радиофобии, так и не позволяющего пренебрегать опасностью.

В зависимости от ситуации и поставленной цели РК подразделяют на несколько видов. Постоянное отслеживание радиационной обстановки на производстве в штатной ситуации относится к текущему, рутинному контролю, суть которого в регулярном измерении мощности дозы на рабочих местах (ДК и оценке уровня загрязнения помещения радиоактивными веществами путем их определения (прямого или расчетного) в окружающей среде – воздухе, воде, на поверхностях одежды, кожных покровов (радиометрический контроль).

Другим видом РК является оперативный ДК, который осуществляют в нештатных ситуациях, например, при ведении плановых работ по нарядам в ситуации с риском повышенного облучения или при выполнении работ по ликвидации последствий аварийной ситуации на радиационно-загрязненной территории. В таких случаях проводят измерение мощности дозы на местности и расчет допустимого времени работы личного состава в опасной зоне (защита ограничением времени) [4].

В ЧС радиационного характера предусматривается ДК личного состава спасательных формирований и различных групп населения и окружающей среды. Выделяют групповой и индивидуальный ДК, групповой подразумевает контроль группы людей, находящихся в условиях с риском облучения; индивидуальный подразумевает контроль и оценку внешнего облучения человека, уровень радиоактивного загрязнения одежды и кожных покровов, оценку внутреннего облучения.

Способы ДК в условиях профессионального облучения также разделяют на групповой и индивидуальный ДК (ГДК и ИДК). Суть ГДК заключается в измерении мощности дозы (скорости накопления дозы) в рабочем помещении и расчете доз облучения персонала на основании учета времени пребывания персонала в этом помещении.

Для ИДК используют индивидуальные дозиметры-накопители, позволяющие контролировать накопленную (суммарную) за определенный период работы (например, квартал) дозу внешнего бета-, гамма- и рентгеновского и нейтронного облучения. Индивидуальный радиометрический контроль подразумевает отслеживание загрязненности кожных покровов и средств защиты и контроль за поступлением радиоактивных веществ в организм [4].

Методы и средства РК внешнего и внутреннего облучения человека различаются, поэтому рассматриваются отдельно. Контроль облучения щитовидной железы человека проводят с помощью ее сканирования. Для контроля внутреннего облучения используются счетчики излучения человека и анализы биологических жидкостей. Биологические методы ИДК используют в тех случаях, когда надо ретроспективно оценить факт облучения людей, которые находились на загрязненных территориях в ЧС, и нет данных о радиационной обстановке на этой территории. Такими методами являются анализы содержания лимфоцитов в крови человека, в том числе хромосомных aberrаций в этих клетках. На сегодняшний день наиболее точным инструментальным методом ретроспективного анализа аварийной индивидуальной поглощенной дозы облучения человека является метод ЭПР эмали зуба (электрон-парамагнитный резонанс). Зуб фактически является природным дозиметром, так как действие радиации вызывает образование в зубной эмали долгоживущих радикалов, при этом их количество (в диапазоне доз до 30 Гр) зависит от дозы облучения. Анализ спектров ЭПР дает информацию о накопленной дозе [5]. Для выяснения дозы внешнего облучения применяют также метод нейтронно-активационного анализа биологических жидкостей.

Во время выполнения работ на радиационно-загрязненных территориях (РЗТ) осуществляется мониторинг поверхностного загрязнения радионуклидами технических

средств, поверхностей зданий и сооружений и других объектов. Рис. 3 демонстрирует правила пользования дозиметрическим прибором при оценке поверхностного загрязнения.



Рис. 3. Рекомендуемый МАГАТЭ способ обращения с датчиком при определении загрязнения поверхности [6]

Прибор защищают от загрязнений путем помещения в защитную пластиковую оболочку (полиэтиленовую пленку), при измерении его держат на расстоянии 3–6 см от исследуемой поверхности (техники, одежды, строения и т.д.). Дозиметрист обязательно должен быть защищен средствами защиты органов дыхания и кожных покровов. Показания прибора фиксируют документально. Следующие рис. 4, 5 демонстрируют проведение мониторинга радиоактивного загрязнения техники и одежды. Если люди находились на РЗТ до того, как была проведена оценка загрязнения этой территории, мониторинг загрязнения одежды проводится в обязательном порядке. Последовательность измерений показана на рис. 5.



Рис. 4. Оценка уровня загрязнения техники и одежды

В зависимости от предназначения для РК используют следующие виды приборов:

1. Дозиметры – для измерения мощности дозы.
2. Радиометры – для оценки уровня загрязнения радионуклидами различных сред (воздуха, воды, пищевых продуктов и т.д.), рассчитывают на единицу объема, веса или

поверхности; и для определения радионуклидов в теле человека и на поверхности кожных покровов.

3. Спектрометры – для определения распределения частиц по их характеристикам – энергии, виду излучения, зарядам, массам.

4. Универсальные приборы, например, дозиметры-радиометры.



Рис. 5. Последовательность измерений уровня загрязнения

Информацию о назначении и основных свойствах различных типов приборов, используемых в настоящее время, можно получить уже из названия прибора, благодаря принятой единой системе условных обозначений для приборов и правил их образования. Информация изложена в издании «Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические требования», ГОСТ 27451–87.

Согласно системе принятых дозиметрических величин для контроля радиационной обстановки в целях ГДК введена величина – мощность эквивалента поглощенной дозы, измеряемая в мкЗв/ч (микрозиверт в час). В штатных условиях эксплуатации источников излучения используют нормируемые величины облучения персонала объекта (группа лиц А): эффективные и эквивалентные дозы облучения [7].

При выборе дозиметров для определенной ситуации учитывают их характеристики, в том числе диапазон измеряемых величин. Для целей радиационной безопасности в обычных условиях приемлемы приборы с диапазоном от 0,2 до 500 мЗв, но при аварийном контроле используют приборы с диапазоном от 10 до 5 000 мЗв. В медицинской радиологии для проведения радиотерапии верхний предел возрастает до сотен Зв (Зиверт). Для промышленных целей при оценке радиационной стойкости материалов поглощенные дозы могут достигать значений 104–1 010 Гр (Грэй).

В области радиационной безопасности для группового и индивидуального контроля соответственно предназначены инспекционные и индивидуальные дозиметры. Инспекционные дозиметры являются контрольно-измерительными приборами, с их помощью определяют дозовые характеристики полей излучения и измеряют мощность эквивалентных доз. Полученные показания умножают на время пребывания людей в данном поле и таким образом рассчитывают эффективную дозу облучения, которую человек получил, находясь в этом поле.

Для ИДК используют дозиметры «накопители», позволяющие определить поглощенную суммарную накопленную дозу облучения. На объектах Росатома, например, существует служба

ИДК, персонал объекта раз в квартал сдает инженеру или технику по радиационной безопасности индивидуальный дозиметр (ИД) для оценки накопленной дозы. В случае проведения работ в зоне загрязнения перед входом в опасную зону ИД помещают под одежду в области грудины. При выходе из зоны ИД сдают для проведения анализа. Примером современных ИД «накопителей» – удобных, многократного пользования и широкого диапазона являются термолюминесцентные дозиметры – ТЛД (рис. 6). Они используются в медицинской практике, в промышленности, на АЭС и для контроля облучения личного состава объектовых пожарных частей. Служба ИДК на АЭС относится к ведомству Росатома, собственной службы ИДК в федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы МЧС России нет. По мнению автора, это неправильно, поскольку ситуации на пожаре непредсказуемы даже на объектах, не связанных с использованием источников радиации. Кроме того, в России существуют обширные РЗТ после имевших место ранее радиационных аварий и катастроф, тушение пожаров на которых требует особого внимания к безопасности пожарных.



Рис. 6. Детектор ТЛД-500К

ИДК позволяет рано выявить факты облучения людей и своевременно принять меры для сохранения здоровья. По сути, это «пассивный» вид защиты, позволяющий определить превышение дозового предела облучения, допустимого в конкретной ситуации. Накопление дозы 20 бэр и выше требует медицинского освидетельствования, в случае превышения дозы до 100 бэр и выше необходима госпитализация.

В случае крупномасштабной радиационной аварии первостепенной задачей является организация и проведение такого вида РК, как радиационная разведка. Для ее проведения привлекаются специальные подразделения Министерства обороны, МЧС России (Гражданской обороны), Министерства здравоохранения или других ведомств (в зависимости от ситуации). Для экстренной оценки радиационной обстановки на больших территориях используют специальные мобильные разведывательные машины, информация поступает в органы управления для принятия решений. При ядерных авариях в случае разгерметизации активной зоны реактора и выброса в окружающую среду продуктов деления урана для радиационной разведки используют робототехнические комплексы разведки и дезактивации и передвижные лаборатории экспрессного радиационного контроля (ПЛЭРК). В начальный период развития ЧС радиационную разведку проводят силами и средствами подразделений химических войск, оснащенных специальными разведывательными машинами на базе бронетранспортеров и беспилотными летательными аппаратами [8]. Во всем мире такая техника используется для комплексного выявления радиационной обстановки при крупномасштабных катастрофах и стихийных бедствиях.

Для МЧС России создан робототехнический комплекс легкого класса для ведения радиационной разведки в условиях воздействия радиации, который позволяет вести поиск локальных источников радиации в труднодоступной местности (рис. 7) [9].



Рис. 7. РТС-РР – робототехническое средство радиационной разведки

Таким образом, РК, являясь важнейшей частью системы радиационной безопасности, позволяет с помощью приборов и определенного уровня базовых знаний о радиации объективно оценить радиационную обстановку, своевременно выявить риск превышения допустимых доз облучения и принять экстренные меры по нормализации обстановки, защите людей и ослаблению или предупреждению негативных последствий облучения. На основании данных ДК определяют необходимость оказания медицинской помощи, проведения и объема санитарной обработки и специальной обработки технических средств, принимают решения о таких видах защиты населения, как зонирование территорий по степени радиационной опасности, эвакуации населения и выведении территорий из природопользования.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ99/2009). СанПин 2.6.1.2523–09. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Карта постов радиационного мониторинга. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/maps/rad_mon/ (дата обращения: 09.10.2019).
4. Коннова Л.А., Акимов М.Н. Основы радиационной безопасности: учеб. пособие для обучающихся в вузах по направлению «Техносферная безопасность». СПб.: Изд-во «Лань», 2019. 164 с.
5. Кириллов В.А., Дубовский С.В., Толстик С.В. Реконструкция индивидуальных поглощенных доз по спектрам электронно-парамагнитного резонанса эмали зубов с учетом вклада механо-индуцированных парамагнитных центров: инструкция по применению. Минск: БГМУ, 2013. 9 с.
6. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. Вена: МАГАТЭ, 2002.
7. Коннова Л.А. Радиометрические и дозиметрические величины в области радиационной безопасности и единицы их измерения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 1 (17). С. 51–59.
8. Выполнение мероприятий радиационной, химической и биологической защиты с использованием робототехнических комплексов и беспилотных летательных аппаратов / А.В. Васильев [и др.] // Вестник Академии военных наук. 2015. № 3 (52). С. 163–168.
9. Оружие отечества и военная техника. 2018. № 9. URL: <http://bastion-opk.ru/rd-rchr/> (дата обращения: 05.10.2019).

СНИЖЕНИЕ ОПАСНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАЗРУШЕНИЯ СТЫКОВ ТРУБ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

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

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

Е.О. Афанасьев;

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

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Обоснована эффективность теплогидроизолированных труб в тепловых сетях. Рассмотрены отказы теплогидроизоляции, возникающие при развитии дефектов и повреждений. Высокая энергетическая эффективность тепловых сетей достигается применением труб в пенополиуретановой теплоизоляции, защищенной герметичной наружной оболочкой.

Ключевые слова: теплоизоляция, гидроизоляция, пенополиуретан, тепловая сеть, герметичность, трубопровод

REDUCTION OF RISK OF THERMAL NETWORK PIPE JOINT FAILURE

A.Yu. Andryushkin. Baltic state technical university «VOENMEH».

E.O. Afanasiev; E.N. Kadochnikova.

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

The efficiency of heat-hydro-isolated pipes in thermal networks is justified. Heat and hydraulic insulation failures arising during the development of defects and damages are considered. High energy efficiency of heat networks is achieved by using pipes in polyurethane foam heat insulation protected by tight outer shell.

Keywords: thermal insulation, waterproofing, polyurethane foam, heating systems, airtightness, pipeline

Во многих регионах нашей страны в настоящее время актуальна проблема низкой энергетической эффективности систем теплоснабжения. Низкая энергетическая эффективность обусловлена износом тепловых сетей, достигающим в некоторых регионах нашей страны до 70 %. Основной причиной отказов и аварий трубопроводов тепловых сетей является коррозия стальных труб и деградация теплоизоляции.

Для исправления ситуации еще в 2009 г. был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», требующий повышения эффективности и безопасности объектов энергетики. Особое внимание уделяется энергосбережению, которое обеспечивается качественной тепловой изоляцией тепловых сетей. Решение этой актуальной проблемы связано с внедрением новых теплоизоляционных материалов и технологий изготовления труб и фасонных изделий, а также технологий монтажа при строительстве.

Мировой опыт показывает, что высокую энергетическую эффективность имеют трубопроводы тепловых сетей, в которых стальная труба снабжена герметичной теплогидроизоляцией. В качестве теплоизоляции стальной трубы чаще всего применяют вспененный полимер, например пенополиуретан (ППУ). Тепловые потери при применении ППУ в несколько раз меньше, чем при использовании минеральной ваты такой же толщины. От увлажнения и механических воздействий теплоизоляцию предохраняет наружная

герметичная защитная оболочка. Например, в Дании 95 % от общей протяженности тепловых сетей составляет прокладка теплогидроизолированных труб, в Германии – 75 %. Отечественной промышленностью освоен выпуск труб и фасонных изделий в пенополиуретановой изоляции с защитной полиэтиленовой или оцинкованной оболочкой по ГОСТ 30732–2006 (рис.). Жесткость и прочность теплогидроизолированной трубы обусловлена трехслойной конструкцией «труба в трубе». Средний слой ППУ выполняет функцию теплоизоляции и одновременно обеспечивает жесткость трехслойной конструкции. При бесканальной прокладке герметизируют трубу полиэтиленовой защитной оболочкой, а при надземной прокладке или прокладке в каналах – оцинкованной защитной оболочкой. Пенополиуретановая теплоизоляция труб в защитной оболочке характеризуется повышенной долговечностью (до 30 лет) и минимальными тепловыми потерями. Пенополиуретановая теплоизоляция имеет следующие свойства: плотность 60–80 кг/м³; коэффициент теплопроводности 0,025–0,033 Вт/(м·К); теплостойкость до 150 °С.

Основным фактором, влияющим на долговечность трубопровода, является герметичность изоляции. При разгерметизации изоляции ППУ увлажняется. Намокший ППУ интенсивно разрушается, снижается его прочность и теплостойкость. Процессы деградации ППУ проходят быстро, и через несколько лет происходит отказ теплоизоляции. Для предотвращения отказов из-за увлажнения теплоизоляции конструкция трубопроводов снабжена системой операционного дистанционного контроля (СОДК), обеспечивающей безаварийную работу тепловой сети. СОДК фиксирует электропроводимость ППУ между неизолированными медными проводами и стальной трубой.

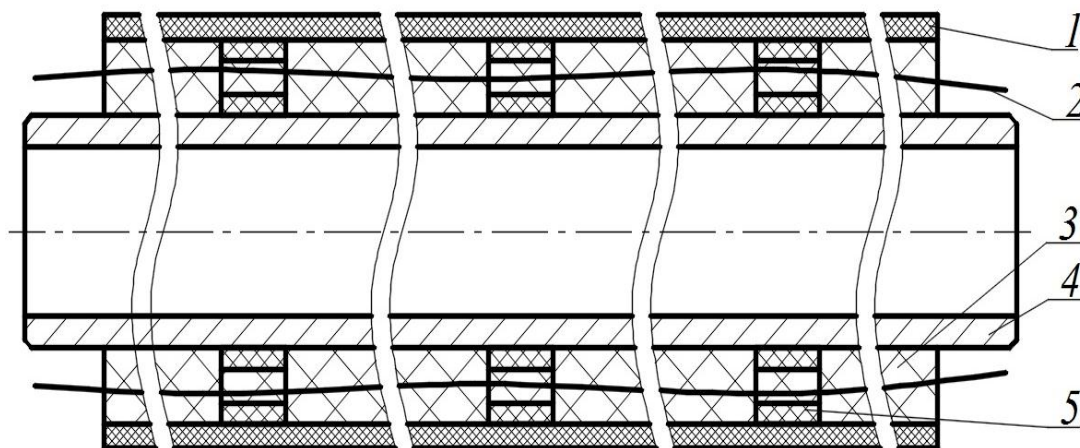


Рис. Теплогидроизолированная труба:
1 – оболочка полиэтиленовая; 2 – провод СОДК; 3 – ППУ трубы;
4 – труба стальная; 5 – опора центрирующая

Необходимо отметить значительную экономичность бесканальной прокладки трубопроводов в пенополиуретановой теплоизоляции, герметично защищенной полиэтиленовой наружной оболочкой. При использовании труб в такой теплогидроизоляции сроки строительства сокращаются в три–четыре раза, затраты на эксплуатационные издержки и текущий ремонт существенно меньше, чем при канальной прокладке трубопроводов, теплоизолированных минеральной ватой. Опыт эксплуатации показывает, что число отказов трубопроводов в пенополиуретановой изоляции меньше в 10–15 раз, чем при применении минеральной ваты [1–5].

Таким образом, применение теплогидроизолированных труб в тепловых сетях эффективно и существенно повышает энергосбережение.

При монтаже трубопроводов уделяют особое внимание теплогидроизоляции стыков труб [6–13]. Для формирования гидроизоляции используют термоусаживаемые муфты при

полиэтиленовой защитной оболочке труб, а при оцинкованной защитной оболочке труб – оцинкованные кожухи.

Края муфты термоусаживают, а края разъемного оцинкованного кожуха фиксируют заклепками или саморезами. Для повышения герметичности нахлесточное соединение дополнительно уплотняют термоусаживаемой манжетой.

При типовом технологическом процессе теплогидроизоляции стыка термоусаживаемую муфту устанавливают на трубу перед сваркой. Разъемный оцинкованный кожух может быть установлен после сварки. Затем подготавливают стык к теплогидроизоляции. Очищают зону стыка от грязи, пыли, влаги и удаляют с торцов теплоизоляции наружный слой увлажненного ППУ на 20–50 мм. Стальную трубу со сварным швом зачищают до металлического блеска. Далее соединяют провода СОДК, устанавливая их на некотором расстоянии от поверхности стальной трубы с помощью специальных держателей. Подготавливают наружную поверхность защитной оболочки с обеих сторон стыка, ее зачищают и обезжиривают. Нагревают газовой горелкой подготовленные поверхности защитных оболочек с обеих сторон стыка до 100–120 °С и наклеивают адгезивную ленту. Перемещают и центрируют предварительно надетую на трубу термоусаживаемую муфту или устанавливают разъемный оцинкованный кожух симметрично относительно середины стыка. Равномерно по окружности усаживают с помощью газовой горелки края термоусаживаемой муфты. Нагретые нахлесточные соединения стягивают бандажными ремнями. Края оцинкованного кожуха также стягивают бандажными ремнями и фиксируют нахлесточные соединения саморезами или заклепками. Просверливают сверху в термоусаживаемой муфте или оцинкованном кожухе одно отверстие, в которое устанавливают устройство для опрессовки воздухом внутренней полости стыка под давлением 0,05 МПа. Контролируют давление в течение пяти минут, падение давления недопустимо. Просверливают сверху термоусаживаемой муфты или оцинкованного кожуха второе отверстие для выхода воздуха. Готовят заливочную реакционную смесь ППУ, заливают ее через одно из отверстий во внутреннюю полость стыка. Отметим, что возможна теплоизоляция стыка с помощью заводского пенопакета, состоящего из строго дозированных компонентов ППУ, перемешиваемых перед применением. В термоусаживаемой муфте во время вспенивания и отверждения ППУ отверстия предохраняют пробками с дренажными каналами, через которые выходит незначительное количество пены, что свидетельствует о заполнении внутренней полости стыка ППУ. После отверждения ППУ удаляют дренажные пробки и обрабатывают отверстия конической фрезой, в конические отверстия вваривают полиэтиленовые пробки. На металлическом кожухе после вспенивания и отверждения ППУ места вокруг отверстий зачищают, обезжиривают и наносят герметик, устанавливают крышку. Крышку прижимают к оцинкованному кожуху бандажными ремнями и фиксируют по контуру саморезами или заклепками.

При монтаже трубопроводов в трассовых условиях при теплогидроизоляции стыков возникают опасные дефекты, выявление которых затруднено. Появление дефектов обусловлено сложностью технологического процесса, характеризуемого большим числом операций, технологические параметры которых варьируются в широких пределах и трудно контролируются. При формировании ППУ важна температура внутренней полости стыка, температура влияет на процесс вспенивания и отверждения реакционной смеси. Низкая температура (меньше 20 °С) внутренней полости стыка негативно сказывается на прочности и теплостойкости ППУ. При низкой температуре внутренней полости стыка вспенивающаяся реакционная смесь интенсивно охлаждается, часть компонентов смеси не вступает в химические реакции, формируются области ППУ с низкой прочностью и теплостойкостью.

Также причиной низкого качества ППУ являются отклонения от оптимальных технологических параметров на операциях перемешивания и заливки компонентов реакционной смеси. В применяемых конструкциях теплогидроизоляции стыков условия вспенивания реакционной смеси неблагоприятны. Реакционную смесь заливают во внутреннюю полость стыка через отверстие на стальную трубу с низкой температурой поверхности. В результате реакционная смесь распределяется случайным образом, что

снижает полноту химических реакций и обуславливает разницу свойств отвержденного ППУ по объему внутренней полости стыка. Возможно возникновение больших пустот в объеме теплоизоляции, что существенно снижает несущую способность конструкции.

Вспенивающаяся реакционная смесь создает во внутренней полости стыка избыточное давление, которое может нарушить герметичность нахлесточного соединения. Давление во внутренней полости стыка зависит от объема реакционной смеси. Для снижения риска разгерметизации при вспенивании реакционной смеси края термоусаживаемой муфты или оцинкованного кожуха стягивают бандажными ремнями. Однако давление вспенивающейся реакционной смеси и усилие затяжки бандажных ремней не контролируются, поэтому риск разгерметизации нахлесточного соединения остается высоким.

Низкая прочность ППУ обуславливает незначительную жесткость трехслойной стенки трубопровода. При значительной внешней нагрузке это приводит к местной потере устойчивости стенки трубопровода и разгерметизации нахлесточного соединения. Нарушение герметичности обуславливает увлажнение ППУ и его разрушение.

При высокой рабочей температуре трубопровода возникают дефекты, связанные с низкой теплостойкостью ППУ. При низкой теплостойкости ППУ происходит его деградация, изменяется структура материала, снижается прочность. В результате наблюдается разгерметизация нахлесточных соединений, намокание и разрушение ППУ.

Нарушение сплошности теплогидроизоляции обуславливает интенсивную коррозию стальной трубы. Процессы деградации влажного ППУ весьма быстротечны, долговечность трубопровода с увлажненной теплоизоляцией не превышает нескольких лет [14, 15].

Можно выделить отказы теплогидроизоляции стыка, нарушающие частично или целиком работоспособность трубопровода. Разгерметизация гидроизоляции, увлажнение и разрушение теплоизоляции приводят к росту теплопотерь и коррозии стальной трубы, при этом работоспособность трубопровода нарушена частично и он продолжает функционировать. Коррозия стальной трубы может привести к потере работоспособности трубопровода целиком и даже аварии. Такой опасный отказ заключается в разрушении стенки стальной трубы и разливу теплоносителя.

Анализ отказов теплогидроизоляции стыков труб показал, что причинами развития дефектов и повреждений является нарушение герметичности, приводящее к увлажнению и разрушению ППУ. Для повышения надежности теплогидроизолированных трубопроводов необходимо повышение герметичности стыков труб.

Перспективным решением, повышающим герметичность теплогидроизоляции стыков труб, является применение антикоррозионных лакокрасочных покрытий. Лакокрасочное покрытие является дополнительным барьером для влаги, которая может проникнуть через защитную оболочку трубопровода при нарушении ее герметичности. Лакокрасочное покрытие надежно защищает стальную трубу и торцы ППУ стыкуемых труб от контакта с влагой.

Нанесение лакокрасочного покрытия является достаточно простой технологической операцией и хорошо встраивается в технологию теплогидроизоляции стыка труб.

Рационально применение системы лакокрасочного покрытия, состоящего из двух слоев: грунтовочного слоя, обеспечивающего высокую адгезию покрытия к стальной трубе, и изоляционного слоя, обеспечивающего герметичность. Высокими герметизирующими свойствами и хорошей адгезией к ППУ обладают антикоррозионные покрытия на полиуретановой основе.

Таким образом, высокая энергетическая эффективность тепловых сетей достигается применением труб в пенополиуретановой теплоизоляции, защищенной герметичной наружной оболочкой. Конструктивные недостатки теплогидроизоляции стыка труб и технологические отклонения при ее формировании обуславливают появление дефектов и повреждений, которые при эксплуатации приводят к отказам и авариям. Цепочка отказов теплогидроизоляции стыка начинается с отказа герметичности гидроизоляции и увлажнения теплоизоляции, а заканчивается аварией вследствие разрушения стенки стальной трубы из-за коррозии. Для

улучшения герметичности в конструкцию теплогидроизоляции стыка введено лакокрасочное покрытие, повышающее надежность и безопасность трубопровода.

Литература

1. Павлова Д.В. Анализ и проблемы исследований труб централизованного теплоснабжения с предварительной изоляцией из ППУ и ППИМ // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5. С. 70–76.

2. Гарбер Ю.И. Эффективность изоляционных покрытий, нанесенных в трассовых условиях // Строительство трубопроводов. 1992. № 7. С. 21–24.

3. Слепченко В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4 (22). С. 26–32.

4. Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 29. № 3. С. 54–62.

5. Ковалевский В.Б. Энергоэффективность тепловых сетей бесканальной прокладки // Новости теплоснабжения. 2010. № 1. С. 40–43.

6. Устройство для изоляции стыков трубопроводов: пат. на полезную модель № 138576 МПК F16L 1/024 / А.Н. Ботвин, М.А. Баранов, А.И. Лейтман, Р.В. Агапов, В.В. Логунов, М.Ю. Юдин; заяв. и патентообл. ЗАО «Санкт-Петербургский Завод гальванических покрытий № 1»; заявл. 2013122437 от 15.05.13; опубл. 20.03.14, Бюл. № 8.

7. Теплоизоляционный стык предварительно теплоизолированных трубопроводов и способов его выполнения: пат. на изобретение № 2145688 МПК F16L 59/20 / Энтони Коста, Бент Якобсен, В.Г. Кухтин; заяв. и патентообл. ЗАО «МосФлоулайн»; заяв. 99114861 от 12.07.99; опубл. 20.02.00, Бюл. № 5.

8. Комплекс для изоляции сварных стыков труб: пат. на изобретение № 2267692 МПК F16L 58/16 / Э.П. Багдасарян, С.Ш. Калантарян, В.Д. Романов; заявитель и патентообладатель: Э.П. Багдасарян; заяв. 2004118809 от 23.06.04; опубл. 10.01.06, Бюл. № 1.

9. Способ изготовления пенополимерной теплоизоляции на трубах: пат. на изобретение № 2374552 МПК F16L 59/00 / А.А. Пахомов, А.П. Гнидин; заяв. и патентообл. А.А. Пахомов, А.П. Гнидин; заяв. 2007143288 от 21.11.07; опубл. 27.11.07, Бюл. № 33.

10. Способ теплоизоляции сварных соединений предварительно изолированных труб при надземной прокладке трубопровода: пат. на изобретение № 2575522 МПК F16L 59/20 / А.Н. Сапсай, П.О. Ревин, В.И. Суриков, И.Я. Фридлянд, В.В. Павлов, П.И. Шотер; заяв. и патентообл. ОАО «АК «Транснефть», ООО «НИИ ТНН»; заяв. 2014110675 от 20.03.2014; опубл. 20.02.16, Бюл. № 5.

11. Способ теплоизоляции сварных соединений предварительно изолированных труб при подземной прокладке трубопровода: пат. на изобретение № 2575528 МПК F16L 59/20 / А.Н. Сапсай, Н.Н. Скуридин, В.И. Суриков, И.Я. Фридлянд, В.В. Павлов, П.И. Шотер; заяв. и патентообл. ОАО «АК «Транснефть», ООО «НИИ ТНН»; заяв. 2014110676 от 20.03.14; опубл. 27.09.15, Бюл. № 27.

12. Способ противопожарной и тепловой изоляции сварных соединений предварительно изолированных труб при надземной прокладке трубопровода: пат. на изобретение № 2575533 МПК F16L 59/20 / А.Н. Сапсай, В.И. Суриков, И.Я. Фридлянд, В.В. Павлов, П.И. Шотер, П.О. Ревин; заяв. и патентообл. ОАО «АК «Транснефть», ООО «НИИ ТНН»; заяв. 2014110677 от 20.03.14; опубл. 27.09.15, Бюл. № 27.

13. Способ герметизации стыка предварительно изолированных труб с использованием термоусаживаемой муфты: пат. на изобретение № 2610980 МПК F16L 13/00 / Е.С. Павлюк, С.Л. Наркевич; заяв. и патентообл. ЗАО «СМИТ-ГРУПП»; заяв. 2015144711 от 19.10.15; опубл. 17.02.17, Бюл. № 5.

14. Шойхет Б.М. Проектирование тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей // Энергосбережение. 2015. № 1. С. 50–55.

15. Мухаметрахимов Р.Х., Панченко А.А. Особенности технологии изготовления, монтажа и контроля качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции // Известия КГАСУ. 2018. № 2 (44). С. 246–254.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

А.И. Сапелкин;

А.А. Балобанов;

В.Ф. Щётка, кандидат военных наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

На основе статистических данных Росстата проведен анализ аварий в нефтегазовой отрасли, выявлены основные причины аварий, проведен комплексный анализ стандартизированных экспертных, количественных и нестандартизированных методов анализа риска аварий на объектах нефтегазовой отрасли, выявлены их недостатки и преимущества.

Ключевые слова: статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли, методы оценки риска, оценка риска, риск, менеджмент риска, нефтегазовая отрасль, аварии, чрезвычайная ситуация

METHODS OF ACCIDENT RISK ANALYSIS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

A.I. Sapelkin; A.A. Balobanov; V.F. Shchetka.

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

On the basis of statistical data of Rosstat, the analysis of accidents in the oil and gas industry, identifies the main causes of accidents, conducted a comprehensive analysis of standardized expert, quantitative and non-standardized methods of risk analysis of accidents at oil and gas industry, revealed their advantages and disadvantages.

Keywords: statistics of accidents at oil and gas facilities, methods of risk assessment, risk assessment, risk, risk management, oil and gas industry, accidents, emergency

В настоящее время нефтегазовая отрасль включает в свой состав опасные производственные объекты [1] и является одной из главных промышленных отраслей России как в экономическом, так и в стратегическом плане.

Анализ аварий на объектах газовой промышленности показывает (рис.), что количество аварий на 100 тыс. км газопроводов в 2017 г., по сравнению с предыдущем годом, возросло на 2/3, хотя протяженность газопроводов увеличилась незначительно. По статистическим данным Росстата, ущерб от аварий на объектах газовой промышленности каждый год варьируется от 500 млн руб. до 1 млрд руб. В 2017 г. пострадало 12 человек, восемь из которых погибли [2]. Основными причинами аварий являются механические повреждения газопроводов, повреждения в результате природных явлений, коррозионные процессы и т.д. (табл.).

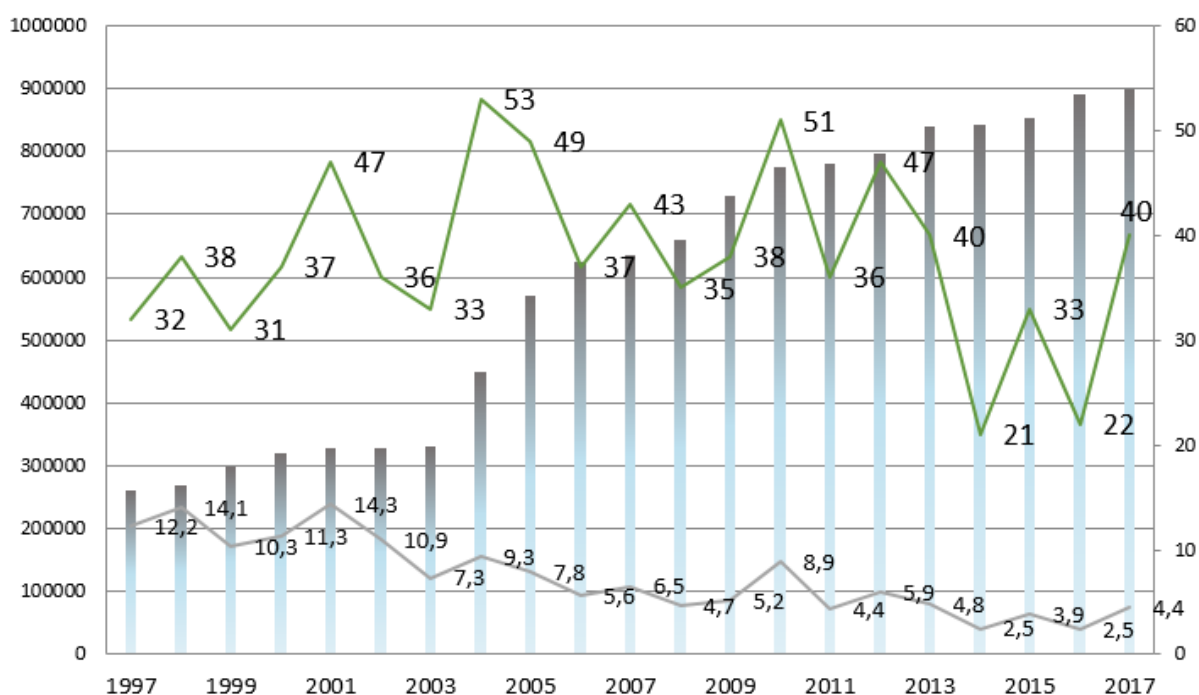


Рис. Динамика аварий на объектах газовой промышленности

Таблица. Распределение количества аварий в зависимости от их вида 2016–2017 гг.

Виды аварий	Количество аварий				+/-
	2016 г.		2017 г.		
		%		%	
Механические повреждения подземных газопроводов	8	58	23	59	+15
Механические повреждения газопроводов автотранспортом	0	0	4	10	+4
Повреждения в результате природных явлений	1	7	3	7	+2
Коррозионные повреждения наружных газопроводов	1	7	0	0	-1
Разрывы сварных стыков	0	0	0	0	0
Утечка газа, выход из строя оборудования в газорегуляторном пункте, газопотребляющего оборудования	0	0	3	7	+3
Взрывы при розжиге газоиспользующих установок и неисправности оборудования котла	2	14	2	5	0
Неисправность оборудования сжиженного углеводородного газа	2	14	2	5	0
Иные	0	0	3	7	+3
Всего	14	100	40	100	+26

Анализ аварий на объектах нефтяной промышленности в период 2017–2018 гг. показывает, что основными причинами аварий являются коррозионный износ, механические повреждения трубопроводов вследствие нарушения требований промышленной безопасности и технологий при проведении ремонтно-восстановительных и монтажных работ, человеческий и природный фактор и др. Ущерб на объектах нефтяной промышленности в несколько раз превышает ущерб на объектах газовой промышленности, хотя частота их возникновения ниже. В качестве примера, ущерб от крупной аварии на ПАО АНК «Башнефть» составил 14,5 млрд руб., 6 человек погибли, 2 человека травмированы.

Одной из главных причин аварий в нефтегазовой отрасли является неполная и несвоевременная идентификация и прогнозирование опасностей на объектах нефтегазовой отрасли.

В целях снижения и предотвращения аварий на объектах нефтегазовой отрасли за счет минимизации риска необходимо своевременно, обосновано и объективно проводить анализ

риска аварий на всех этапах жизненного цикла – проектирование, сооружение или строительство, эксплуатация. Также следует учитывать, что мероприятие по оценке риска трудоемкий и длительный процесс, часто зависящий от квалификации экспертов в этой области. Ответственным мероприятием по проведению оценки риска на этапах проектирования и строительства является выбор наиболее безопасного места и выполнения качественных работ с соблюдением и выполнением всех требований безопасности и руководящих документов по строительству объектов нефтегазовой отрасли. На этапе функционирования достаточно сложно провести объективную оценку риска, так как возникают дополнительные неблагоприятные факторы, такие как коррозия, человеческий фактор, опасные природные явления и др. Как показывает практика, большая часть аварий на объектах нефтегазовой отрасли случается на этапе функционирования. Сложный рельеф местности, удаленность и прочие факторы создают дополнительные сложности для ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) силами и средствами МЧС России. В конечном итоге, это приводит к возникновению условий неопределенности.

Следовательно, для оперативного обнаружения аварий на объектах нефтегазовой отрасли необходимы эффективные средства мониторинга и методы анализа риска.

Существует множество методов оценки риска, каждый из которых имеет как свои недостатки, так и преимущества [3]. Условно разделим их на качественные (экспертные), количественные и нестандартизированные.

Выбор стандартизированных экспертных методов анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли будет исходить из следующих критериев: время, полнота исходных данных, достоверность.

Рассмотрим их наиболее подробно.

Методы «структурированного интервью», «Дельфи», «контрольные листы», «HAZOP», «FMEA» требуют значительных затрат по времени, поэтому рассматривать их нецелесообразно.

Применение метода «мозгового штурма» возможно как в нефтегазовой отрасли на всех этапах жизненного цикла, так и в системе МЧС России при ликвидации ЧС на объектах нефтегазовой отрасли. Данный метод позволяет оперативно решать сложные нестандартные проблемы за счет коллективного обсуждения и принятия решения в сложившейся ситуации. Зависит от навыков и знаний коллектива, а также взглядов авторитета.

Использование метода «РНА» возможно только на самых ранних стадиях жизненного цикла объекта нефтегазовой отрасли, в условиях ограниченной информации об опасных ситуациях для последующего анализа риска и ранжирования опасностей, но данный метод не дает подробной информации об опасных событиях.

«Оценка токсикологического риска» основана на определении оценки неблагоприятного воздействия нефтепродуктов и природного газа на здоровье человека (сотрудников МЧС России, население), животных, растения, почву и окружающую среду. Возможно применение в системе МЧС России при ликвидации аварий, связанных с разливом нефти, возгоранием нефтепродуктов, природного газа, и представляющих экологическую опасность для экосистемы. Характеризуется высоким уровнем неопределенности, требуются достоверные данные.

Метод «SWIFT» разработан специально для нефтехимической промышленности с применением системного подхода, позволяющего идентифицировать основные опасности и риски.

Метод «анализа сценариев» применяется для прогнозирования вероятных угроз и их развития во времени. Сложность применения метода заключается в сложности обоснования достоверности, но он приемлем как дополнительный метод для оценки риска. Приоритетом является учет самого худшего сценария ЧС на объекте нефтегазовой отрасли.

Метод «анализ причин и последствий» сочетает в себе методы «ЕТА» и «FTA». Позволяет рассмотреть взаимосвязь неблагоприятных событий в виде бинарного дерева.

Данный метод дает возможность установить причину возникновения ЧС на объекте нефтегазовой отрасли. Главный недостаток – трудоемкость.

Метод «причинно-следственного анализа» в основном применяют для определения качественных оценок, он основывается на рассмотрении всех вероятных гипотез, предположений о неблагоприятном событии. Главным недостатком данного метода является неполный охват всевозможных неблагоприятных причин.

Один из смешанных методов оценки рисков – «LORA». Метод основывается на рассмотрении одной пары причина-последствие и соответствующего им одного сценария и направлен на анализ мероприятий по снижению и управлению рисками. Метод «LORA», по сравнению с другими экспертными методами, является наиболее точным. Главным недостатком метода является неполный охват, а также сложные взаимодействия между рисками или средствами управления.

Метод «HRA» применим для оценки влияния или негативного воздействия человека на развитие аварийной ситуации на объектах нефтегазовой отрасли. Позволяет провести формализацию ошибок операторов и работников нефтегазовой отрасли, в то же время сложность их поведения создает трудности при выявлении отказов.

Метод «галстук-бабочка» позволяет провести анализ опасных сценариев развития неблагоприятных событий от причин и опасных событий до их последствий. Данный метод применяется в случае, когда использование «FTA» является сложным или его невозможно провести. Метод направлен на снижение последствий опасных событий на объектах нефтегазовой отрасли. Не требует привлечения высококвалифицированных экспертов в данной области.

«Марковский анализ» является одним из методов анализа надежности. Его целесообразно применять в ситуациях, в которых будущее состояние объекта нефтегазовой отрасли зависит только от текущего состояния и не зависит от прошлого состояния и при этом элементы рассматриваемого объекта могут быть в двух состояниях – восстановление или отказ. Для использования метода требуются знания вероятностей состояний перехода рассматриваемого объекта.

Применение метода «Монте-Карло» для моделирования событий в нефтегазовой отрасли, связанных с ЧС и катастрофами, затруднителен ввиду низкой частоты их возникновения, но, с другой стороны, неопределенность данных может быть описана известным законом распределения случайной величины.

Для использования метода, основанного на теореме Байеса, описываемого соотношением:

$$P(B_i / A) = \frac{P(B_i)P(A / B_i)}{\sum_{i=1}^N P(B_i)P(A / B_i)},$$

где B_i – вероятность i события; B_i / A – вероятность условного i события, требуются априорные и апостериорные данные, выраженные случайными переменными величинами. Данный метод в нефтегазовой отрасли может применяться для изучения причинных связей и прогнозирования последствий при воздействии внешних и внутренних факторов. Возможность получения точечных оценок и доверительных интервалов, а также апостериорного распределения. Практическое применение данного метода затруднительно, так как условные вероятности получают экспертными методами.

Количественные методы анализа риска аварий на объектах нефтегазовой отрасли основаны на применении методик, нормативных документов, в том числе, применении математических методов решения дифференциальных уравнений, связанных со следующими основными показателями:

- оценки частоты возникновения аварий;
- сценариев аварий;

- интенсивности, продолжительности истечения и количества выброса опасных веществ;
- площади разлива нефти и нефтепродуктов, уровня загрязнения почвы;
- распространения поражающих факторов при взрыве топливо-воздушной смеси и воздействие на соседние здания, сооружения;
- количества пострадавших;
- характеристик теплового воздействия, вследствие пожара;
- ущерба от аварий;
- индивидуального, коллективного, социального и потенциального рисков от аварий на объектах нефтегазовой отрасли и др. [4].

При прогнозировании и ликвидации ЧС на объектах нефтегазовой отрасли наиболее важной характеристикой для подразделения МЧС России является определение зон воздействия поражающих факторов аварии. Одним из методов ее определения является применение методов, основанных на использовании пробит-функции:

$$Pr = a - b \cdot \ln \left(\frac{1}{\Delta P} + \frac{1}{i} \right),$$

где ΔP – давление взрыва; i – импульс волны давления; a, b – константы, определяемые в зависимости от характеристик процесса.

К нестандартизированным количественным методам анализа риска аварий на объектах нефтегазовой отрасли можно отнести методы, основанные на нечеткой логике и нейронных сетях. Нейронные сети позволяют обрабатывать в автоматизированном режиме большие массивы данных и выполнять прогнозирование аварий с нелинейными приближенными характеристиками. Недостатком данного метода является непредсказуемость результатов, большое разнообразие модификаций структуры метода.

Главным преимуществом метода нечеткой логики перед другими методами является получение оценки риска аварий в условиях неопределенности, в отличие от экспертных стандартизированных методов.

Таким образом, проведенный анализ стандартизированных и нестандартизированных методов оценки риска позволяет выявить приемлемые методы, направленные на снижение ущерба в нефтегазовой отрасли. Наиболее перспективными методами являются методы, основанные на применении искусственного интеллекта, в том числе нейронной сети и нечеткой логики.

Исходя из этого, применение одного из рассмотренных методов в полной мере не дает возможности провести оценку риска на объектах нефтегазовой отрасли. В связи с этим, можно сделать вывод о том, что необходимо применять их в совокупности, а также совместно с методами, указанными в нормативных документах по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных и нефтяных предприятий [3, 5–8].

Литература

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов (с изм. и доп., вступ. в силу с 25 марта 2017 г.): Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (в ред. от 7 марта 2017 г.). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
2. Росстат. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения: 14.01.2018 г.).
3. ГОСТ Р ISO IEC 31010–2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. М.: Стандартиформ, 2012.
4. СТО Газпром 2-2.3-351–2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий. М.: ОАО «ГАЗПРОМ», 2009.
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

7. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»: Приказ Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

8. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26 июня 2001 г. № 25). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ АММИАКА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

**Б.В. Гавкалюк, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.
Н.В. Шаталова, кандидат технических наук.
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко
Российской академии наук**

Рассмотрены проблемы безопасной транспортировки аммиака автомобильным транспортом, методика прогнозирования последствий аварий с проливом аммиака и образованием ударной волны в случае его воспламенения. Проведен анализ оценки риска химической опасности на маршруте транспортировки аммиака и рассматриваются пути обеспечения безопасности населения при транспортировке аммиака в населенных пунктах.

Ключевые слова: безопасная транспортировка, аммиак, риск, автомобильный транспорт, опасные грузы, химическая опасность

PROBLEMS OF SAFE TRANSPORTATION OF AMMONIA BY ROAD

**B.V. Gavkaluyk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.
N.V. Shatalova. N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences**

The problems of safe transportation of ammonia by road are considered, the technique of forecasting the consequences of accidents with ammonia spill and shock wave formation in case of ignition is considered. The analysis of risk assessment of chemical danger on the route of ammonia transportation is carried out and ways of ensuring safety of the population at ammonia transportation in settlements are considered.

Keywords: safe transportation, ammonia, risk, road transport, dangerous goods, chemical hazard

Автомобильный транспорт по праву считается самым небезопасным видом транспорта. Доля перевозок аварийно химически опасных веществ (АХОВ) постоянно увеличивается в общем объеме перевозок [1]. Аммиак считается наиболее распространенным видом АХОВ, перевозимым автомобильным транспортом.

На территории Российской Федерации наблюдается уменьшение количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) на химически опасных объектах (ХОО), но в связи с тем, что на автомобильном транспорте отмечается низкий уровень безопасности, существует высокая вероятность риска аварии при перевозке аммиака. Также в связи с увеличением риска

террористической опасности возможны террористические акты на подвижных ХОО в крупных населенных пунктах, что неизбежно может повлечь за собой крупные потери среди населения [2].

Согласно статистике, которая представлена МЧС России, на территории Российской Федерации в период с 2013 по 2018 гг. произошло 116 дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием транспортных средств, перевозящих опасные грузы. Частота возникновения таких ДТП составляет от 16 до 22 в год. На рис. 1 изображена статистика ДТП с участием транспортных средств, перевозящих опасные грузы в период с 2013 по 2018 гг.

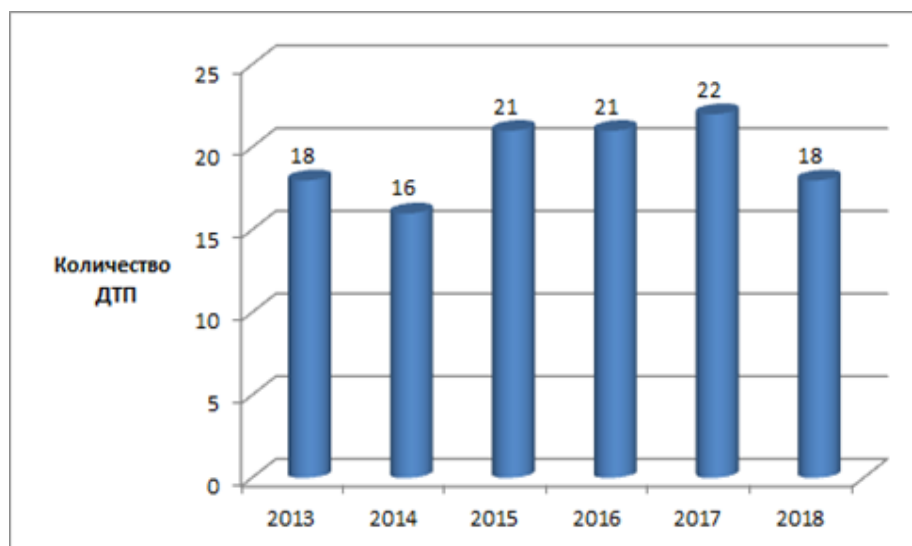


Рис. 1. Статистика ДТП с участием транспортных средств, перевозящих опасные грузы

На близкие расстояния аммиак перевозят автотранспортом в баллонах, контейнерах (бочках) или автоцистернах. Стандартный аммиаковоз имеет грузоподъемность 3,2; 10 и 16 т. На рис. 2 изображена наиболее распространенная цистерна для транспортировки аммиака автомобильным транспортом.

Прогнозирование аварий, связанных с разгерметизацией подвижных резервуаров с аммиаком вследствие террористических актов, представляет особенность в связи с его пожароопасностью, которую не учитывают в практике оценки последствий [3].



Рис. 2. Цистерна для перевозки аммиака автомобильным транспортом

В случае возникновения аварий на подвижных ХОО с аммиаком необходимо рассматривать как воздействие токсического облака заражения, так и возможной ударной волны от воспламенения газопаровоздушной смеси [1].

Прогнозирование последствий при авариях подвижных резервуаров с аммиаком при транспортировке автомобильным транспортом состоит из двух этапов: первый этап заключается в выявлении химической обстановки, где производится расчет глубины химического заражения. Второй этап состоит в определении возможных последствий взрыва, где определяется степень поражения людей и разрушения домов. Заключительный этап включает в себя окончательное уточнение токсического поражения людей с учетом степени разрушения помещений [4].

На первом этапе производится определение глубин химического заражения по следующим формулам:

для порогового поражения:

$$G_n = 0,95 \sqrt[1+b+d]{\frac{m}{0,13(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot a \cdot c \cdot C_n}} K^e K^t ,$$

для смертельного поражения:

$$G_n = 0,95 \sqrt[1+b+d]{\frac{m}{0,13(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot a \cdot c \cdot C_{cm}}} K^e K^t ,$$

где m – масса аммиака, кг; C_n , C_{cm} – значение концентрации порогового и смертельного поражения аммиака соответственно, г/м³; K^e и K^t – коэффициент зависимости глубины заражения от скорости ветра и коэффициент влияния температуры воздуха на глубину заражения аммиака соответственно; a , b , c , d – коэффициенты степенных моделей дисперсии, определяемые по табл. 1 [1].

Второй этап заключается в следующем:

1. Рассчитывается значение низшей теплоты сгорания смеси по формуле [4]:

$$Q^* = 44 \beta ,$$

где $\beta=0,42$ для аммиака согласно работе [5].

2. Рассчитывается величина эффективного энергозапаса газопаровоздушной смеси по формуле:

$$E = Q_0 Q^* \text{ при } c_r \leq c_{стх},$$

где c_r – значение нижнего концентрационного предела воспламенения горючего газа; $c_{стх}$ – концентрация газа в смеси стехиометрического состава.

3. Далее определяется ожидаемый режим взрывного превращения с диапазоном скорости фронта пламени в м/с, по степени загроможденности пространства и классу опасности (чувствительности).

4. Для проверки правильности выбора диапазона взрывного превращения рассчитывается скорость фронта пламени, м/с и сравнивается с диапазоном соответствующих значений выбранного диапазона:

$$\omega_\phi = 43 \cdot Q_0^{\frac{1}{6}}$$

или

$$\omega_{\phi} = 26 \cdot Q_0^{\frac{1}{5}}$$

5. Рассчитывается безразмерная величина радиуса R^* на заданном расстоянии R по формуле:

$$R^* = R^* = R \left(\frac{10 \cdot E}{P_0} \right)^{-1/3}, \quad (3)$$

где P_0 – давление, равное атмосферному, Па.

6. Далее рассчитываются значения пробит-функций по таблице. По ним определяется величина поражающего фактора, характеризующего вероятность разной степени поражения человека, а так же зданий и сооружений. И на заключительном этапе уточняется коэффициент воздухообмена с учетом степени разрушения зданий.

Определяется количество населения, подверженное легкой степени поражения:

$$N_{\Pi} = \Pi_{\Gamma} \cdot S_{\Pi} \cdot K_{\Pi}^{\text{э}}$$

где Π_{Γ} – плотность населения в городе, чел./км²; S_{Π} – площадь фактической зоны порогового поражения, км²; $K_{\Pi}^{\text{э}}$ – коэффициент, учитывающий распространение облака с учетом его подъема, определяемый как $K_{\Pi}^{\text{э}} = \frac{H_{\Pi}}{H_{\text{зд}}^{\text{ж}}}$, где $H_{\text{зд}}^{\text{ж}}$ – высота жилой части здания, при $H_{\Pi}/H_{\text{зд}}^{\text{ж}} > 1$, $K_{\Pi}^{\text{э}} = 1$.

Таблица. **Выражения пробит-функций для разных степеней поражения (разрушения)**

Степень поражения (разрушения)	Выражение пробит-функции
Поражение человека	
Разрыв барабанных перепонок	$Pr = -12,6 + 1,524 \cdot \ln \Delta P_{\phi}$
Контузия	$Pr = 5 - 5,74 \ln \left(\frac{4,2}{1 + \Delta P_{\phi} / P_0} + \frac{1,3 P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}}{I_+} \right)$, где m – масса тела, кг
Летальный исход	$Pr = 2,44 \cdot \ln [7380 / \Delta P_{\phi} + 1,9 \cdot 10^9 / (\Delta P_{\phi} \cdot I_+)]$
Разрушение зданий	
Слабые разрушения	$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln [(4600 / \Delta P_{\phi})^{3,9} + (110 / I_+)^5]$
Средние разрушения	$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln [(17500 / \Delta P_{\phi})^{8,4} + (290 / I_+)^{9,3}]$
Сильные разрушения	$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln [(40000 / \Delta P_{\phi})^{7,4} + (260 / I_+)^{11,3}]$

Исследования показали, что «при небольших площадях разгерметизации действием ударной волны на участке торможения можно пренебречь вследствие незначительного количества пролитого аммиака и малой вероятности воспламенения и взрыва. Наиболее опасным случаем является полное разрушение или вылив аммиака в районе аварийной остановки на маршруте движения в городе в результате террористического акта с поджогом» [4]. Поэтому при аварии подвижного резервуара с аммиаком существует большая вероятность поражения людей как от опасных факторов взрыва, так и посредством токсикологического воздействия. Следует учитывать степень возможных разрушений ближайших зданий, потому что в данном случае количество потерь среди населения возрастает в несколько раз.

Правилами безопасности при транспортировке аммиака железнодорожным транспортом [6] рекомендованы мероприятия по организации ликвидации неисправностей и аварийных ситуаций с цистернами в случае утечки аммиака. Из указанных мероприятий некоторые применимы для автомобильного транспорта, а именно:

– «определение в пределах каждого региона перечня организаций, имеющих сливноналивные пункты аммиака, и аварийно-спасательных служб, способных принимать участие в локализации и ликвидации аварийных ситуаций с жидким аммиаком, помимо подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России. Перечень таких организаций утверждается местной администрацией» [6];

– «в случае повреждения цистерн с выбросом газообразного или жидкого аммиака необходима постанковка водяных завес вокруг цистерн, локализация места утечки аммиака. Подача воды в жидкий аммиак запрещается, так как это приведет к разогреву аммиака, увеличению его утечки, бурному вскипанию и значительному увеличению токсичного облака» [7].

В отличие от железнодорожного транспорта при транспортировке аммиака автомобильным транспортом существует возможность изменять маршрут передвижения автопоезда с аммиаком. Поэтому важно использовать риск-ориентированный подход при разработке маршрута передвижения автотранспорта. В работе [8] рассматривается маршрут транспортировки аммиака, производится оценка риска химической опасности на различных участках маршрута. Приведен график рисков химической опасности, который изображен на рис. 3, где видно, что на большей части маршрута пороговый риск превышает приемлемые значения.

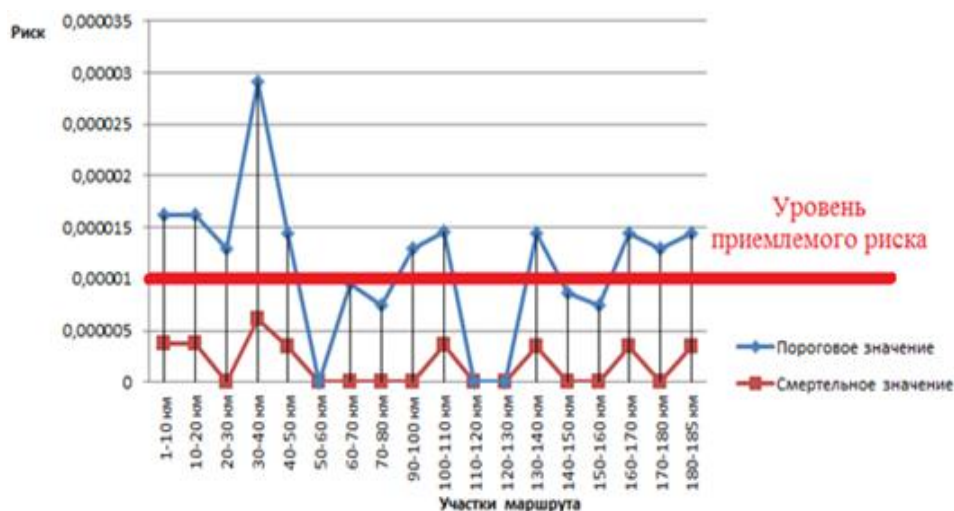


Рис. 3. График рисков химической опасности при транспортировке аммиака

С учетом применения риск-ориентированного подхода снижается риск химической опасности на маршруте [9]. График рисков химической опасности с учетом изменения маршрута изображен на рис. 4.

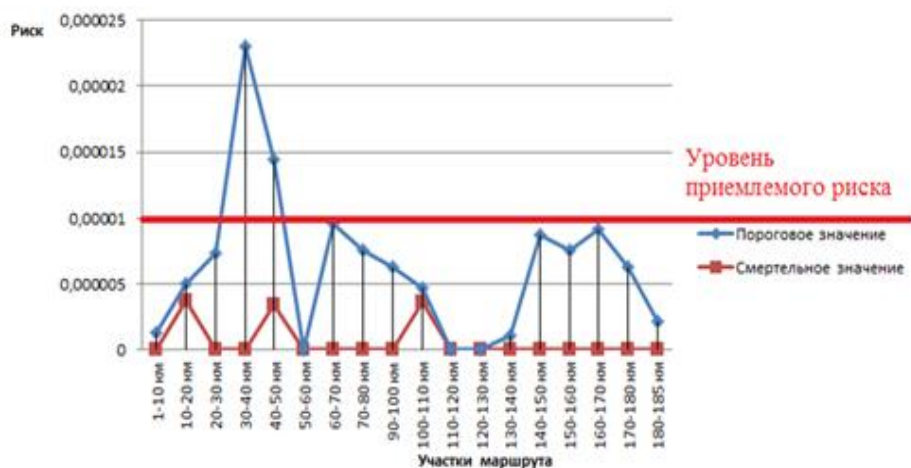


Рис. 4. График рисков химической опасности при транспортировке аммиака с учетом изменения маршрута

Немаловажным фактором при транспортировке аммиака автомобильным транспортом являются погодные условия. Необходимо учитывать метеорологические условия, которые способствовали бы наименьшему распространению зараженного облака при авариях с аммиаком. На рис. 5 изображен график рисков химической опасности при перевозке аммиака автомобильным транспортом с учетом благоприятных условий транспортировки. Благоприятными условиями перевозки с точки зрения минимального распространения облака зараженного воздуха являются: состояние стратификации атмосферы – конвекция, скорость ветра более 2 м/с, дождь.

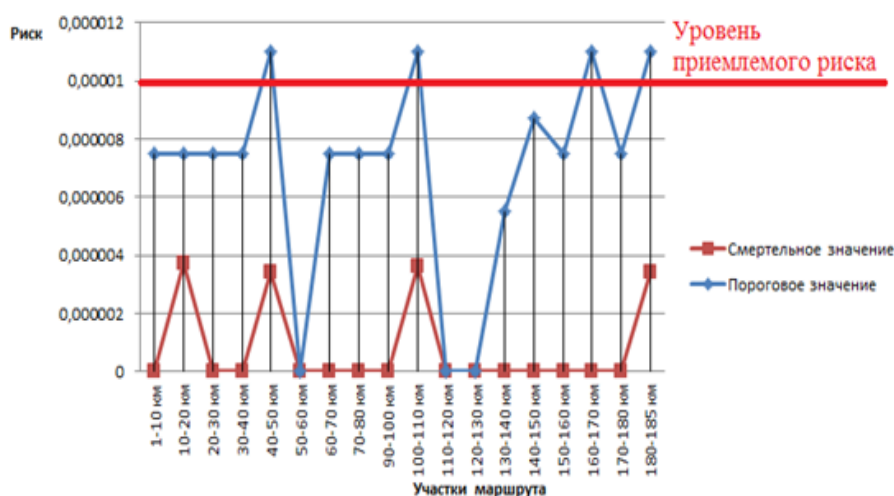


Рис. 5. График рисков химической опасности при транспортировке аммиака с учетом благоприятных условий перевозки с точки зрения минимального распространения облака зараженного воздуха

Основными путями повышения безопасности при транспортировке АХОВ автомобильным транспортом являются:

- учет благоприятных метеоусловий с точки зрения наименьшего распространения облака зараженного воздуха при разгерметизации резервуара с аммиаком;
- проведение оценки риска химической опасности перед планированием маршрута транспортировки аммиака;
- назначение маршрутов перевозки аммиака с использованием риск-ориентированного подхода, что означает исключение движение транспорта вблизи мест и зданий массового пребывания людей;

– выбор маршрутов вблизи зданий, огороженных скверами, посаженными деревьями, что может уменьшить воздействие токсического облака и ударной волны в случае воспламенения и взрыва;

– использование присадок на основе наноструктур, способствующих уменьшению или полному исключению возможности воспламенения и взрыва аммиака.

Таким образом, реализация предложенных путей обеспечения безопасности при транспортировке аммиака автомобильным транспортом позволяет значительно снизить риски опасности токсического заражения и воздействия ударной волны в случае воспламенения или взрыва подвижного резервуара с аммиаком.

Литература

1. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014.

2. Шаталова Н.В., Козьмовский Д.В., Борисов А.Н. Современные вызовы информационной безопасности транспортной инфраструктуры // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2017: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Ин-т проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2017. С. 183–185.

3. Маринов М.Л., Соболевский А., Шаталова Н.В. Исследование влияния человека на процесс управления безопасностью транспортной системы // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Ин-т проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2016. С. 175–182.

4. Савчук О.Н. Пути решения проблемы обеспечения безопасности при транспортировке аммиака автомобильным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 1 (25). С. 42–52.

5. Матрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий: учеб. пособие. М.: Академия, 2011.

6. ПБ 03-557-03. Правила безопасности при эксплуатации железнодорожных вагонов-цистерн для перевозки жидкого аммиака (введ. 2003 г.) // Библиотека нормативной документации. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/39/39910/> (дата обращения: 20.10.2019).

7. Савчук О.Н., Аксенов А.А. Пути совершенствования системы обеспечения безопасности при перевозке АХОВ автомобильным транспортом в Республике Мордовия // Транспорт России: Проблемы и перспективы – 2018. СПб., 2018.

8. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ (методика «Токси». 3 редакция). М.: Промышленная безопасность, 2005.

9. Maria Francesca Milazzo, Giuseppa Ancione, Roberto Lisi, Chiara Vianello. Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2009. № 22. С. 625–633.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЖАРНЫМ РИСКОМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Л.А. Королева, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Определена роль нефтепродуктов в грузовых перевозках железнодорожного транспорта. Рассмотрены аварийные ситуации, сопровождающиеся пожарами (взрывами) цистерн. Отмечена необходимость повышения точности прогнозирования при управлении пожарным риском на железнодорожном транспорте. Проанализированы подходы к расчету площади разлива нефтепродуктов. Определены преимущества эксергетического метода прогнозирования при управлении пожарным риском.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, авария, пожар, пожарный риск, прогнозирование, разлив, нефть, нефтепродукты, чрезвычайная ситуация, эксергия

FORECASTING IN THE MANAGEMENT OF FIRE RISK IN RAILWAY TRANSPORT

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

The role of petroleum products in cargo transportation of railway transport is determined. Emergency situations accompanied by fires (explosions) of tanks are considered. The need to improve the accuracy of forecasting in the management of fire risk in railway transport is noted. Approaches to calculation of oil product spill area are analyzed. The advantages of exergetic forecasting method in fire risk management are determined.

Keywords: railway transport, accident, fire, fire risk, forecasting, spill, oil, oil product, emergency situation, exergy

Важнейшей составляющей современного общества является нефть и нефтепродукты, значение которых велико как для экономики страны, так и для функционирования железнодорожного транспорта. Актуальными являются вопросы, связанные с обеспечением безопасности поставок таких грузов потребителям.

Железнодорожный транспорт перевозит большое количество нефтяных грузов. По данным [1] их погрузка за январь–октябрь 2019 г. составила 191,6 млн т, что незначительно меньше, чем за аналогичный период прошлого года. Около двух третей всей погрузки нефти и нефтепродуктов приходится на железные дороги: Свердловскую – 18 %, Куйбышевскую – 17 %, Северо-Кавказскую – 9 %, Западно-Сибирскую – 8 %, Приволжскую – 7 %, Московскую – 7 % [2].

В 2018 г. перевезено 236,4 млн т нефтеналивных грузов. Из них приблизительно 26,5 % (62,7 млн т) приходится на различные виды топлива (дизельное, моторное и печное), 20 % (46,9 млн т) составляют бензины различных марок, 18 % (42,7 млн т) – мазуты, 9,5 % (22,5 млн т) – нефть сырая [2].

Эксперты Российской железной дороги считают, что в 2019–2022 гг. погрузка нефти и нефтепродуктов будет ниже уровня 2018 г., но в 2023 г. ожидается ее увеличение [3]. Так, например, заместитель генерального директора Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») – начальник центра фирменного транспортного обслуживания А.Н. Шило отмечает, что «мы планируем к 2025 г. нарастить объемы перевозок нефти и нефтепродуктов не менее чем на 7 млн т» [4].

Нефтяные грузы вносят значительный вклад не только в грузовую работу, но и в доходы ОАО «РЖД», и являются важнейшими грузами железнодорожного транспорта [4].

Железнодорожные перевозки нефти и нефтепродуктов имеют объективные преимущества перед остальными видами транспортных средств:

– развитая инфраструктура, возможность доставки по территории России и в другие страны;

– высокая скорость доставки;

– большие объемы поставок;

– возможность использования транспортных систем вне зависимости от времени года;

– экономическая эффективность, определяемая при сопоставлении финансовых затрат на организацию железнодорожных перевозок и получаемой прибыли.

Поезда могут быть составным элементом мультимодальных перевозок, в рамках которых принимают участие различные виды транспорта. Следует иметь в виду, что большая часть нефтеперерабатывающих предприятий имеют оборудованные пункты приема железнодорожных цистерн, что исключает необходимость перегрузки продукции и значительно снижает расходы.

К недостаткам железнодорожных перевозок нефтепродуктов следует отнести:

- наличие потерь при транспортировке (например, при «больших» и «малых» дыханиях);
- потребность в специальном оборудовании;
- необходимость прокладки новых путей;
- достаточно высокая цена для потребителей.

Доставка нефтепродуктов сопряжена с определенными рисками. Обеспечение безопасности рассматривается как одна из основных задач развития железнодорожного транспорта.

При перевозке нефти и нефтепродуктов возникают различные аварийные ситуации. Среди них можно выделить разгерметизацию цистерн и пролив перевозимых веществ. Аварии, сопровождающиеся пожарами (взрывами) цистерн с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями (ЛВЖ и ГЖ), представляют высокую опасность.

Аварийные ситуации с участием ЛВЖ и ГЖ могут развиваться по различным сценариям. Так, например, при разливе нефтепродуктов вследствие образования пробоев, разгерметизации или схода с рельсов цистерн возможны следующие пожароопасные ситуации:

- пожар пролива;
- образование взрывоопасного облака с последующим взрывом топливовоздушной смеси (ТВС);
- пожары вследствие попадания нефтепродуктов в систему канализации.

При отсутствии непосредственного контакта пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны опасность их разрушения незначительна. Нахождение в зоне пожара определяет возможность вовлечения в аварийную ситуацию соседних цистерн.

В мае 2011 г. на станции Белая Калитва (Ростовская область) сошли с рельсов локомотив и 51 цистерна с топливом. В нескольких из них был пропан. Произошел взрыв, затем пожар. Имела место утечка метиленхлорида из цистерны, что осложнило обстановку в зоне чрезвычайной ситуации (ЧС).

Пожар ликвидировали более 5 ч. Погибших не было, за медицинской помощью обратилось 44 человека (местные жители и локомотивная бригада). Фактически взрыв затронул 2 700 горожан, которые были выселены из домов, расположенных в районе железнодорожного вокзала.

В мае 2012 г. произошел пожар на станции Горький–Сортировочная. Для тушения двух горящих цистерн с бензином вместимостью 60 т (одна из них полная, вторая заполнена наполовину) привлечено девять единиц основной пожарной техники и 30 человек личного состава, пожарный поезд Горьковской железной дороги. Пожару присвоен повышенный 4 номер (ранг) пожара. С соседнего железнодорожного пути эвакуирован состав.

К ликвидации последствий ЧС привлечено 1 007 человек и 134 единицы техники, в том числе 150 человек и 35 единиц техники МЧС России.

В августе 2014 г. в Черкасской области на Украине произошла авария поезда, перевозившего нефтепродукты в 36 цистернах (рис.). К ликвидации пожара привлечено 40 единиц техники и 200 человек. В тушении принимало участие три пожарных поезда.



Рис. Пожар в Черкасской области

В апреле 2016 г. в г. Ростове перевернулись две железнодорожные цистерны с нефтепродуктами, одна из них загорелась. К моменту приезда пожарных воспламенилась и вторая цистерна, а огонь распространился на площади более 70 м². В боевых действиях по тушению пожара на железной дороге участвовали 76 человек, привлечено 24 единицы техники. Погибших и пострадавших не было.

Разливы нефти и нефтепродуктов классифицируются как ЧС [5]. Разработка планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (План РЛН) на железнодорожном транспорте проводится с учетом максимально возможного объема разлившихся грузов, что составляет 50 % от общего объема цистерн в железнодорожном составе.

В зависимости от объема и площади разлива нефти и нефтепродуктов на местности, выделяются ЧС следующих категорий: локального, муниципального, территориального, регионального, федерального значения. Повышение категории ЧС может быть обосновано в зависимости от местоположения разлива и гидрометеорологических условий [5].

Прогнозирование возможных разливов нефти и нефтепродуктов предусматривается Планом ЛРН. Целью является определение:

- площадей и объемов разливов в зависимости от характеристик окружающей среды;
- поведения нефтяного пятна под влиянием гидрологических и гидрометеорологических условий;
- возможных последствий разливов;
- границ районов разливов;
- сроков, последовательности операций, оптимальных способов выполнения работ, направленных на локализацию и ликвидацию ЧС;
- достаточности сил и средств (СиС) для проведения действий по локализации и ликвидации максимально возможного разлива.

Выбор и использование технических средств и технологий локализации и ликвидации разливов нефтепродуктов, определение количества СиС осуществляется на основе оценки площади разлива, ей принадлежит важная роль при расчете величины пожарного риска.

Площадь разлива на неограниченную поверхность $F_{пр}$ (м²) при расчете пожарного риска согласно методике [6] определяется по формуле:

$$F_{пр} = f_p \times V_{ж},$$

где f_p – коэффициент разлития, м⁻¹, допускается принимать:

- при проливе на неспланированную грунтовую поверхность $f_p = 5$ м⁻¹;
- при проливе на спланированное грунтовое покрытие $f_p = 20$ м⁻¹;
- при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие $f_p = 150$ м⁻¹;

$V_{ж}$ – объем ЛВЖ (ГЖ), поступившей в окружающее пространство при разгерметизации цистерны, м³.

В работе [7] проведен анализ методов прогнозирования площади разлива жидкости на свободную поверхность в зависимости от объема жидкости для проливов на бетонное или асфальтовое покрытие, предложенных в работах [8–11] и в методике [6].

При оценке величины пожарного риска в работе [7] применялась методика оценки потенциального пожарного риска при перевозке пожароопасных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом, предложенная и апробированная учеными под руководством Ю.Н. Шебеко. Значения частоты возникновения аварийных ситуаций принимались согласно данным, представленным в работе [12].

Проведенные расчеты показали, что прогнозируемая величина пожарного риска при транспортировке ЛВЖ и ГЖ для модельных примеров изменяется менее чем на 10 % в зависимости от применяемого подхода.

В работе [7] отмечается, что метод, предложенный авторами [9], дает сильно завышенную оценку площади разлива. Подход к оценке площади разлива, изложенный

в исследовании [11], не применим для истечения объемов жидкостей из цистерн. Расчеты с использованием методики [6], дают результаты, сходные с результатами, полученными другими авторами. Следует, однако, отметить, что повышение точности прогнозирования разливов нефти и нефтепродуктов остается актуальной задачей.

Как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозке нефтепродуктов авторами предлагается эксергетический анализ [13]. Он позволяет провести комплексную энергоэкологическую оценку и определение пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта. Центральным понятием рассматриваемого метода является понятие эксергии, сформулированное в справочнике [14]. Авторами установлены зависимости между эксергией и показателями пожарной опасности нефтеналивных грузов железнодорожного транспорта: температурами вспышки и самовоспламенения, температурными и концентрационными пределами распространения пламени. Предложено ранжирование грузов по эксергетическому показателю, который рассмотрен как количественная характеристика, позволяющая провести унификацию требований к вредным веществам, содержащимся в сырье, продуктах, полупродуктах и отходах, при их хранении, применении, производстве (по ГОСТ 12.1.007–76) и опасным грузам (по ГОСТ 19433–88) с точки зрения их пожарной и экологической опасности, оценить вредное воздействие продуктов их сгорания.

Перевозка нефтепродуктов железнодорожным транспортом имеет важное значение для экономики страны. Пожары при транспортировке таких грузов представляют серьезную опасность. Расширение возможностей прогнозирования опасных свойств грузов позволяет повысить обоснованность решений, направленных на управление пожарными рисками.

Литература

1. РЖД в цифрах. URL: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5232 (дата обращения: 10.08.2019).
2. Хусаинов Ф.И., Ожерельева М.В. Перевозки угля и нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом: текущее состояние и перспективы // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 4 (83). С. 22–27.
3. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320741/ (дата обращения: 10.09.2019).
4. Шилов А.Н. Ориентир – потребности клиентов // Гудок. 2018. 26 марта. С. 3.
5. О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 авг. 2000 г. № 613. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901767072> (дата обращения: 10.11.2019).
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 25.08.2019).
7. Оценочное влияние пролива на расчетную величину пожарного риска при транспортировке легковоспламеняющихся жидкостей / С.А. Швырков [и др.] // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. Т. 1. № 8. С. 163–165.
8. Басманов А.Е., Горпинич И.А. Растекание жидкости на негладкой горизонтальной поверхности при аварии на железнодорожном транспорте // Збіркана укових праць. Харьков, 2014. Вип. 20. С. 16–20.
9. Рябов И.В., Таубкин С.И., Монахов В.Т. Разработка уточненных рекомендаций по составлению методик определения категорий производств по взрывопожарной и пожарной опасности: отчет о НИР. М.: ВНИИПО, 1974. 78 с.
10. Исследование растекаемости огнеопасных жидкостей по твердым поверхностям / М.В. Алексеев [и др.] // Противопожарная техника и безопасность: сб. науч. тр. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1978. Вып. 4. С. 31–36.

11. Нгуен Куок Вьет. Предотвращение каскадного развития пожара на автозаправочных станциях Республики Вьетнам ограничением разлива нефтепродукта при разгерметизации сливного патрубка автоцистерны: дис. ... канд. техн. наук. М., 2011.

12. Расчетная оценка пожарного риска перевозки легковоспламеняющихся жидкостей автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. 2015. № 4. С. 58–69.

13. Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / Л.А. Королева [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 7–8. С. 43–52.

14. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 48–2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (дата обращения: 06.06.2018).



ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

МОНИТОРИНГ ОСТАТКОВ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ (СРЕДСТВ ПОДЖОГА) В ГРУНТЕ ПОЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ

М.Ю. Принцева, кандидат технических наук;
И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор;
А.А. Тумановский, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проведена оценка способности горючих жидкостей и их выгоревших остатков сохраняться в открытом грунте в количествах, детектируемых современными полевыми методами. На примере автомобильного бензина, дизельного топлива и жидкости для розжига показана возможность их обнаружения при помощи электронного газоанализатора с фотоионизационным детектором и линейно-колористическим методом с применением химического газоанализатора с индикаторными трубками, как минимум, через четыре–девять недель после нанесения.

Ключевые слова: горючие жидкости, средства поджога, индикаторные трубки, фотоионизационный детектор, экспертиза пожаров, полевые методы исследования

MONITORING OF RESIDUES OF COMBUSTIBLE LIQUIDS (MEANS OF AN ARSON) IN SOIL BY FIELD METHODS

M.Yu. Printseva; I.D. Cheshko; A.A. Tumanovskiy.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The ability of flammable liquids and their burnt residues to be stored in the open ground in quantities detected by modern field methods was evaluated. On the example of motor gasoline, diesel fuel, liquid for ignition, the possibility of detecting their residues using an electronic gas analyzer with a photoionization detector and a linear color method using a chemical gas analyzer with indicator tubes, at least 4–9 weeks after bottling is shown.

Keywords: combustible liquids, means of an arson, indicator tubes, photoionization detector, fire expertise, modern field methods

Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (ЛВЖ и ГЖ) достаточно часто становятся объектами поисков и экспертного исследования при экспертизе пожаров и преступлениях экологического характера. В первом случае это происходит при расследовании поджогов с применением данных жидкостей в качестве интенсификаторов горения, во втором случае – когда они являются фактором загрязнения окружающей среды. Далеко не всегда экспертное исследование такого рода преступлений проводится «по горячим следам», экспертизы могут назначаться и проводиться по прошествии нескольких дней,

недель, а иногда и месяцев после инцидента. При этом встает вопрос о целесообразности такого рода поисков в принципе, поскольку не ясно, могли ли вообще подобные жидкости длительно сохраняться в достаточно жестких условиях окружающей среды.

В данной работе авторами изучалась возможность сохранения на грунте остатков самых распространенных ЛВЖ, ГЖ – бензина, дизельного топлива и получившего распространение в последние годы так называемого «Средства для розжига».

Ставилась задача оценить способность горючих жидкостей сохраняться в открытом грунте в количествах, детектируемых современными полевыми методами при помощи электронного газоанализатора с фотоионизационным детектором (ФИД) и линейно-колористическим методом с применением химического газоанализатора с индикаторными трубками.

В качестве объектов исследования были выбраны:

1. Бензин автомобильный неэтилированный марки АИ-92, ГОСТ 32513–2013, ООО «ПО «Киришинефтергсинтез».

2. Дизельное топливо зимнее марки ДТЗ-0,2 минус 35, ГОСТ 305–82, ООО «ПО «Киришинефтергсинтез».

3. Жидкость для розжига Grillkoff, ТУ 0255-010-470011703-04, ООО «НПО Тверской проект», состав – смесь жидких парафинов.

Указанные жидкости в количестве 0,5 л наносили на грунт (смесь глины и супеси), после чего выдерживали на открытом воздухе при весьма неблагоприятных условиях – температура окружающей среды от -4 до +20 °С (с марта по май) – неоднократно выпадал и таял снег. Периодически над местом нанесения электронным газоанализатором с ФИД проводился замер концентрации паров с целью обнаружения остатков данных жидкостей. Параллельно для определения химического состава паровоздушной смеси проводили исследование линейно-колористическим методом с помощью индикаторных трубок по характерному изменению их окрашивания.

Эксперименты проводили двумя сериями – в одной жидкости предварительно сжигали на грунте горящим факелом до прекращения горения, в другой фиксировали, как происходит изменение состава исходной (несгоревшей) жидкости на грунте во времени.

Зондирование газовой фазы проводили при помощи электронного газоанализатора с ФИД АНТ-3. Метод фотоионизационного детектирования основан на измерении тока, вызванного ионизацией газов и паров фотонами, излучаемыми ультрафиолетовым источником. Детектор реагирует на гамму веществ с потенциалом ионизации менее 10,8 Эв, в число которых входят органические вещества практически всех известных классов, включая спирты (кроме метанола), кислоты, простые и сложные эфиры, амины, алифатические углеводороды (кроме метана, этана и пропана), ароматические углеводороды и др., а также некоторые неорганические соединения: аммиак и сероводород [1].

Концентрацию паров над грунтом в местах нахождения исходных и частично выгоревших горючих жидкостей замеряли на расстоянии 1 см от воздухозаборной трубки ФИД до обследуемой поверхности. Измерения проводились по шкале «Углеводороды». Фоновые значения окружающей среды составили 0 мг/м³.

Для химического анализа (предварительной классификации) паров горючей жидкости применялось устройство УКАП. Устройство представляет собой комплект, состоящий из аспиратора сильфонного АМ-0059 и насадки для комплекта индикаторных трубок. Комплект состоит из четырех индикаторных трубок: «алканы» для определения алифатических углеводородов, «арены» для определения ароматических углеводородов, «спирты» для определения спиртов и «кетоны» для определения кетонов [2] (дата выпуска 2018 г.).

В табл. 1 приведен исходный цвет индикаторных трубок, а также характерные изменения их окраски при срабатывании.

Количество прокачек составляло от 1 до 10.

Таблица 1. Характерные изменения окраски индикаторных трубок при обнаружении искомого класса вещества

Класс вещества	Цвет трубок	
	исходный	при реакции на искомый компонент
Алканы	Желтый	Зеленый
Арены	Белый	Коричневый
Кетоны	Бордовый	Желтый
Спирты	Желтый	Бледно-зеленый

В табл. 2 представлены результаты исследования газовой фазы над поверхностью грунта при помощи электронного газоанализатора с ФИД.

Таблица 2. Мониторинг остатков ГЖ в грунте электронным газоанализатором с ФИД

Неделя	Средство поджога	Показания газоанализатора, мг/м ³	
		исходное	выгоревшее
1	Жидкость для розжига	40	39
	ДТЗ	237	110
	АИ-92	447	67
2	Жидкость для розжига	35	28
	ДТЗ	234	74
	АИ-92	22	11
3	Жидкость для розжига	37	21
	ДТЗ	210	72
	АИ-92	25	10
4	Жидкость для розжига	20	14
	ДТЗ	40	31
	АИ-92	26	7
5	Жидкость для розжига	12	12
	ДТЗ	37	28
	АИ-92	0	0
6	Жидкость для розжига	0	0
	ДТЗ	30	20
	АИ-92	0	0
7	Жидкость для розжига	0	0
	ДТЗ	24	20
	АИ-92	0	0
8	Жидкость для розжига	0	0
	ДТЗ	25	12
	АИ-92	0	0
9	Жидкость для розжига	0	0
	ДТЗ	20	10
	АИ-92	0	0

Как видно из табл. 2, остатки дизельного топлива сохраняются в грунте наиболее длительное время по сравнению с автомобильным бензином и жидкостью для розжига. Остатки исходного и выгоревшего зимнего дизельного топлива (ДТЗ) в газовой фазе над грунтом обнаруживаются до девяти недель после нанесения. Пары автомобильного бензина обнаруживаются до четырех недель после нанесения. Жидкость для розжига обнаруживается до пяти недель после нанесения. Таким образом, исследования показали, что обнаружение остатков ГЖ в открытом грунте при помощи электронного газоанализатора возможно через месяц, а дизельного топлива даже через два месяца.

Результаты характерных окрашиваний индикаторных трубок над грунтом с горючими жидкостями в зависимости от времени, прошедшего с момента нанесения, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Мониторинг остатков ГЖ в грунте химическим газоанализатором с индикаторными трубками

Неделя	Индикаторные трубки	Жидкость для розжига		Дизельное топливо		Автомобильный бензин	
		исходная	выгоревшая	исходное	выгоревшее	исходный	выгоревший
1	Алканы	+	+	+	+	+	+
	Арены	–	–	+	+	+	+
2	Алканы	+	+	+	+	+	+
	Арены	–	–	+	+	+	+
4	Алканы	+	+	+	+	–	–
	Арены	–	–	+	+	+	+
5	Алканы	+	–	+	+	–	–
	Арены	–	–	+	+	+	–
6	Алканы	–	–	+	–	–	–
	Арены	–	–	+	–	–	–
9	Алканы	–	–	+	–	–	–
	Арены	–	–	+	–	–	–

+ индикаторная трубка окрасилась в характерный цвет;

– индикаторная трубка не окрасилась

При прокачивании газовой фазы над грунтом с дизельным топливом и автомобильным бензином окрасились две индикаторные трубки: трубка «алканы» – в зеленый цвет, трубка «арены» – в коричневый цвет, трубки «спирты» и «кетоны» окраску не изменили. Такая комбинация окрашивания трубок характерна для нефтепродуктов, поскольку нефтепродукты представляют собой в основном смеси алифатических и ароматических углеводородов [3, 4]. Указанная комбинация окрашивания для данных горючих жидкостей сохранялась до двух недель для исходного и выгоревшего автомобильного бензина и до пяти недель для исходного дизельного топлива. Кроме того, для исходного автомобильного бензина окрашивание одной индикаторной трубки «арены» сохранялось до пяти недель, а для выгоревшего до четырех недель, что также может являться признаком присутствия в пробе остатков ГЖ. При прокачивании газовой фазы над грунтом с жидкостью для розжига окрасилась одна индикаторная трубка «алканы» – в зеленый цвет, трубки «арены» «спирты» и «кетоны» окраску не изменили, что характерно для продуктов, содержащих в своем составе только алифатические углеводороды [3, 4]. Такая комбинация окрашивания индикаторных трубок

сохранялась до четырех недель для выгоревшего образца и до пяти недель для исходного образца жидкости для розжига. После девяти недель индикаторные трубки сработали только для пробы грунта с исходным дизельным топливом.

Таким образом, показано, что остатки ГЖ (средств поджога) сохраняются в открытом грунте достаточно долго, несмотря на весьма жесткие погодные условия (смыв дождем и таящим снегом, перепады температур) и могут быть обнаружены имеющимися на вооружении судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы МЧС России электронным газоанализатором с ФИД и химическим газоанализатором с индикаторными трубками. Однако необходимо учитывать также, что несрабатывание газоанализатора на месте пожара не является основанием для категорического исключения наличия инициаторов горения и самого факта поджога. Следовые количества остатков ЛВЖ и ГЖ могут быть обнаружены в отобранных на месте пожара пробах твердых материалов – носителей остатков ГЖ более чувствительными лабораторными методами (флуоресцентная спектроскопия, газожидкостная хроматография).

Конечно, результаты подобных экспериментов зависят от временных и температурных факторов, свойств объекта-носителя, компонентного состава и свойств жидкости. Они лишь подтверждают целесообразность поисков остатков ЛВЖ и ГЖ, даже если они попали на грунт несколько недель тому назад и подвергались достаточно жесткому воздействию окружающей среды.

Литература

1. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2010. 90 с.
2. Принцева М.Ю., Чешко И.Д. Многоканальный газоанализатор с индикаторными трубками и его применение для установления природы жидкости, использованной при поджоге // Расследование пожаров. М.: ВНИИПО, 2007. Вып. 2. С. 170–180.
3. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПб.: СПб ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. Кн. 2. 364 с.
4. Диагностика и идентификация горючих жидкостей при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 148 с.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ТОЛЩИНЫ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЯМИ

А.В. Гутовский;

В.И. Булгаков, кандидат технических наук, доцент.

Академия гражданской защиты МЧС России.

С.А. Турсенев, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрен вопрос о влиянии формы и толщины воздушной прослойки на интенсивность теплообмена между двумя поверхностями. Приведены результаты экспериментальных исследований воздушной прослойки между образцами цилиндрической формы и образцами в форме полусферы.

Ключевые слова: воздушная прослойка, цилиндр, полусфера, теплообмен, эксперимент

THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE AIR GAP ON THE HEAT TRANSFER RATE BETWEEN SURFACES

A.V. Gutovskiy; V.I. Bulgakov. Civil defence academy of EMERCOM of Russia.

S.A. Tursenev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The influence of the shape and thickness of the air layer on the heat transfer intensity between the two surfaces is considered. The results of experimental studies of the air layer between samples of cylindrical shape and samples in the form of a hemisphere are presented.

Keywords: air layer, cylinder, hemisphere, heat exchange, experiment

Ежегодно в Российской Федерации на территории Сибири и Дальнего Востока возникают крупные лесные пожары, причиняющие серьезный материальный ущерб государству. В случае, когда пожар классифицируется как чрезвычайная ситуация, для его ликвидации привлекаются силы и средства Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), в том числе и пожарные подразделения МЧС России, которые, согласно Трудовому кодексу Российской Федерации [1], должны быть обеспечены средствами защиты от опасных факторов пожара.

При попадании пожарных в очаг лесного пожара большой интенсивности технические средства защиты, применяемые на сегодняшний день, обеспечивают недостаточную безопасность, что неоднократно приводило к гибели людей, попавших в окружение горячей кромкой. Табельные средства защиты, в основном, применяются на ограниченной дистанции и предусматривают лишь кратковременное прямое воздействие огня, после чего начинают разрушаться либо проводить превышающее допустимые нормы количество теплоты, причиняющее вред здоровью человека.

Для повышения безопасности пожарных в Академии гражданской защиты МЧС России разрабатывается мобильное техническое средство защиты в виде быстровозводимой термостойкой палатки, на которую в настоящее время уже получен патент на изобретение [2]. Одним из этапов ее создания является изучение влияния формы и толщины воздушной прослойки между внутренней поверхностью средства защиты и человеком на интенсивность теплообмена. Для этого были проведены экспериментальные исследования теплообмена в воздушных прослойках между образцами в форме полусферы и цилиндра.

Экспериментальные исследования

Для проведения опытов применялось следующее экспериментальное оборудование:

1. Образцы для создания воздушной прослойки, выполненные из листовой стали Ст. 3 толщиной 1,5 мм (рис. 1):

– полусферы диаметром 150, 120, 100, 80, 60 и 20 мм;

– цилиндры с одним (верхним) основанием диаметром 150, 120, 100, 80, 60 и 20 мм.

Высота всех образцов равна половине их диаметра.



Рис. 1. Экспериментальные образцы

2. Плита фиксации образцов (рис. 2), выполненная из деревянной доски, покрытой алюминиевой фольгой, в которой установлены металлические стержни для соосной фиксации пар образцов различных диаметров относительно друг друга.

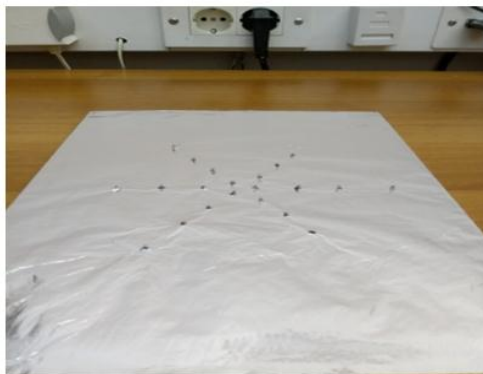


Рис. 2. Плита фиксации образцов

3. Печь электрическая ЭКПС-10.
4. Инфракрасный термометр INFINITER IN TERM.
5. Секундомер.

Порядок выполнения эксперимента

Так как, согласно [3], температура нагретой внутренней поверхности защитного ограждения при отсутствии непосредственного контакта с телом человека не должна превышать $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, то при проведении экспериментов температурный режим испытываемых образцов был выбран в пределах от $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эксперименты проводились в закрытом помещении с температурой окружающей среды $26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для создания воздушной прослойки толщиной δ использовались пары образцов диаметрами d_1 и d_2 , высотой h_1 и h_2 , соответственно (рис. 3, табл. 1).

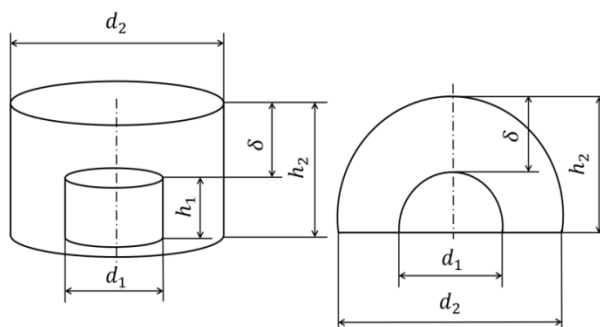


Рис. 3. Создание воздушной прослойки с помощью образцов цилиндрической формы и образцов в форме полусферы

Таблица 1. Геометрические размеры цилиндров и полусфер для создания воздушных прослоек

№ п/п	δ , мм	d_1 , мм	h_1 , мм	d_2 , мм	h_2 , мм
1	65	20	10	150	75
2	50	20	10	120	60
3	40	20	10	100	50
4	30	20	10	80	40
5	20	20	10	60	30

Исходя из приведенных в табл. 1 размеров, как показали расчеты, отношение площадей цилиндров и полусфер, участвующих в процессе теплообмена, одинаковы при одинаковой толщине воздушной прослойки и по мере его увеличения возрастают (рис. 4).

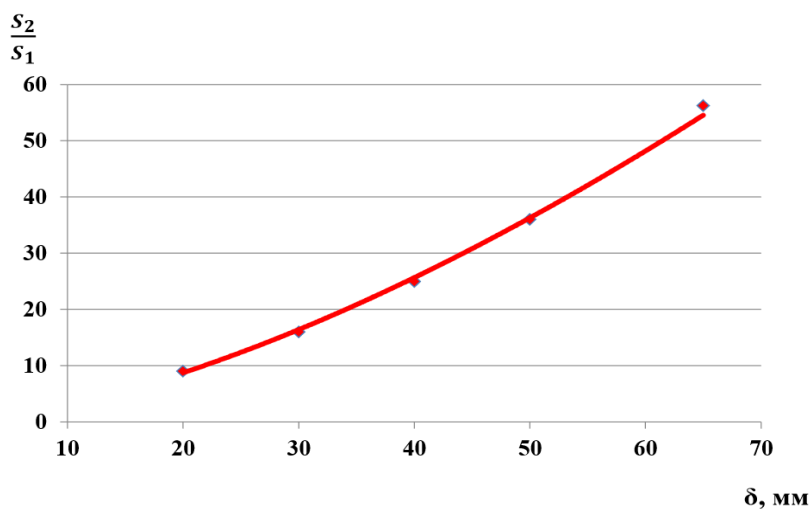


Рис. 4. Зависимость отношений площадей образцов, участвующих в теплообмене от толщины воздушной прослойки

Образец соответствующей формы меньшего размера диаметром d_1 высотой h_1 с начальной температурой внешней поверхности $26\text{ }^\circ\text{C}$ устанавливался на стержни плиты фиксации. Образец той же формы, но большего размера диаметром d_2 высотой h_2 помещался в предварительно прогретую до $100\text{ }^\circ\text{C}$ электропечь и выдерживался в ней 15 мин. После чего образец извлекался из печи, устанавливался на стержни плиты фиксации и включался секундомер. Через 2 мин образец диаметром d_2 высотой h_2 снимался с плиты фиксации и инфракрасным термометром измерялась температура t внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в его верхней точке. Результаты измерений при различной толщине воздушной прослойки представлены в табл. 2–6.

Таблица 2. Результаты измерений температуры на внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена при $\delta=65\text{ мм}$

№ опыта	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$		№ опыта	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$		№ опыта	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	
	полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр
1	26,5	31,4	11	26,8	32,1	21	26,7	32,0
2	26,9	31,9	12	27,1	31,8	22	26,8	31,8
3	26,6	32,1	13	26,9	31,9	23	26,8	31,5
4	26,9	32,0	14	27	32,1	24	26,6	31,5
5	26,9	32,0	15	27,1	31,4	25	26,6	31,5
6	27	32,0	16	26,7	32,1	26	26,8	31,7
7	26,9	32,0	17	26,8	31,9	27	26,9	31,5
8	26,8	31,7	18	26,7	31,6	28	26,7	31,7
9	26,7	31,8	19	27	32,1	29	26,8	32,2
10	26,7	31,9	20	26,8	32,2	30	26,6	31,7

Таблица 3. Результаты измерений температуры на внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена при $\delta=50$ мм

№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С	
	полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр
1	26,8	32	5	27,5	31,8	9	27,3	32,1
2	27,3	32,3	6	27,7	32,2	10	27,5	31,9
3	27,7	31,8	7	27,2	31,8			
4	27,2	32,3	8	27,1	31,9			

Таблица 4. Результаты измерений температуры на внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена при $\delta=40$ мм

№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С	
	полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр
1	27,5	31,6	5	28	32,8	9	27,9	32,6
2	27,4	32,4	6	27,6	32,3	10	27,7	32,9
3	28	32,6	7	27,8	32,5			
4	27,8	32,9	8	27,9	32,6			

Таблица 5. Результаты измерений температуры на внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена при $\delta=30$ мм

№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С	
	полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр
1	29,3	32,9	5	29,7	33,1	9	29,5	32,9
2	29,1	33,3	6	29,4	33,6	10	29,7	32,8
3	29,7	33,2	7	29,7	33,3			
4	29,2	32,4	8	29,6	33,3			

Таблица 6. Результаты измерений температуры на внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена при $\delta=20$ мм

№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С		№ опыта	Температура t , °С	
	полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр		полу-сфера	цилиндр
1	30,2	33,6	5	30,9	33,7	9	30,3	34
2	30,4	33,9	6	30,7	34,7	10	30,8	34,1
3	30,6	34,1	7	30,5	34,2			
4	30,1	34,3	8	30,1	33,8			

На основе результатов экспериментов построены графики средних арифметических температур цилиндров и полушаров при различных толщинах (рис. 5–9).

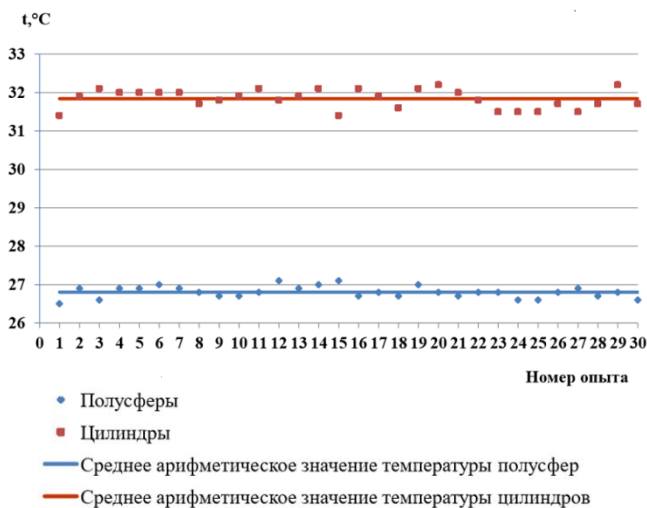


Рис. 5. График средних арифметических температур цилиндров и полусфер при толщине воздушной прослойки $\delta=65$ мм

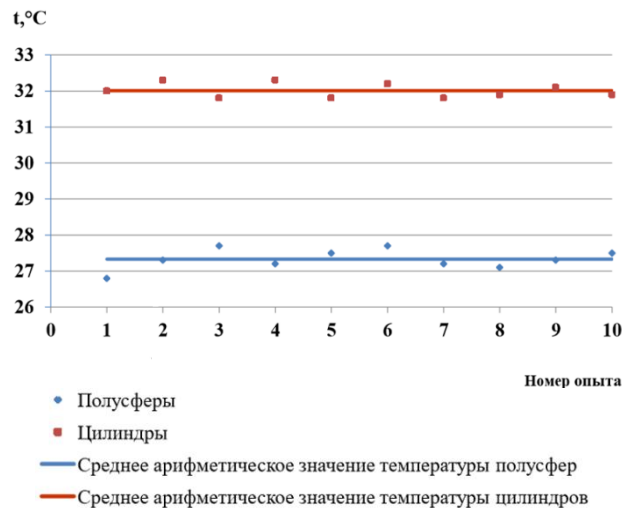


Рис. 6. График средних арифметических температур цилиндров и полусфер при толщине воздушной прослойки $\delta=50$ мм

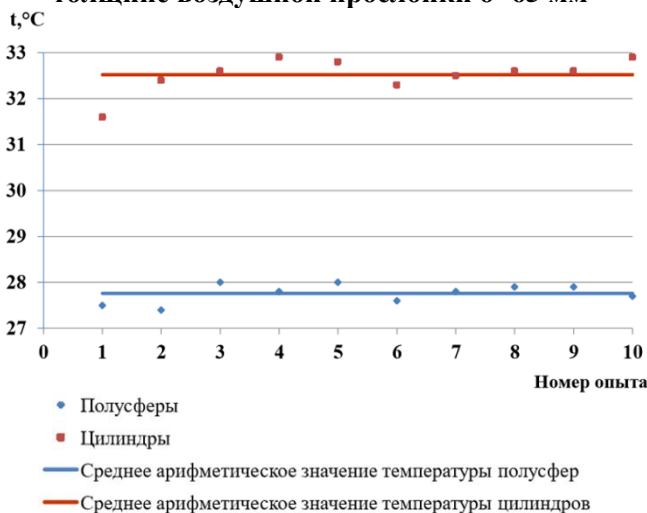


Рис. 7. График средних арифметических температур цилиндров и полусфер при толщине воздушной прослойки $\delta=40$ мм

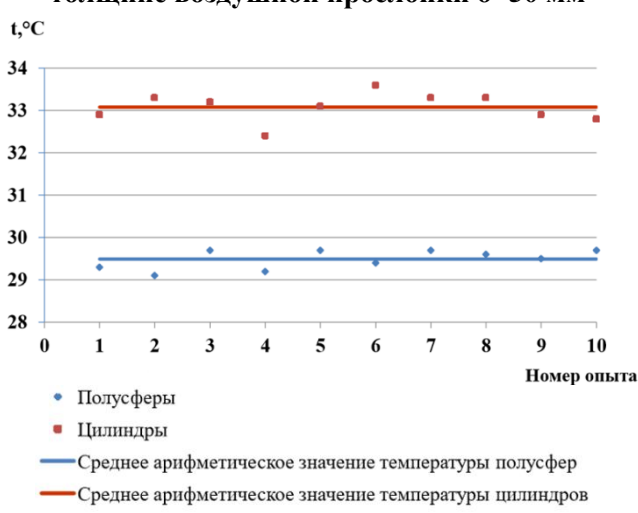


Рис. 8. График средних арифметических температур цилиндров и полусфер при толщине воздушной прослойки $\delta=30$ мм

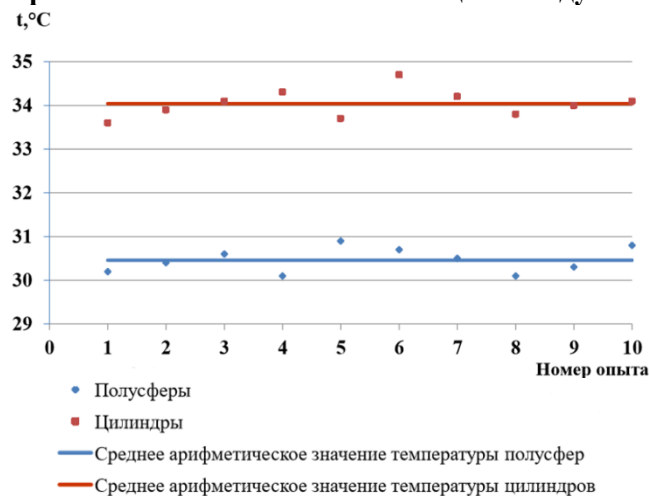


Рис. 9. График средних арифметических температур цилиндров и полусфер при толщине воздушной прослойки $\delta=20$ мм

Анализ результатов экспериментов

Для проверки адекватности полученных показаний сравнивалось количество выполненного числа наблюдений n с требуемым числом наблюдений n_n . Для этого по общепринятой стандартной методике рассчитывалось требуемое число наблюдений. Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты расчетов

Диаметр образца d_1 , мм	Диаметр образца d_2 , мм	Толщина воздушной прослойки δ , мм	Выполненное число наблюдений n	Среднее арифметическое значение температуры t_{cp} , °C	Дисперсия σ^2	Среднее квадратическое отклонение σ	Ошибка среднего математического ожидания m	Коэффициент вариации U	Показатель точности P	Показатель достоверности t	Требуемое число наблюдений n_n
Цилиндр											
150	20	65	30	31,84	0,06	0,24	0,04	0,75	0,95	2,042	3
120	20	50	10	32,01	0,04	0,20	0,06	0,62	0,95	2,262	3
100	20	40	10	32,52	0,14	0,37	0,12	1,14	0,95	2,262	8
80	20	30	10	33,08	0,12	0,35	0,11	1,06	0,95	2,262	7
60	20	20	10	34,04	0,10	0,32	0,10	0,94	0,95	2,262	5
Полусфера											
150	20	65	30	26,8	0,02	0,14	0,02	0,52	0,95	2,042	2
120	20	50	10	27,33	0,08	0,28	0,09	1,02	0,95	2,262	6
100	20	40	10	27,76	0,04	0,20	0,06	0,72	0,95	2,262	3
80	20	30	10	29,49	0,05	0,22	0,07	0,75	0,95	2,262	4
60	20	20	10	30,46	0,10	0,32	0,1	1,05	0,95	2,262	7

При расчете значение показателя достоверности t бралось из таблицы приложения ГОСТ [4], которое выбиралось исходя из количества числа наблюдений n и значения требуемого показателя точности P . Показатель точности принимался равным $P=0,95$, так как при конструировании технических средств его, как правило, принимают равным 0,95.

В результате расчетов установлено, что для всех исследуемых образцов $n > n_n$, поэтому для получения средних арифметических значений температур проведено достаточное количество наблюдений.

На рис. 10 представлены графики изменения температуры поверхности образцов диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена, в зависимости от толщины воздушной прослойки δ разной формы.

Из графиков следует, что за одинаковый промежуток времени образцы через воздушную прослойку в форме полусферы нагреваются до меньших температур. Кроме того, с увеличением толщины воздушной прослойки разность температур образцов цилиндрической формы и в форме полусферы возрастает.

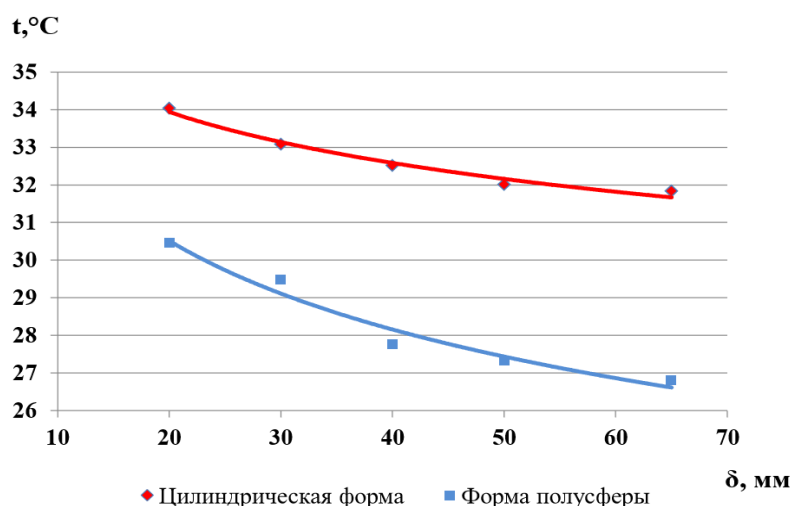


Рис. 10. Зависимости температуры внешней поверхности образцов диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена от толщины воздушной прослойки между образцами цилиндрической формы и в форме полусферы

На основе графика построены уравнения регрессии:

1. Для воздушной прослойки цилиндрической формы:

$$t_{ц} = 40,463 \cdot \delta^{-0,059},$$

где $t_{ц}$ — температура внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена через цилиндрическую воздушную прослойку; δ — толщина воздушной прослойки.

2. Для воздушной прослойки в форме полусферы:

$$t_{п} = 43,191 \cdot \delta^{-0,116},$$

где $t_{п}$ — температура внешней поверхности образца диаметром d_1 высотой h_1 в конце процесса теплообмена через воздушную прослойку в форме полусферы.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при различной толщине воздушной прослойки в исследуемом диапазоне размеров в прослойке, имеющей цилиндрическую форму, теплообмен между поверхностями образцов осуществляется более интенсивно, чем при воздушной прослойке в форме полусферы. В связи с этим при создании расчетной модели оценки качества средства защиты людей от повышенных тепловых воздействий пожара необходимо так же учитывать и форму воздушной прослойки. В данном случае из двух исследуемых форм наиболее предпочтительной является форма полусферы.

Литература

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 дек. 2001 г. № 197-ФЗ. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 10.07.2018).

2. Мобильное средство защиты людей от лесного пожара: пат. России № 2683736: МПК А62В 99/00), Е04Н 9/02, В63С 9/06 / Гутовский А.В., Гомонай М.В.; заявл. 06.06.18; опубл., Бюл. № 10. М., 2019.

3. Соколянский В.В. Обоснование параметров средств тепловой защиты спасателей в кабине пожарного автомобиля: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Донецк: Донецкий нац. технический ун-т, 2016. 21 с.

4. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 04.03.2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;

С.О. Столяров;

Ф.А. Дементьев, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Осуществлен анализ возможностей повышения эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий, представлены результаты исследования влияния пористых наполнителей с депонированными в них огнетушащими веществами. Сделаны выводы об эффективности применения цеолитов с депонированными в них огнетушащими веществами в качестве функциональных наполнителей абляционно-десорбционного действия.

Ключевые слова: пожар, огнезащита, эффективность, абляция, десорбция, эпоксидные смолы, адгезия, цеолиты, огнетушащие вещества

RESEARCH OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF MODIFIED FIRE PROTECTIVE COATINGS BASED ON EPOXY RESIN

G.K. Ivakhnyuk; S.O. Stolyarov; F.A. Dement'ev.

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

The analysis of the possibilities of increasing the operational characteristics of fire retardant coatings is carried out. The results of a study of the effect of porous fillers with extinguishing agents deposited in them are presented. Conclusions have been drawn on the effectiveness of the use of zeolites with fire extinguishing agents deposited in them as functional fillers of the ablation-desorption action.

Keywords: fire, fire protection, efficiency, ablation, desorption, epoxy resins, adhesion, zeolites, extinguishing agents

Воздействие удара пламени факельного горения углеводородов и высоких температур углеводородного пожара на элементы несущих металлических конструкций приводят к преждевременной потере несущей способности и их обрушению. Одним из средств противопожарной защиты является применение специальных огнезащитных покрытий, проблема которых связана с недостаточной адгезионной прочностью и низкой термостойкостью в условиях углеводородного пожара [1].

Решением данной проблемы представляется возможным при разработке и депонировании в огнезащитные полимерные композиции (ОПК) компонентов рецептур абляционно-десорбционного действия (пористые наполнители с депонированными в них

огнетушащими веществами (ОТВ) [2], способных обеспечить термостойкость теплоизолирующего защитного слоя (кокса) и адгезионную прочность покрытия в условиях углеводородного пожара [3].

Основной характеристикой огнезащитных покрытий выступает огнезащитная эффективность, которая зависит от множества параметров. Основными параметрами, влияющими на огнезащитную эффективность, выступают теплофизические свойства защитного теплоизолирующего слоя, определяющие термостойкость и термостабильность этого слоя, а также адгезионная прочность, которая способствует удержанию защитного слоя на защищаемой поверхности. Для повышения данных характеристик используют функциональные компоненты рецептур огнезащитных покрытий [4].

Сведения о способах модификаций огнезащитных покрытий в целях повышения их эксплуатационных характеристик позволили выделить ряд наиболее эффективных модифицирующих компонентов. В табл. 1 представлены результаты исследований способов повышения эксплуатационных характеристик ОПК модифицированными функциональными компонентами.

Таблица 1. Сведения о способах модификации огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол компонентами рецептур функционального назначения

Вид функциональных компонентов	Концентрация	Наблюдаемый эффект
Цеолит	1 %	Увеличение коксового остатка (КО) на 15,7 % раза, уменьшение кислородного индекса (КИ) на 11,9 %
Цеолиты Сахатинского месторождения	1,5–10 %	Увеличение выхода остатка по окончании термоокислительной деструкции, увеличение потери массы с содержанием 10 масс. % на 21 °С выше, чем для ненаполненного образца
Синт. алюмосиликат (цеолит)	20–25 масс. %	$t_{св}$ °С увеличивается на 70 °С; КИ увеличивается на 1,4 % об. D_m в режиме горения уменьшается на 330 м ² /кг, в режиме пиролиза уменьшается на 780 м ² /кг
Zr-beta-Цеолит	–	Цеолит катализирует раскрытие цикла эпоксидных групп с аминами
Цеолит	3 %	Улучшение реологии и структуры защитного слоя, уменьшение потери массы

Применение пористых кремнийорганических наполнителей с депонированными в них ОТВ в качестве функциональных компонентов рецептур ОПК привело к существенному улучшению огнезащитной эффективности, увеличению КО остатка и адгезионной прочности, но в рассматриваемых работах [5–9] не прослеживается взаимосвязь в обработке компонентов и способе синтеза наполнителя с ОПК и требует более тщательного изучения.

Целью исследования является изучение влияния пористых наполнителей с депонированными в них ОТВ (природных цеолитов) на параметры ОПК и исследование взаимосвязи способа синтеза функциональных компонентов на параметры термостойкости и адгезионной прочности ОПК на основе эпоксидных смол.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования были выбраны цеолиты размерами 40 мкм компании «ОАО Цеолиты Поволжья» (ТУ 2163-001-27860096–2016). В качестве базового огнезащитного покрытия использовался огнезащитный состав на основе эпоксидных смол «Термобарьер 2» ТУ 20.30.22-007-30642285–2017 НПК «ОгнеХимЗащита».

Анализируемые композиции относятся к огнезащитным эпоксидным атмосферостойким материалам, предназначенным для обеспечения требуемого предела огнестойкости, атмосферостойкости, коррозионной защиты и химической стойкости металлических конструкций, в том числе на объектах нефтегазового комплекса (НГК).

Огнезащитный состав на основе эпоксидных смол «Термобарьер 2» НПК «ОгнеХимЗащита» представляет собой полимерное связующее на основе диановых эпоксидных смол и отвердитель холодного отверждения полиэтиленамин, в качестве функциональных добавок в ОПК присутствуют элементы, содержащие: хлор, фосфор, алюмосиликаты, галоген и бор. Данные компоненты композиции находятся при определенных соотношениях рецептуры ОПК.

В табл. 2 представлены образцы ОПК, участвующие в исследовании.

Таблица 2. Перечень образцов, участвующие в исследовании

№ п/п	Образец ОПК	Концентрация цеолитов масс. %	ПЧМС
1	Термобарьер 2	0	-
2	Термобарьер 2	0	+
3	Термобарьер 2	1	-
4	Термобарьер 2	2	-
5	Термобарьер 2	3	-
6	Термобарьер 2	4	-
7	Термобарьер 2	5	-
8	Термобарьер 2	1	+
9	Термобарьер 2	2	+
10	Термобарьер 2	3	+
11	Термобарьер 2	4	+
12	Термобарьер 2	5	+

Модифицируемые составы были получены путем смешивания модифицируемого отвердителя (компонент В) и полимерного связующего на основе эпоксидных смол (компонент А). Перед смешиванием компонентов в отвердитель вводились пористые наполнители с депонированными в них ОТВ (дистиллированная вода) «Цеолиты Поволжья» (с концентрацией 1–5 масс. %). Компоненты диспергировались при воздействии источника ультразвука с частотой 100 кГц в течение 15 мин при температуре 40 °С. В ходе экспериментов отдельные образцы полученных составов подвергались электрофизическому воздействию с параметрами переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС) 56 В, 50 Гц [10] в момент диспергирования и полимеризации на подложке. При диспергировании функциональных компонентов сигнал подавался непосредственно на модифицирующий отвердитель. При полимеризации сигнал подавался на металлическую подложку в момент нанесения покрытия и последующего отверждения модифицируемого состава в течение 240 мин.

Нанесение огнезащитного покрытия осуществлялось в соответствии с «Технологическим регламентом по применению, транспортированию и хранению огнезащитного состава «Термобарьер 2» для стальных строительных конструкций». В качестве подложки использовались металлические пластины марки Ст3 размерами 100x50x6 мм.

В качестве метода исследования свойств ОПК при термическом воздействии был выбран метод синхронного термического анализа (СТА) (ГОСТ Р 53293–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа»), СТА проводился с помощью синхронного термического анализатора STA 449 F 3 Jupiter («Netzsch» Германия).

Исследование термостойкости методами термического анализа проводились в платиновых тиглях (Pt/Rh), в среде воздуха (скорость подачи газа 75 мл/мин), со скоростью нагрева 10 °С /мин, количество проводимых параллельных испытаний – не менее пяти, калориметрический держатель с сенсором S типа. В результате испытаний методами термического анализа были получены определенные графические зависимости, обработка которых проводилась с использованием программного обеспечения NETSCH Proteus Thermal Analysis.

Заготовки для испытаний представляют собой образец диаметром 0,5 см и толщиной 0,2 см ОПК.

В качестве метода исследования адгезионной прочности был выбран метод отрыва (ГОСТ 32299–2013; ISO 4624.2002). Исследование адгезионной прочности модифицированных огнезащитных покрытий проводили на лабораторной установке Адгезиметр ППТ 1978 № 2391. Заготовки для испытаний представляют собой цилиндры, изготовленные из алюминия, заготовка сконструирована для применения в комплекте с разрывным устройством.

Толщина огнезащитного слоя измерялась магнитным толщиномером МТ-201 (МТ-201-00; ГОСТ Р 51694, ИСО 2808). По результатам пяти измерений каждого образца средняя толщина огнезащитного слоя составляет 1395,3 мкм.

Исследование адгезионной прочности проводилось по результатам трех испытаний образцов каждой концентрации, после чего высчитывалось среднее значение.

Результаты исследования

Исследование адгезионной прочности исследуемых образцов ОПК

Исследуемые образцы представлены на рис. 1.



Термобарьер 2
немодифицированный

Термобарьер 2,
модифицированный
цеолитами 1 масс. %

Термобарьер 2,
модифицированный
цеолитами 3 масс. %

Термобарьер 2,
модифицированный
цеолитами 5 масс. %

Рис. 1. Исследуемые образцы огнезащитного покрытия термобарьер 2, модифицированного микрокапсулированными цеолитами 1–5 масс. %

Результаты исследования адгезионной прочности модифицированных огнезащитных покрытий представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты исследований адгезионной прочности модифицированных огнезащитных покрытий методом отрыва

№ п/п	Образец ОПК	Концентрация цеолитов масс. %	ПЧМС	Значение адгезионной прочности Кгс/см ²	Характер отрыва
1	Термобарьер 2	0	-	5,3	когезионный
2	Термобарьер 2	0	+	5,5	когезионный
3	Термобарьер 2	1	-	6	когезионный
4	Термобарьер 2	3	-	5,6	когезионный
5	Термобарьер 2	5	-	6	адгезионный
6	Термобарьер 2	1	+	4,6	когезионный
7	Термобарьер 2	3	+	4	когезионный
8	Термобарьер 2	5	+	2,8	когезионный

При модификации огнезащитного покрытия активированными цеолитами было выявлено, что наибольшими показателями адгезионной прочности обладают огнезащитные покрытия с добавлением 1 и 5 масс. % цеолитов, так значения адгезионной прочности по двум концентрациям составляют 6 Кгс/см². По результатам экспериментов было выявлено, что применение электрофизического воздействия ПЧМС оказывает негативное влияние на показатели адгезионной прочности. При увеличении концентрации цеолитов в системе огнезащитного покрытия показатели адгезионной прочности уменьшаются. Схематическое изображение показателей адгезионной прочности исследуемых показателей ОПК, модифицированной активированными цеолитами, представлено на рис. 2.

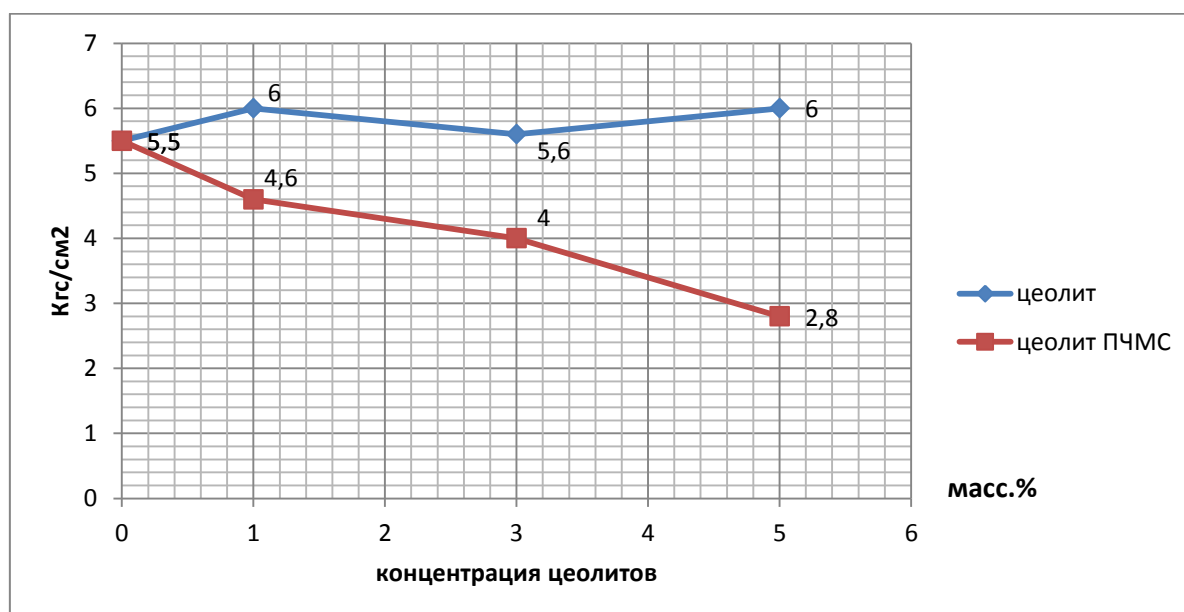


Рис. 2. Схематическое изображение показателей адгезионной прочности огнезащитных покрытий, модифицированных цеолитами 1–5 масс. % концентрации и воздействием ПЧМС

Исследование термических свойств модифицированных огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол

Термический анализ исследуемой ОПК («Термобарьер 2» НПК «ОгнеХимЗащита»), представлен на термограмме (ТГ) (рис. 3), Термобарьер 2, модифицируемый цеолитами с микрокапсулированным ОТВ, представлен на рис. 4.

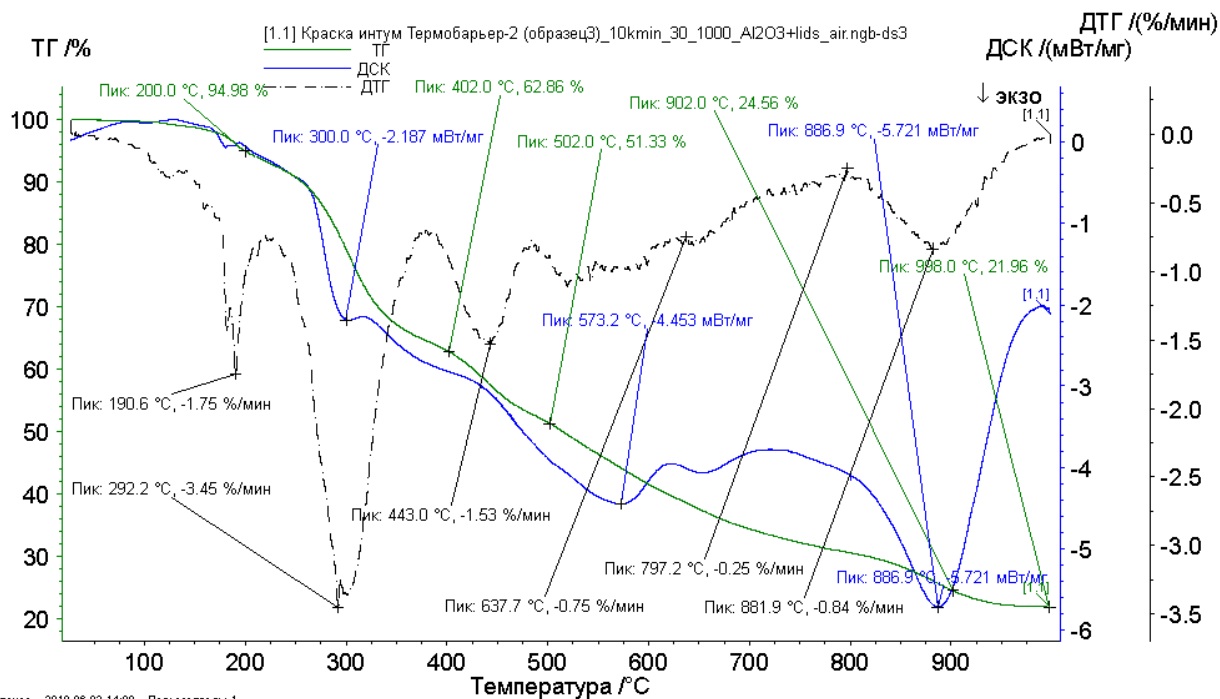


Рис. 3. ТГ СТА огнезащитного покрытия «Термобарьер 2» (среда испытания – воздух, скорость нагрева 10 °С/мин.)

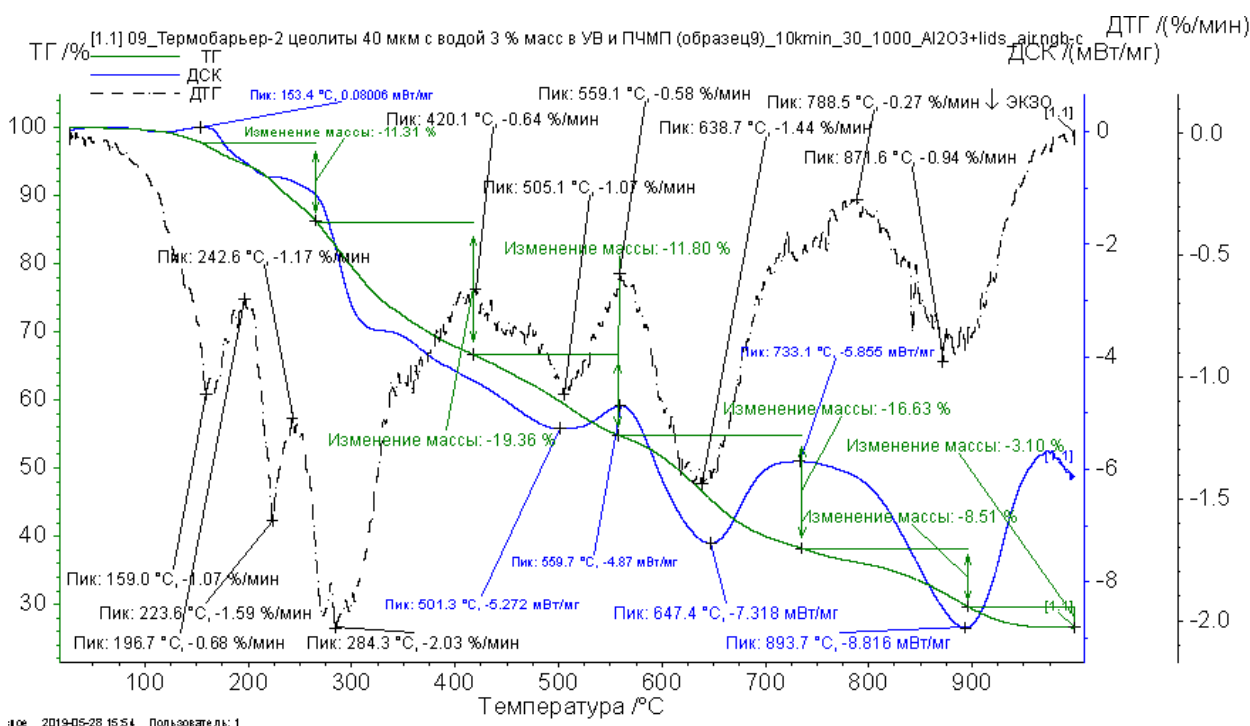


Рис. 4. Термограмма СТА огнезащитного покрытия «Термобарьер 2 модифицируемый цеолит 3 масс. %» (среда испытания – воздух, скорость нагрева 10 °С/мин)

Анализ ТГ кривой огнезащитного покрытия Термобарьер 2 указывает на пять основных этапов потери массы огнезащитной композицией, о чем свидетельствуют пять пиков на дифференциальной термогравиметрической (ДТГ) кривой. Последний этап потери массы достигает своего максимума при температуре 881,9 °С и обусловлен процессом горения пенококсового слоя, зольный остаток которого составил 21,97 % при температуре 998 °С.

Анализ кривых дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) свидетельствует о существовании четырех экзотермических пиков. Первый экзопик соответствует температурной области дегидратации полимерного спирта, образованию двойных связей $\text{C}=\text{C}$, разрыву $\text{C}-\text{O}$ и $\text{C}-\text{N}$ связей и образованию фенол и аминсодержащих структур [11]. Комплексный пик ДСК соответствует отметке температуры 180,2 °С. Площадь пика (количество теплоты, выделяемое на данном участке) составляет 7,746 Дж/г, ширина 159,9 °С (37 %) и высота 0,1456 мВт/мг. По результатам ТГ анализа потеря массы на данном участке составляет 6,42 %. Второй пик находится в интервале температур 291,1–316,6 °С с максимумом при 301,9 °С. На данном этапе прослеживается потеря массы на 12,16 %. Данная экзотермическая реакция обусловлена разрывом остаточных $\text{C}-\text{O}$ и $\text{C}-\text{N}$ связей, расщеплением $\text{Ph}-\text{C}$ связей, отрыву углеводородных фрагментов в виде летучих соединений и конкуренции между реакциями расщепления связей и полимеризации процесса. Площадь комплексного пика составляет 66,09 Дж/г, ширина 28,8 °С (37 %), высота 0,1456 мВт/мг. Третий пик находится в интервале температур 397–462 °С с максимумом при 432,8 °С. На данном этапе исследуемый образец теряет 28,62 масс. %. Данная реакция обусловлена полным удалением алифатических фрагментов из структуры полимера. Площадь комплексного пика составляет 29,79 Дж/г, ширина 47,9 °С (37 %), высота 0,1235 мВт/мг. Четвертый пик находится в интервале температур 568,9–598,7 °С с максимумом при 573,4 °С. В данной области образец теряет массу 5,24 %, что обусловлено образованием карбонизата, состоящего из NH -групп, вторичных аминов. Площадь комплексного пика составляет 14,83 Дж/г, ширина 26,5 °С (37 %), высота 0,1108 мВт/мг. В интервале температур 600–871,7 °С происходит образование карбонизированного ароматического остатка с последующей карбонизацией. Пятый пик находится в интервале температур 871,7–927,4 °С с максимумом при 886,9 °С, данный пик характеризуется карбонизацией и выгоранием защитного теплоизолирующего слоя. Площадь комплексного пика составляет 164,6 Дж/г, ширина 42,6 °С (37 %), высота 0,7533 мВт/мг. При выгорании защитного теплоизолирующего слоя исследуемый образец теряет массу до 25,4 %, в соответствии с данными ТГ анализа остаточная масса образца при температуре 998,8 °С составляет 21,97 %.

Сводные результаты ТГ и ДТГ анализа исследуемых образцов представлены в табл. 4 и проиллюстрированы на ТГ рис. 5, 6.

Таблица 4. Результаты исследований термической стойкости модифицированных огнезащитных покрытий методом ТГА

№ п/п	Состав	Δm % при t °С					$3.0 \cdot 1000$ °С
		22–200	200–400	400–600	600–800	800–1000	
1	Термобарьер 2	5,02	32,12	21,27	10,95	8,68	21,96
2	Термобарьер 2 + ПЧМС	5,36	31,22	22,35	11,11	8,49	21,47
3	Термобарьер 2 + 1 % Цеолит	4,66	28,33	17,35	15,27	9,15	25,12
4	Термобарьер 2 + 2 % Цеолит	4,57	28,18	17,42	15,29	9,19	25,39
5	Термобарьер 2 + 3 % Цеолит	5,69	26,54	16,23	15,76	9,42	26,59
6	Термобарьер 2 + 4 % Цеолит	4,74	26,49	21,3	12,03	8,69	26,82
7	Термобарьер 2 + 5 % Цеолит	4,1	27,73	18,31	13,7	8,96	27,2

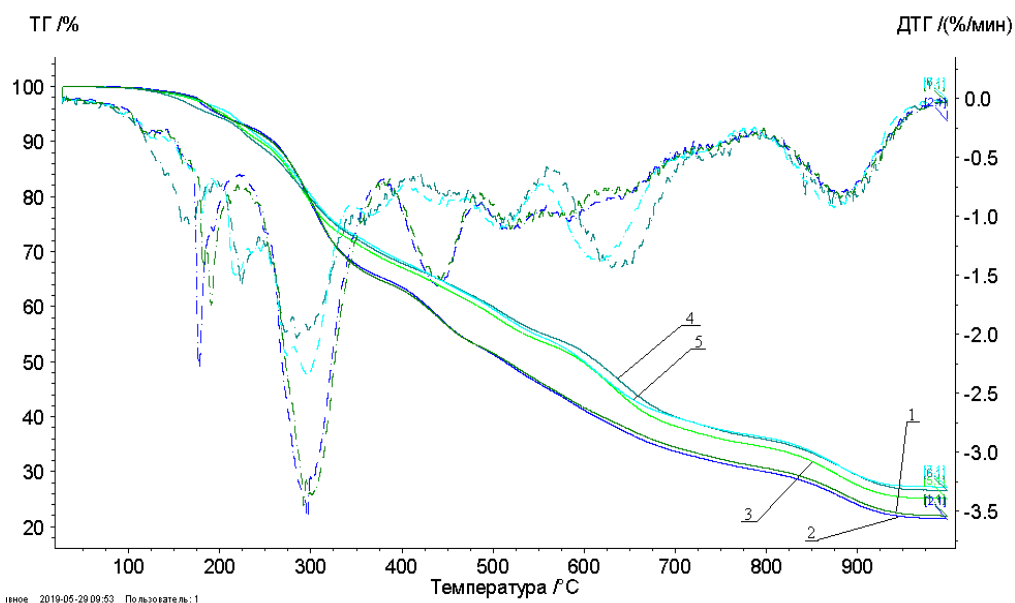


Рис. 5. Термограмма ТГ, ДТГ исследуемых покрытий (среда испытания – воздух, скорость нагрева 10 °С/мин)

- 1) Термобарьер 2, немодифицированный;
- 2) Термобарьер 2, ПЧМС;
- 3) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 1 масс. %;
- 4) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 3 масс. %;
- 5) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 5 масс. %.

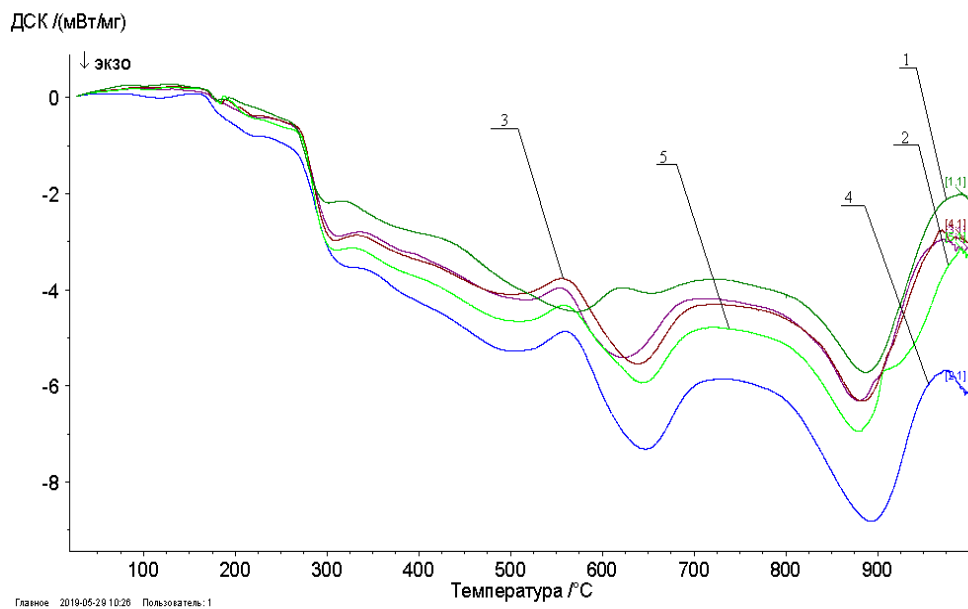


Рис. 6. Термограмма ДСК исследуемых покрытий (среда испытания – воздух, скорость нагрева 10 °С/мин)

- 1) Термобарьер 2, немодифицированный;
- 2) Термобарьер 2, ПЧМС;
- 3) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 1 масс. %;
- 4) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 3 масс. %;
- 5) Термобарьер 2, модифицированный цеолитами 5 масс. %.

Результаты исследования комплексных термических эффектов и изменению теплоемкости вещества представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты исследований ДСК анализа и теплоемкости исследуемых ОПК

№ п/п	Состав	T _{дск} °С	Q Дж/г	Δс _p Дж/г К	ΣQ Дж/г
1	Термобарьер 2	200–300	232,8	23,3	509,456
		400–500	60,7	6,1	
		600–700	2,196	0,2	
		700–800	47,29	4,7	
		800–900	-76,19	-7,6	
		900–1000	326,2	32,6	
2	Термобарьер 2 + ПЧМС	200–300	211	21,1	524,48
		400–500	41,85	4,2	
		600–700	21,06	2,1	
		700–800	44,38	4,4	
		800–900	-97,1	-9,7	
		900–1000	307,4	3	
3	Термобарьер 2 + 1 % Цеолит	200–300	411,9	41,2	706,58
		400–500	-24,27	2,4	
		600–700	-294,1	-29,4	
		700–800	59,53	5,9	
		800–900	-141,4	-14,1	
		900–1000	377,1	37,7	
4	Термобарьер 2 + 2 % Цеолит	200–300	415,8	41,6	642,21
		400–500	-28,29	-2,8	
		600–700	-313,8	-31,4	
		700–800	62,47	6,2	
		800–900	-157,8	-15,8	
		900–1000	353,4	35,3	
5	Термобарьер 2 + 3 % Цеолит	200–300	350	35	666,1
		400–500	-22,77	-2,3	
		600–700	-432,1	-43,2	
		700–800	109,9	11	
		800–900	-111,7	-11,2	
		900–1000	422,1	42,2	
6	Термобарьер 2 + 4 % Цеолит	200–300	41,4	4,1	448,934
		400–500	-12,05	-1,2	
		600–700	-3,236	-0,3	
		700–800	53,88	5,3	
		800–900	-88,34	-8,8	
		900–1000	263,6	26,3	
7	Термобарьер 2 + 5 % Цеолит	200–300	383,4	38,3	752,455
		400–500	-20,29	-2	
		600–700	-137,8	-13,7	
		700–800	49,01	4,9	
		800–900	-188,5	-18,8	
		900–1000	395,1	39,5	

По результатам определения КО в инертной среде при температуре 875 °С был рассчитан КИ ОПК по формуле Ван-Кревелена:

$$КИ = 17,5 + 0,4КО, \quad (1)$$

где КО – определен при температуре 875 °С.

Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчета горючести исследуемых ОПК

Исследуемый образец	КО %	КИ %
Термобарьер 2	26,71	28,18
Термобарьер 2 + ПЧМС	25,91	27,86
Термобарьер 2 + 1 % Цеолит	29,76	29,4
Термобарьер 2 + 2 % Цеолит	30,09	29,53
Термобарьер 2 + 3 % Цеолит	31,35	30,04
Термобарьер 2 + 4 % Цеолит	31,52	30,11
Термобарьер 2 + 5 % Цеолит	31,41	30,06

Обсуждение результатов исследования

ТГ исследуемых образцов ОПК характеризуются комплексом последовательных эндо- и экзопиков и постепенной потерей массы в широком интервале температур. ТГ ОПК, модифицируемые активированными цеолитами, отличаются от ТГ базового огнезащитного покрытия наличием ярко выраженных экзотермических пиков (особенно для образца 5), свидетельствующих о механизме огнезащитного действия за счет поглощения тепла при коксообразовании, десорбции воды из адсорбентов, полиморфных превращений и сгорания теплоизолирующего слоя.

Температуры максимумов на кривых ДТГ – пиков в ОПК, модифицируемых цеолитами, смещены в область меньших значений, то есть процесс образования теплоизолирующего слоя начинается раньше. Изменение массы на участке температур 200–400 °С модифицируемых образцов различается на 3,8–5,63 %, а скорость потери массы на 1,51 %/мин, что свидетельствует о протекании процесса термодеструкции самой композиции и термоокислительной деструкции компонентов механизма интумесценции. Максимальная скорость потери массы соответствует интервалу температур 222–381 °С. Расхождение термограмм ТГА исследуемых образцов прослеживается на температурном участке 301 °С. Образец 1 характеризуется более низким КО, что свидетельствует о его относительно низкой термостойкости. Для уменьшения скорости потери массы оптимальным представляется применение термостойких адсорбентов, наполненных ОТВ [2], данная технология способствует поддержанию необходимого объема выделения газов и паров для образования защитного теплоизолирующего слоя без потерь значений коэффициента вспучивания и одновременному увеличению термостойкости самого покрытия.

Анализ ДТГ-кривых позволил определить температуры начала вспучивания исследуемых ОПК: для образцов 1 и 2 – 176 °С, для образца 3 – 182 °С, для образца 4 – 118 °С, для образца 5 – 177 °С. Для эффективной огнезащиты в условиях углеводородного пожара представляется целесообразным уменьшение температуры вспучивания с целью не допустить преждевременного нагрева защищаемой конструкции.

Образцы 3–7 имеют общий эндотермический пик на интервале температур 510–560 °С и экзотермический пик 560–635 °С, не характерный для базовой ОПК.

Анализ результатов термического анализа свидетельствует о достаточно высоких значениях КО (21,47–27,2 %), особенно для образца 7, что свидетельствует о высоких показателях термостойкости в сравнении с немодифицированными образцами.

Осуществление расчетных величин горючести показало увеличение КИ от 1,22 % до 1,88 % при содержании 1–5 масс. %.

По результатам СТА было выявлено, что наилучшими показателями термической стойкости обладают ОПК, модифицируемые цеолитами с депонированием в них воды 3–5 масс. %, но при модификации ОПК 4 и 5 масс. % цеолитов вызывает у покрытия существенное изменение в рельефе поверхности покрытия, что можно наблюдать на рис. 1.

По результатам исследования адгезионной прочности так же наилучшими показателями обладают ОПК, модифицируемые 1–5 масс. % с депонированным в них ОТВ, но при содержании 5 масс. % в ОПК характер отрыва является адгезионным, что говорит о негативном влиянии избытка наполнителя на когезионные связи покрытия.

По результатам исследования было выявлено положительное влияние природных цеолитов с депонированными в них ОТВ на эксплуатационные характеристики ОПК. Так небольшое содержание 3 масс. % цеолитов в ОПК способно улучшить адгезионную прочность покрытия на 9 %, уменьшить горючесть материала (КИ) на 7 %, увеличить суммарный тепловой эффект на 31 %, увеличить КО на 21 %, уменьшить скорость потери массы на 16,5 % и снизить начало формирования защитного слоя на 39,5 %.

Таким образом, применение природных цеолитов с депонированными в них ОТВ в качестве функционального наполнителя рецептур ОПК способно увеличить эксплуатационные характеристики огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол.

Литература

1. Цой А.А. Методика определения эффективности огнезащитных покрытий для стальных конструкций в условиях факельного углеводородного горения: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017.
2. Ивахнюк Г.К., Столяров С.О. Физико-химическое моделирование рецептур высокоэффективных огнезащитных покрытий // Проблемы управления в техносфере. 2018. № 4 (48). С. 34–40.
3. Мостовой А.С. Разработка составов, технологии и определение свойств микро- и наноуполненных эпоксидных композитов функционального назначения: дис. ... канд. техн. наук. Саратов: Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 2014.
4. Зыбина О.А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015.
5. Смирнова И.Н. Оценка горючести эпоксидных композитов по кислородному индексу. Томский политехнический университет: сб. тезисов // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов V Всерос. конкурса науч. докладов студентов. Томск: Изд-во ТПУ, 2018.
6. Назаренко О.Б., Мельникова Т.В. Термическая стабильность эпоксидных композитов, наполненных высокодисперсными порошками сахаптинского цеолита // Полифункциональные химические материалы и технологии: материалы Междунар. науч. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2015.
7. Васильченко А.В. Особенности поведения при нагреве современных полимерных строительных материалов // Проблемы пожарной безопасности. 2003.
8. Bo Tang a, Weili Dai a, Xiaoming Sun a,b, Guangjun Wu a, Naijia Guan a, Michael Hunger b and Landong Li a Mesoporous Zr-Beta zeolite prepared by postsynthetic strategy as a robust Lewis acid catalyst for the ring-opening aminolysis of epoxides.
9. Arogundade A.I., Ahmad F., Bhat A.H., Gillani Q.F., Megat-Yusoff P.S.M.B. Investigating the Synergistic Effect of Bauxsol™ in an Epoxy Intumescent Coating System.
10. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. РФ № 2479005 / Ивахнюк Г.К. (RU), Матюхин В.Н. (RU), Клачков В.А. (RU), Шевченко А.О. (RU), Князев А.С. (RU), Ивахнюк К.Г. (RU), Иванов А.В. (RU), Родионов В.А. (RU); опубл. 10.04.13, Бюл. № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 10.06.2019).
11. Павлович А.В., Дринберг А.С., Машляковский Л.Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: ООО «Издательство «ЛКМ-пресс», 2018. 488 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Актерский Юрий Евгеньевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р воен. наук, проф.;

Андрюшкин Александр Юрьевич – зав. каф. «Технология конструкц. материалов и пр-ва ракетно-космич. техн.» Балт. гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1/21), канд. техн. наук, доц.;

Артемов Алексей Серафимович – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: artemovrb@mail.ru;

Астанков Алексей Михайлович – нач. лаб. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: astankovy@yandex.ru;

Афанасьев Евгений Олегович – препод. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Балобанов Андрей Александрович – нач. каб. каф. систем. анализа и антикризис. упр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Булгаков Виктор Иванович – зав. каф. физики № 76 инж. фак-та Акад. гражд. защиты МЧС России (Московская область, г. Химки, мкр-н. Новогорск), e-mail: v.bulgakov@amchs.ru, канд. техн. наук, доц.;

Богачев Дмитрий Дмитриевич – курсант ФИТ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Брусянин Дмитрий Владимирович – доц. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: brusyanin@igps.ru, канд. техн. наук;

Вагин Александр Владимирович – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 388-69-68, e-mail: alexwagin@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Вакуненко Вячеслав Александрович – нач. отд. орг. науч. работы и подгот. науч.-пед. кадров Воен. ин-та (инж.-техн.) Воен. акад. мат.-техн. обеспеч. им. генерала армии А.В. Хрулева (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22), e-mail: vakyn@mail.ru, канд. техн. наук;

Гавкалюк Богдан Васильевич – доц. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

Гутовский Алексей Вениаминович – адъюнкт каф. экспл. транспорт.-технол. машин и комплексов № 34 инж. фак-та Акад. гражд. защиты МЧС России (Московская область, г. Химки, мкр-н. Новогорск), e-mail: gutovskiy.alexey@mail.ru;

Дали Фарид Абдудалиевич – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Дементьев Федор Алексеевич – доц. каф. криминал. и инж.-техн. эксперт. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: dementyev.f@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Драпей Константин Иванович – доц. каф. защ. нас. и тер. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: drapei2001@gmail.com;

Драпей Ян Константинович – курсант ФЭП СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Зыбина Ольга Александровна – доц. Высш. шк. техносфер. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: zybina_oa@spbstu.ru, д-р техн. наук, доц.;

Иванов Алексей Владимирович – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 645-20-25, e-mail: avivanov@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Ивахнюк Григорий Константинович – проф. каф. инж. защ. окр. среды СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: fireside@inbox.ru, д-р хим. наук, проф.;

Кадочникова Елена Николаевна – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

Карташова Анна Петровна – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: anna_kartashova@mail.ru, канд. физ.-мат. наук;

Коннова Людмила Алексеевна – вед. науч. сотр. отд. перспектив. разработ. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), д-р мед. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

Королев Александр Андреевич – курсант ФИТ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Королева Людмила Анатольевна – зам. нач. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Кошечкина Елена Ивановна – доц. каф. защ. нас. и тер. Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: e.i.kosheva@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Лабинский Александр Юрьевич – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Лоскутов Никита Васильевич – курсант ФИТ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Михайлова Валерия Игоревна – аспирант каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Мусатов Вячеслав Иванович – препод. фак-та строительства воен.-морских баз (курсовой офицер) Воен. ин-та Воен. акад. МТО им. генерала армии А.В. Хрулева (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22); e-mail: musatov2112@ya.ru;

Назаров Владимир Петрович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

Принцева Мария Юрьевна – зам. нач. отд. инструмент. методов и техн. средств эксперт. пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), тел. 8(812)441-07-46, e-mail: printseva75@mail.ru, канд. техн. наук;

Рева Юрий Викторович – доц. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук, доц.;

Сапелкин Артем Иванович – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Саркисов Сергей Владимирович – нач. каф. сист. жизнеобеспеч. объектов воен. инфраструктуры Воен. ин-та (инж.-техн.) Воен. акад. мат.-техн. обеспеч. им. генерала армии А.В. Хрулева МО РФ (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22), д-р техн. наук, доц.;

Седнев Владимир Анатольевич – проф. каф. защ. нас. и тер. Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ, поч. работник науки и техн. РФ, лауреат премии Прав-ва РФ в обл. науки и техн., лауреат премии Прав-ва РФ в обл. образования РФ;

Скрипка Александр Владимирович – доц. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

Скрипник Игорь Леонидович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Столяров Святослав Олегович – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 79990252529@yandex.ru;

Танклевский Антон Леонидович – аспирант Высш. шк. техносф. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: tanklevskiyantonio1692@gmail.com;

Таранцев Александр Алексеевич – проф. каф. орг. пожаротушения и провед. авар.-спас. работ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); зав. лаб. проблем безопасн. транспорт. систем Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д. 13), e-mail: t_54@mail.ru, д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

Тумановский Артур Александрович – нач. отд. инновац. и информ. технол. в эксперт. пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), тел. 8(812)441-07-46, e-mail: supertwain@gmail.com, канд. техн. наук;

Турсенев Сергей Александрович – зам. нач. центра орг. науч.-исслед. и ред. деят. – нач. отд. инф. обеспеч. населения и технол. инф. поддержки РСЧС и пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Ударцева Ольга Владимировна – проф. каф. техносф. безопасн. Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: oblاد@mail.ru, д-р техн. наук, доц.;

Фомин Александр Викторович – проф. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф.;

Шаталова Наталья Викторовна – вед. науч. сотр. лаб. проблем орг. транспорт. систем Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12 линия В.О., д. 13), e-mail: shatillen@mail.ru, канд. техн. наук;

Шепелюк Сергей Михайлович – проф. каф. защ. нас. и тер. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук, доц.;

Шифф Виктор Куртович – ст. науч. сотр. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: math@sutd.ru, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.;

Щётка Владимир Фёдорович – проф. каф. систем. анализа и антикризис. упр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: vfsche@mail.ru, канд. воен. наук, проф.;

Щукина Светлана Анатольевна – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Чешко Илья Данилович – вед. науч. сотр. отд. инстр. методов и техн. ср-в эксплуатации пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: idc48@mail.ru, д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ.



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 экономических наук Чижиков Эдуард Николаевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых

академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации, факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА), факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности научно-исследовательского института: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск,

Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны, Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты

диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.

АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

1. Материалы для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

3. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии *авторов (не более трех)*; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

4. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

5. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

6. Оформление библиографии (списка литературы):

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой процесса: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

7. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал

Проблемы управления рисками в техносфере
№ 4 (52) – 2019

Подписной индекс № ПА482 в электронном каталоге «Почта России»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 16.12.2019. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 20,25 Тираж 1000 экз. Зак. № 00

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149