

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 3 (59) – 2021

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.

Заместитель председателя – (ответственный за выпуск) доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор **Ложкина Ольга Владимировна**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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

доктор химических наук, профессор полковник внутренней службы **Калач Андрей Владимирович**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института федеральной службы исполнения наказаний России;

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

доктор физико-математических наук, профессор **Локтев Алексей Алексеевич**, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российского университета транспорта;

кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент) полковник гражданской защиты **Раимбеков Кендебай Жанабилович**, заместитель начальника Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан по научной работе;

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

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

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

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

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

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

доктор юридических наук, доцент **Хлебушкин Артем Геннадьевич**, профессор кафедры уголовного права и уголовного процесса Санкт-Петербургского государственного экономического университета;

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

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

Секретарь совета:

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

Редакционная коллегия

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

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

доктор технических наук, доцент полковник внутренней службы **Королева Людмила Анатольевна**, заместитель начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

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

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Шидловский Григорий Леонидович**, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

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

Секретарь коллегии:

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

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

Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Uberich's Periodicals Directory».

Решением ВАК журнал включен в перечень периодических научных и научно-технических изданий, в которых рекомендуется публикация материалов, учитывающихся при защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Периодичность издания журнала – ежеквартальная

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Минкин Д.Ю. Повышение огнестойкости морских нефтегазодобывающих платформ	6
Медведева Л.В. Физические основы безопасной эксплуатации систем оборотного водоснабжения промышленных объектов	13
Самигуллин Г.Х. Обеспечение безопасной эксплуатации оборудования нефтегазовых производств по результатам испытаний компактных образцов	22

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Танклевский Л.Т., Бабиков И.А., Танклевский А.Л. Об оценке достоверности обнаружения возгорания	28
Андрюшкин А.Ю., Мещеряков С.А., Кадочникова Е.Н. Оценка эффективности теплозащитного экрана с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами	33
Иванов К.С., Реснянский С.Г., Широухов А.В. Метод повышения долговечности трибологических пар в механизмах	39

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

Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Современное состояние расчетного мониторинга и прогнозирования опасного воздействия выбросов маломерных судов на окружающую среду	46
Дорошенко С.И., Иванов А.С., Хазов А.Н. Системный анализ и обоснование эффективности применения гелепортов при чрезвычайных ситуациях	53
Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методический подход организации работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства	59

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Сорокин И.А., Поляков А.С. Методика оценки огнетушащей способности огнетушителей по результатам стендовых испытаний	76
Лобова С.Ф., Принцева М.Ю., Петрова Н.В. Использование численных и инструментальных методов при производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз по делам, связанным с эксплуатацией каминов	80
Константинова А.С., Поляков А.С. Система экспериментальных очагов пожара для определения огнетушащей эффективности порошкового состава в сечениях нестационарного газопорошкового потока	87
Веджижев М.И., Галишев М.А. Методика определения миграционного водного показателя вредности нефтепродуктов на контакте почвенного раствора с твердой фазой почв с использованием спектральных методов	93
Зайкин Р.Г., Ловчиков В.А. Способ диагностики качественного состава нефтяного загрязнения почв по результатам инфракрасной спектроскопии и молекулярной люминесценции	100
Абразумов О.В., Лебедев А.Ю. Определение степени термической деструкции бетонных материалов методом акустического анализа	109

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Винокуров В.А., Новохатка И.С. Чрезвычайные ситуации антропогенного характера: понятие и содержание	116
---	-----

Часовникова О.Г. Несовершеннолетние с заболеваниями эндокринной системы как субъекты уголовного судопроизводства 121

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Сорокин И.А. Модель и характеристики стенда огневых испытаний порошковых огнетушителей 126

Онищенко И.А. Постановка и результаты экспериментально-расчетных исследований опасного локального загрязнения воздуха выбросами автотранспорта в условиях экстремально низких температур 130

Марков Н.А. Комплекс технических средств информирования пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета 136

Сведения об авторах 143

Информационная справка. 146

Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере». 151

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

© Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2021

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 656.085.5

ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

Э.А. Джафаров;

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

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

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены теоретические основы обеспечения пожарной безопасности на морских нефтегазодобывающих платформах в части повышения пределов огнестойкости несущих металлических конструкций путем разработки технических решений с применением огнезащитных материалов. Изучение данной проблемы формирует представление о рисках, связанных с морской добычей нефти и газа, а также о необходимости разработки данных превентивных мероприятий с целью предотвращения пожаров и соответствующих последствий.

Ключевые слова: пожарная безопасность, нефтегазодобывающая платформа, огнестойкость, огнезащита, нефтегазовая отрасль

IMPROVING THE FIRE RESISTANCE OF OIL AND GAS PRODUCTION SEA PLATFORMS

E.A. Dzhaфарov; Yu.E. Akterskiy; D.Yu. Minkin.

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

The article deals with the theoretical foundations of oil and gas production platforms fire safety in terms of increasing the fire resistance limits of load-bearing metal structures by developing technical solutions using fire-resistant materials. The study of this problem forms an understanding of the risks associated with offshore oil and gas production, as well as the need to develop these preventive measures to prevent fires and the corresponding consequences.

Keywords: fire safety, oil and gas platform, fire resistance, fire protection, oil and gas industry

Предел огнестойкости является одним из важнейших параметров пожарной безопасности нефтегазовых платформ. Данный параметр выражается временем (в минутах) от начала огневого воздействия до наступления одного (или нескольких) предельных состояний, в соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) [1]:

R – потеря несущей способности;

E – потеря целостности;

I – потеря теплоизолирующей способности.

Для повышения пределов огнестойкости несущих строительных конструкций и доведения их до требуемых параметров в строительстве применяются огнезащитные материалы. Они блокируют обогреваемую поверхность защищаемой конструкции от огневого

и высокотемпературного воздействия, тем самым сохраняя конструкцию в рабочем состоянии в течение заданного периода времени.

Разработка технических решений по повышению пределов огнестойкости несущих конструкций нефтегазовых платформ состоит из нескольких элементов:

1. Анализ строительных конструкций, применяемых на морской нефтегазовой платформе.
2. Анализ внешних факторов воздействия на строительные конструкции морской платформы в процессе эксплуатации.
3. Анализ внутренних факторов, воздействующих на строительные конструкции морской платформы в процессе эксплуатации.
4. Разработка на основании проведенных исследований мероприятий по повышению пределов огнестойкости несущих конструкций морской нефтегазовой платформы.

С целью анализа строительных конструкций на морской платформе предлагается схема типовой морской платформы, для которой будут разработаны технические решения по повышению пределов огнестойкости (рис. 1).

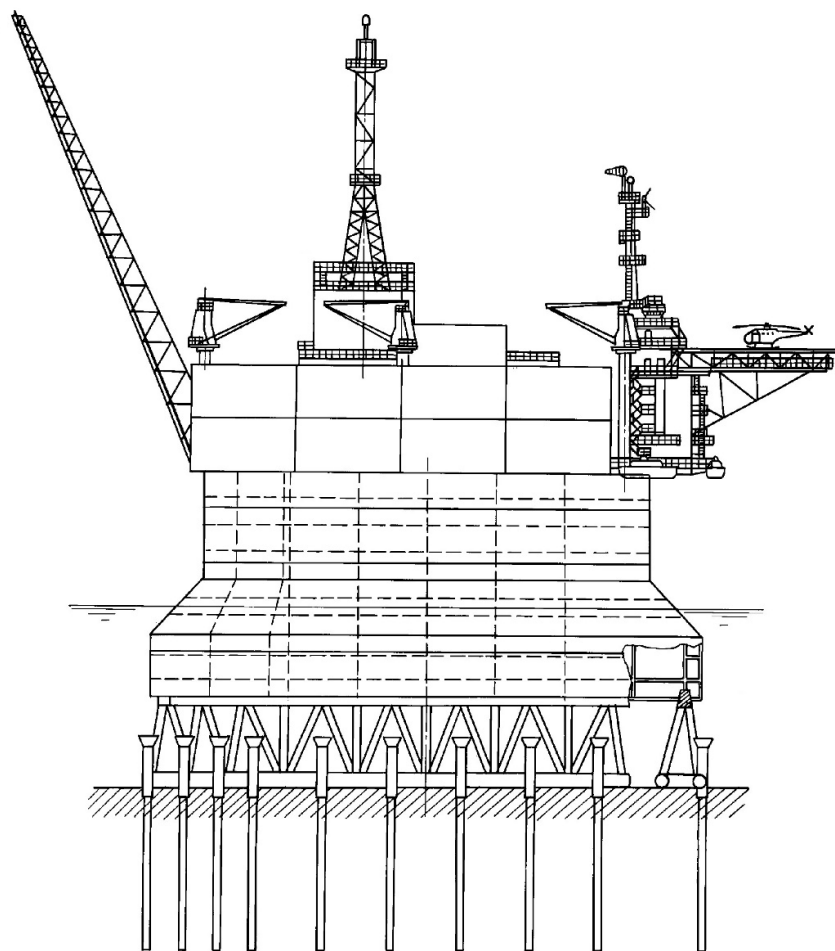


Рис. 1. Схема типовой морской стационарной платформы

Морская нефтяная платформа – это сложный инженерно-технический комплекс, предназначенный для бурения скважин и добычи углеводородного сырья в открытом море, который одновременно является крупным и опасным производственным объектом [2]. В связи с ограниченным пространством на палубе морской платформы, все помещения и установки на морской нефтегазовой платформе расположены очень плотно друг к другу, что повышает вероятность распространения пламени в случае пожара с одного объекта на другой.

Морская нефтегазовая платформа опирается на массивные стальные опоры, которые стоят непосредственно на морском дне. На данных опорах лежит так называемый корпус морской нефтяной платформы, на котором располагаются все остальные сооружения платформы, такие как:

- склад запчастей;
- оборудование для отправки нефти к берегу;
- производственные участки;
- газовые турбины;
- резервуары;
- цех очистки;
- жилой модуль;
- вертолетная площадка и т.д.

Все сооружения и помещения, расположенные на морской нефтегазовой платформе, представляют собой совокупность конструкций, которые статически взаимодействуют между собой и выдерживают нагрузки, тем самым обеспечивая прочность и устойчивость сооружения (помещения). Как правило, несущие строительные конструкции на морских нефтяных платформах выполнены из металла.

В процессе эксплуатации на несущие конструкции нефтегазовых платформ воздействуют различные внешние и внутренние факторы.

Внешние факторы:

1. Факторы пожара: повышенная температура, время высокотемпературного воздействия, наличие и состав огнетушащих веществ, применяемых при локализации и ликвидации пожара, а также отрицательное воздействие агрессивной среды при пожаре.

2. Эксплуатационные: месторасположение строительных конструкций (внутри помещения, снаружи помещения с нормальной средой, с агрессивной средой и т.д.), влажность воздуха, нагрузки и иные внешние воздействия (солнечное излучение, температура воздуха, вода и т.д.).

Внутренние факторы (факторы происхождения материала): технология изготовления, состав, структура и свойства строительного материала, из которого выполнены строительные конструкции.

В условиях бушующего пожара не всегда получается его своевременно локализовать и ликвидировать, в связи с чем строительные конструкции продолжительное время находятся под воздействием высоких температур и огневого воздействия, что приводит к потере ими целостности и несущей способности и приводит к дальнейшему разрушению платформы с сопутствующими последствиями – разливы нефтепродуктов, материальный ущерб и гибель людей [3].

Данная проблема формирует задачу по разработке технических решений по повышению пределов огнестойкости несущих строительных конструкций нефтегазовых платформ с целью предотвращения возникновения и развитию пожара и соответствующих последствий.

Технические решения разрабатываются индивидуально на каждый объект и должны соответствовать требованиям противопожарных, экологических, санитарно-гигиенических и других норм и правил, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивать безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта при соблюдении предусмотренных данным проектом мероприятий.

Для типовой морской нефтяной платформы выбор огнезащитного материала осуществляется на основе технико-экономического анализа с учетом условий объекта:

- температурно-влажностных условий эксплуатации и производства строительномонтажных работ;
- степени агрессивности окружающей среды по отношению к огнезащите и материалу конструкции;
- сроков проведения работ;
- эстетических требований к конструкциям.

Рассмотрим разработку технических решений по повышению пределов огнестойкости несущих строительных конструкций типовой морской нефтегазовой платформы в части проведения работ по огнезащитной обработке стальных несущих конструкций склада хранения нефтепродуктов типовой морской нефтегазовой платформы, так как данный склад представляет наибольшую пожарную опасность в связи с наличием и оборотом горючих и взрывоопасных веществ внутри здания [4]. Схема типового склада хранения нефтепродуктов представлена на рис. 2.

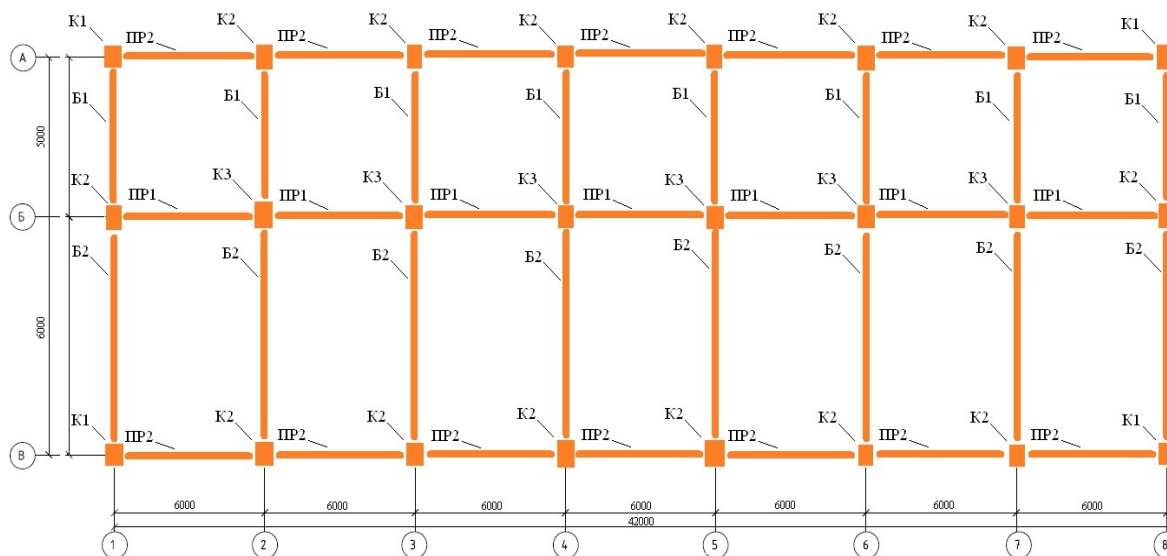


Рис. 2. Схема конструкций типового склада хранения нефтепродуктов

Технические решения разрабатываются с целью доведения фактического предела огнестойкости стальных несущих конструкций склада хранения нефтепродуктов типовой морской нефтяной платформы до предела огнестойкости R120 на основании применения условного огнезащитного материала с целью предупреждения горения несущих конструкций и предотвращения дальнейшего разрушения и распространения пожара на соседние сооружения и оборудование.

Предел огнестойкости стальной конструкции, определяющий огнезащитную эффективность, зависит не только от толщины покрытия – на нее влияют геометрические размеры стальной конструкции. В связи с этим в качестве еще одного параметра, влияющего на огнезащитную эффективность материала, была взята приведенная толщина металла. Приведенная толщина металла определяется по методике, изложенной в «Пособии по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов» (Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, Москва, 2013 г.) [5]. Приведенная толщина металла считается по формуле:

$$\delta_{np} = \frac{U}{A \cdot 10},$$

где δ_{np} – приведенная толщина металла, мм; A – площадь поперечного сечения конструкции, см^2 , (определяется по сортаменту металла или расчетным путем); U – обогреваемый периметр конструкции, м.

Обогреваемый периметр защищаемой конструкции определяется в каждом конкретном случае в зависимости от условий обогрева, вида конструкции, облицовки, соприкосновения с другими строительными конструкциями и т.д.

Из рис. 2 можно определить, что несущими конструкциями типового склада хранения нефтепродуктов на морской нефтегазодобывающей платформе являются:

- 4 колонны К1 (профиль I35К2), количество обогреваемых сторон – 2;
- 14 колонн К2 (профиль I35К2), количество обогреваемых сторон – 3;
- 6 колонн К3 (профиль I35К2), количество обогреваемых сторон – 4;
- 8 балок Б1 (профиль I40Ш2), количество обогреваемых сторон – 3;
- 8 балок Б2 (профиль I40Ш2), количество обогреваемых сторон – 3;
- 8 прогонов ПР1 (180x8), количество обогреваемых сторон – 3;
- 16 прогонов ПР2 (180x8), количество обогреваемых сторон – 2.

Расчет периметра обогреваемой поверхности конструкции с учетом условий обогрева, вида конструкции, облицовки, соприкосновения с другими строительными конструкциями и т.д. представлен на рис. 3.

Вид профиля конструкции	Обогреваемый периметр при различных условиях обогрева в зависимости от вида конструкции и облицовки, мм				
	Выполнение огнезащиты по контуру		Выполнение огнезащиты в виде короба		
	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 2-х сторон
	 $2h + 4b - 2s$	 $2h + 3b - 2s$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 4b - 2s$	 $2h + 3b - 2s$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 πd	-- // --	 $4d$	-- // --	-- // --

Рис. 3. Расчет периметра обогреваемой поверхности конструкций

При выборе оптимального способа огнезащиты несущих стальных конструкций существенное значение имеют показатели трудозатрат на производство работ. Также учитываются показатели долговечности огнезащитных материалов при определенных условиях их эксплуатации, возможность восстановления огнезащитных облицовок. До начала проектирования необходимо проводить предпроектное обследование защищаемых конструкций с целью определения технического состояния и эксплуатационных характеристик, необходимых для проектирования. Техническое состояние металлоконструкций типовой морской нефтяной платформы будем считать удовлетворительным, проведение работ по восстановлению грунтового покрытия не требуется.

Типовая морская нефтяная платформа имеет I степень огнестойкости. Требуемые пределы огнестойкости для основных строительных конструкций здания (в зависимости от требуемой для него степени огнестойкости) регламентированы ФЗ № 123-ФЗ табл. 21.

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и подвальные)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется						

В соответствии с п. 5.4.3 раздела 5.4 СП 2.13130.2020 [6] в зданиях I и II степеней огнестойкости для обеспечения требуемого предела огнестойкости несущих элементов здания, отвечающих за его общую устойчивость и геометрическую неизменяемость при пожаре, следует применять конструктивную огнезащиту. Применение тонкослойных огнезащитных покрытий для стальных конструкций, являющихся несущими элементами зданий I и II степеней огнестойкости, допускается для конструкций с приведенной толщиной металла согласно ГОСТ Р 53295 не менее 5,8 мм.

Предел огнестойкости стальных несущих конструкций типовой морской нефтяной платформы, в соответствии с табл. 21 ФЗ № 123-ФЗ, обеспечивается не менее R 120 [7]. В соответствии с вышеизложенным, принимаем следующие технические решения:

1. Перед проведением огнезащитных работ необходимо подвергнуть очистке данные металлоконструкции от пыли и масляных пятен.
2. Защищаемые металлоконструкции покрыть грунтом марки ГФ-021 по ГОСТ 25129–82 толщиной не менее 50 мкм.
3. Стальные несущие конструкции (колонны, связи, балки перекрытия) покрыть огнезащитным материалом, выбранным на основании технико-экономического расчета.

Характеристики применяемого огнезащитного материала должны при конкретной толщине защитного слоя, с конкретным расходом, на конкретной металлической балке с учетом приведенной толщины металла обеспечить пределы огнестойкости не менее 120 мин.

Основная задача огнезащитного материала заключается в том, чтобы замедлить прогревание металла при пожаре и сохранить прочностные характеристики стальных несущих конструкций в течение заданного времени для предотвращения разрушения.

Необработанные металлические поверхности необходимо тщательно очистить от минеральных, масляных и других загрязнений, снижающих адгезию. После очистки поверхность должна быть обеспылена и обезжирена растворителями марок Р-4, Р-5 (по ГОСТ 7827–74), 646 (по ГОСТ 18188–72) до степени 1 по ГОСТ 9.402–80. Очищенный и обезжиренный металл покрывается грунтом ГФ-021 по ГОСТ 25129–82 толщиной слоя 50 мкм. До нанесения огнезащитного материала необходимо выдержать время высыхания грунта, не менее 7 сут.

Порядок проведения работ по повышению пределов огнестойкости несущих конструкций склада хранения нефтепродуктов типовой морской нефтяной платформы:

1. Непосредственно перед использованием огнезащитного материала необходимо подготовить материал к нанесению на строительные конструкции.

2. Нанесение огнезащитного материала на строительные конструкции с учетом соблюдения расхода материала и толщины покрытия.

Контроль качества работ по нанесению огнезащитного материала на несущие конструкции осуществляется при выполнении каждой операции. Качество огнезащитного материала после нанесения контролируют визуально. При этом необходимо проверить [8]:

- целостность покрытия;
- отсутствие трещин;
- отсутствие вздутий, отслоений, осыпания;
- отсутствие незащищенных участков поверхности металлических конструкций.

Если наносится тонкослойный материал, то толщину сухого слоя покрытия (через сутки после нанесения) контролируют с помощью толщиномера типа Константа К6 (рис. 4) или любой другой марки толщиномера с погрешностью измерений не более 0,01 мм.



Рис. 4. Толщиномер Константа К6

Контролю и приемке подлежат 100 % площади покрытия. По результатам контроля качества производства работ по нанесению огнезащитного материала составляют акт замера толщины покрытия.

Все дефекты, обнаруженные при контроле, должны быть устранены, после чего покрытие подвергается повторному контролю качества.

Разработанные технические решения по повышению пределов огнестойкости несущих строительных конструкций морских нефтегазодобывающих платформ позволят обеспечить пределы огнестойкости несущих металлических конструкций R120 с повышением устойчивости и прочности конструкций, а также предотвратить возможные последствия в случае чрезвычайных ситуаций [9].

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изм.): Федер. закон от 22 июля 2008 г. № ФЗ-123. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Accident statistics for fixed offshore units on the UK Continental shelf 1980-2005. Det Norske Veritas // UK Health & Safety Executive. Research Report Series. Report № R047.
3. Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Дали Ф.А. Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности на опасных производственных объектах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 169–170.
4. Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л. Методы контроля качества огнезащитной обработки металлических конструкций на опасных производственных объектах // Комплексная безопасность и физическая защита: труды VII Мемориального семинара профессора Б.Е. Гельфанда XIV Междунар. науч.-практ. конференции. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. С. 278–281.
5. Пособие по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты: справ. материал. М.: НТС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство», 2013.
6. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
7. Проблемные вопросы обеспечения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций объектов защиты / Э.А. Джафаров [и др.] // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы науч.-техн. конференции / составители В.А. Онов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС, 2021. С. 52–54.
8. Analysis of accident statistics for floating monohull and fixed installations. Det NorskeVeritas // UK Health & Safety Executive. Research Report Series. Report No. R047.
9. Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Куянов А.В. Анализ причин и последствий аварийных ситуаций с пожарами и взрывами на морских нефтегазовых платформах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 3 (55). С. 6–10.

УДК 626.01

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены фундаментальные аналитические модели тепломассообмена теории расчетов капельных и пленочных градиен в контексте сравнительной оценки их производительности, проблем эксплуатации, способов интенсификации теплосъема и снижения капельного уноса.

Ключевые слова: система оборотного водоснабжения, критерии выбора градирни, теория подобия, моделирование, теплосъем, капельная градирня, пленочная градирня, механизм теплообмена, капельный унос, каплеуловитель

PHYSICAL BASIS OF INDUSTRIAL FACILITIES RECIRCULATING COOLING WATER SYSTEM SAFE OPERATION

L.V. Medvedeva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Fundamental analytical models of heat and mass transfer of the theory of drop and film cooling towers design are considered in the context of a comparative assessment of their productivity, exploitation problems, methods of heat removal intensifying and droplet entrainment reducing.

Keywords: in-plant water recirculation system, cooling tower selection criteria, similarity theory, modeling, heat removal, drip cooling tower, film cooling tower, heat and mass transfer mechanism, drip entrainment, drip catcher

Безопасность крупных промышленных объектов в значительной степени зависит от работы специальных инженерных сооружений – градирен (сгустителей) (рис. 1). Градирни обеспечивают эффективный теплосъем в условиях реализации различных направлений течения охлаждаемой воды и воздуха: противоток с максимальным температурным перепадом и максимальным аэродинамическим сопротивлением; перекрестный ток, уменьшающий аэродинамическое сопротивление; противоток и перекрестный ток (смешанный ток) [1, 2].

Основными критериями выбора градирни для объекта промышленного производства являются: рациональный выбор типа градирни по принципу контакта воды с воздухом (капельная, пленочная, брызгальная, комбинированная); соответствие градирни технологическим требованиям производства; энергосбережение; пожаробезопасность; морозоустойчивость.



Рис. 1. Градирня

Многообразие геометрических и гидродинамических условий, в которых осуществляются процессы теплообмена при теплосъеме, требуют для каждого конкретного случая построения собственной аналитической модели, которая описывается дифференциальными уравнениями и предусматривает осуществление однозначной вычислительной процедуры для их точного решения [3, 4].

Фундаментальной основой построения аналитических моделей теплосъема в градириях являются методы подобия и взаимосвязанные модели тепломассообмена: испарение сферической частицы в безграничном пространстве, испарение одиночной капли, дробление капель (капельные градири) и стекание жидкой пленки вдоль вертикальной поверхности (пленочные градири).

Теория расчета эффективного теплосъема капельных градири основана на взаимосвязанных аналитических моделях испарения одиночной капли и дробления капель [5, 6].

Фундаментальным ядром указанных моделей является аналитическое моделирование испарения сферической частицы в безграничном пространстве (рис. 2).

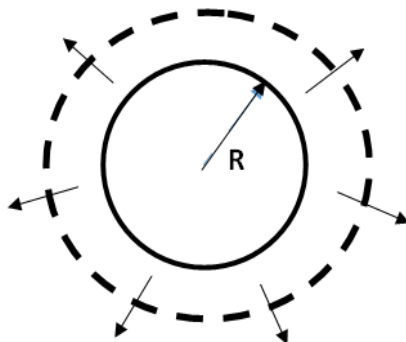


Рис. 2. Испарение сферической частицы

С поверхности смоченного шарика с постоянным радиусом R испаряется вода в окружающую среду, у поверхности устанавливается концентрация, соответствующая упругости насыщенного пара при данной температуре (C_0).

На расстоянии много больше радиуса шара ($r \rightarrow \infty$) концентрация пара будет постоянной, а ее значение меньше, чем у поверхности шара ($C_\infty < C_0$).

Задача является сферически симметричной, а поток пара j_r , коэффициент диффузии пара D и концентрация пара $C(r)$ связаны соотношением:

$$j_r = -D \cdot \frac{dC(r)}{dr}.$$

В стационарном состоянии полный поток пара через сферическую поверхность любого радиуса будет постоянным и может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi = j_r \cdot 4\pi \cdot r^2 = -D \cdot \frac{dC(r)}{dr} \cdot 4\pi \cdot r^2 = const. \quad (1)$$

При различных радиусах шарика, концентрациях пара и значениях коэффициента диффузии количество жидкости, которая испаряется за единицу времени с поверхности шара, будет различным, а, следовательно, необходимо опять выстраивать математический алгоритм решения задачи.

Однако использование методов теории подобия и введения безразмерных переменных позволяет получить автомодельную задачу [7].

В автомодельной задаче можно один раз измерить полный поток пара, рассчитать некоторое соотношение, значение которого будет справедливо и для других испаряющихся шариков постоянного размера, смоченных любой жидкостью с известной концентрацией насыщения и коэффициентом диффузии.

Введем безразмерные переменные:

$$\frac{c-c_{\infty}}{c_0-c_{\infty}} = U; \quad \frac{r}{R} = \xi.$$

Тогда уравнение (1) может быть записано в виде:

$$-\xi^2 \cdot \frac{dU}{d\xi} = \frac{\Phi}{4\pi \cdot D \cdot R \cdot (C_0 - C_{\infty})} = J_0 = const \quad (2)$$

с граничными условиями:

$$\xi = 1 \rightarrow U(1) = 1; \quad \xi = \infty \rightarrow U(\infty) = 0. \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения первого порядка (2) будет содержать кроме параметра J_0 еще одну произвольную постоянную A , которые могут быть определены из двух граничных условий (3) [8].

Таким образом, введенная безразмерная переменная будет являться функцией трех аргументов: $U = U(\xi, J_0, A)$.

Если для конкретных значений R, D и C_{∞} измерить полный поток Φ и рассчитать соотношение:

$$J_0 = \frac{\Phi}{4\pi \cdot D \cdot R \cdot (C_0 - C_{\infty})};$$

то для всех других значений R, D и C_{∞} полный поток может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi = J_0 \cdot 4\pi \cdot D \cdot R \cdot (C_0 - C_{\infty}). \quad (4)$$

Безразмерное дифференциальное уравнение (2) можно решить аналитически:

$$U(\xi) = \frac{J_0}{\xi} + A. \quad (5)$$

Из граничных условий следует, что $A=0$ и $J_0 = 1$.

При испарении одиночной капли в спокойном воздухе уже нельзя считать ее радиус постоянным (рис. 3). Плотность жидкости на 3–5 порядков выше плотности пара. Поэтому изменение радиуса будет процессом относительно медленным по сравнению со временем установления стационарного распределения (5) концентрации пара вокруг капли [9].

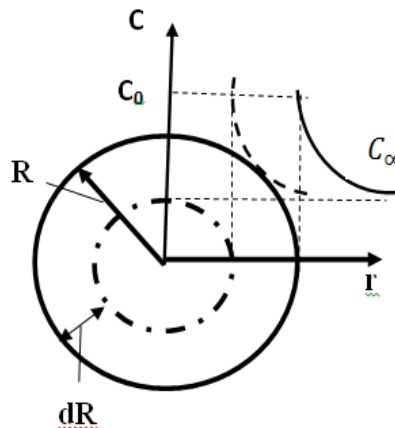


Рис. 3. Испарение одиночной капли

Следовательно, режим уменьшения массы капли можно считать квазистационарным и рассчитывать диффузионный поток пара по стационарному уравнению (4):

$$-\frac{d}{d\tau}\left(\frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot \rho\right) = \Phi = 4 \cdot \pi \cdot D \cdot R \cdot (C_0 - C_\infty).$$

В правой части полученного уравнения получено выражение для расчета диффузионного потока с единицы площади, если перепад концентраций:

$$\Delta C = (C_0 - C_\infty)$$

сосредоточен в области у поверхности капли толщиной, равной ее радиусу $\Delta r = R$.

$$\rho \cdot \frac{dR}{d\tau} = D \cdot \frac{(C_0 - C_\infty)}{R}. \quad (6)$$

В результате интегрирования (6) получим выражение:

$$R^2 = R_0^2 - 2 \cdot D \cdot \frac{C_0 - C_\infty}{\rho} \cdot \tau.$$

Время полного испарения капли, которая имела начальный радиус R_0 , можно рассчитать по формуле:

$$\tau_{\text{исп}} = \frac{\rho}{(C_0 - C_\infty)} \cdot \frac{R_0^2}{2 \cdot D}.$$

Пропорциональность времени испарения капли квадрату ее радиуса была практически определена Срезневским и теоретически рассчитана Максвеллом.

При впрыскивании жидкости в рабочий объем каждая капля раздробленной струи со средним диаметром d_k и плотностью ρ начнет падение с начальной скоростью v , испытывая силу сопротивления воздуха (силу внутреннего трения среды с плотностью $\rho_{\text{ср}}$), которая рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{сопр}} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_k^3 \cdot g \cdot (\rho - \rho_{\text{ср}}). \quad (7)$$

В теории подобия для характеристики отношения подъемных сил к силам внутреннего трения вводится безразмерный критерий Архимеда, который в общем виде для тела с характерным геометрическим параметром l (для капли – это диаметром d_k) рассчитывается по формуле:

$$A_r = \frac{g \cdot l^3}{v^2} \cdot \frac{(\rho - \rho_{\text{ср}})}{\rho} = \frac{g \cdot d_k^3}{v^2} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho}.$$

Тогда уравнение (7) может быть записано в виде:

$$F_{\text{сопр}} = \frac{\pi}{6} \cdot v^2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot A_r. \quad (8)$$

Считают, что сила сопротивления приложена по периметру капли и стремится разорвать ее на две половинки. Противодействием указанной силы являются силы

поверхностного натяжения, которые приложены к периметру и при коэффициенте поверхностного натяжения жидкости σ могут быть рассчитаны по формуле:

$$F_{\text{нат}} = \sigma \cdot \pi \cdot d_k . \quad (9)$$

Соотношение между силами сопротивления среды и силами поверхностного натяжения характеризуют безразмерным критерием Вебера, который для капли диаметром d_k может быть записан в виде:

$$W_e = \frac{\rho_{\text{ср}} \cdot v^2 \cdot d_k}{\sigma}.$$

Минимальное значение диаметра капли, выше которого начинается ее дробление, находится из условия равенства сил сопротивления среды (8) и силы поверхностного натяжения (9). При этом, как следует из эмпирических расчетов и оценок, теоретически условие дробления струи в критериальной форме может быть записано в виде:

$$W_e = \frac{\rho_{\text{ср}} \cdot v^2 \cdot d_k}{\sigma} \geq 17.$$

Эмпирически доказано, что дробление капель начинается уже при значениях критерия Вебера [4]:

$$W_e \cong 10.$$

Для воды минимальный диаметр капли равен примерно 6,5 мм, но практически уже при диаметрах в пределах 3–4 мм падающая в воздухе капля начинает деформироваться и терять сферическую форму.

Доказано, что при увеличении скорости вылета капли и уменьшении ее диаметра объем захватываемого воздуха (эжекция) существенно возрастает, а, следовательно, увеличивается интенсивность тепломассообмена, так как в равном объеме воды мелкие капли имеют большую поверхность контакта с воздухом, чем крупные [4, 10].

На крупных холодильных установках открытые капельные градирни строят в виде башни в форме параллелепипеда высотой 8–12 м, окруженной по периметру водосборного поддона жалюзийной решеткой для свободного прохождения восходящего потока воздуха. В каркасе башни монтируют ярусы горизонтальных решеток (10–12 ярусов на расстоянии 0,6–0,9 м). В водораспределительное устройство, расположенное в верхней части башни, подают воду, струи которой падают вниз, дробятся на капли о решетки, многократно разбрызгиваются, меняются скорость и направление движения капель воды, что способствует увеличению поверхности и времени соприкосновения воды с воздухом [2, 11].

В зимний период вода подается только на нижние секции градирни, что сокращает вынос из градирни водяных капель, а, следовательно, предотвращает образование значительных наледей на прилегающей территории.

Следует отметить, что охладительный эффект открытых капельных градирен зависит от величины скорости и направления ветра. Для учета этой зависимости необходимо строить градирни в достаточном удалении от дорог и ответственных сооружений на открытом, доступном действию ветров месте, и располагать градирню длинной стороной перпендикулярно к направлению летних господствующих ветров [3, 12].

При расходе до 1 000–1 200 м³/ч открытые капельные градирни используют для установок, функционирование которых не требует постоянства температуры охлаждающей воды (трансформаторные, компрессорные и др.). При расходах воды 500–700 м³/ч открытые капельные градирни используются на паротурбинных электростанциях малой мощности и дизельных электростанциях.

В пленочных градирнях вместо решетки используют вертикальные щиты, по которым вода стекает тонкой пленкой, что обуславливает высокую производительность пленочных градирен по сравнению как с открытыми капельными градирнями, так и с другими типами градирен. Вода, стекающая по вертикальным щитам в виде пленки, охлаждается в процессе нагрева и увлажнения движущегося навстречу воздуха.

В настоящее время пленочные градирни имеют следующие преимущества в интенсификации теплообмена без капельного уноса:

1. Тонкая пленка воды значительно увеличивает площадь теплоотдачи, что позволяет существенно снизить удельную гидравлическую нагрузку на градирни и повысить скорость встречных воздушных потоков.

2. Сравнительно малые сопротивления трения при проходе воздуха противотоком пленочной насадки.

3. Компактность, что позволяет повысить в два–три раза по сравнению с капельными градирнями плотность орошения при одинаковом эффекте охлаждения.

4. Морозостойкость – уменьшение рисков обмерзания вследствие снижения объемов капельного уноса.

К недостаткам пленочных градирен по причине значительного расхода охлаждающего воздуха относится потребность в более высокой, чем для градирен иного типа, вытяжной трубе для создания необходимой тяги [5].

Вместе с тем в сравнении с фундаментальной моделью капельных градирен общим преимуществом всех типов пленочных градирен является ясность теории их теплового расчета, основанном на исследовании физической модели стекания жидкой пленки вдоль вертикальной поверхности.

В пленочной градирне жидкость с плотностью $\rho_{ж}$ стекает тонкой пленкой толщиной δ вдоль вертикальных пластин шириной b , а ее массовый расход при средней (по сечению) скорости потока \bar{w} определяется по формуле:

$$G_1 = \rho_{ж} \cdot b \cdot \delta \cdot \bar{w}.$$

При стационарном течении толщину пленки можно приблизительно считать постоянной, в профиль скоростей $w_z = \bar{w}(y)$ – одинаковым во всех горизонтальных сечениях.

При малой толщине пленки течение жидкости можно считать ламинарным, силами инерции пренебречь, а уравнение движения жидкости (второй закон Ньютона) с учетом объемной силы (веса) записать в виде:

$$\rho_{ж} \cdot \frac{dw}{dt} = \mu \cdot \frac{d^2w}{dy^2} + \rho_{ж} \cdot g.$$

Граничными условиями уравнения движения являются следующие соотношения: на стенке ($y=0$) скорость равна нулю – $w(0) = 0$; на свободной поверхности (силами внутреннего трения пренебрегаем): $y = \delta \rightarrow \mu \cdot \frac{dw}{dy} = 0$.

Интегрирование уравнения движения с граничными условиями позволяет получить параболический профиль скоростей течения жидкости:

$$w(y) = \frac{g}{\nu_{ж}} \cdot \left\{ \delta \cdot y - \frac{y^2}{2} \right\}.$$

Из полученного выражения найдем формулу для расчета средней по сечению скорости:

$$\bar{w} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} w(y) \cdot dy = \frac{1}{\delta} \cdot \frac{g \cdot \delta^3}{3 \cdot \nu_{ж}}. \quad (10)$$

В теории подобия вводится безразмерный критерий Галилея, который характеризует отношение массовых сил к силам вязкости (Ga) и критерий Рейнольдса, характеризующий режим течения жидкости (Re). В задаче стекания пленки воды по вертикальной поверхности указанные критерии с учетом их определения, выражения (10) и формулы расчета массового расхода воды G_1 могут быть записаны в виде:

$$Ga = \frac{g \cdot \delta^3}{\nu_{ж}^2}; \quad Re = \frac{\bar{w} \cdot \delta}{\nu_{ж}} \rightarrow Re = \frac{G_1}{\rho_{ж} \cdot b \cdot \nu_{ж}}; \quad Re = \frac{1}{3} \cdot Ga = \frac{1}{3} \cdot \frac{g \cdot \delta^3}{\nu_{ж}^2}.$$

Тогда искомая толщина пленки определяется по формуле:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \nu_{ж}^2}{g} \cdot Re} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot G_1 \cdot \nu_{ж}}{\rho_{ж} \cdot b \cdot g}}.$$

Следует отметить, что при больших значениях критерия Рейнольдса для воздушного потока происходит испарение воды через пограничный слой, который уменьшается с ростом скорости потока. Эмпирически доказано, что коэффициент массопередачи β достаточно слабо зависит в случае пленочного испарения от расстояния между соседними пластинами ($\beta \sim l^{-0,17}$).

В пленочных градириях вода стекает сплошной тонкой пленкой толщиной 0,2–0,4 мм навстречу потоку воздуха. В этом случае отсутствует падение отдельных капель воды.

На электростанциях применяют пленочные градири площадью 500–4 000 м² для турбин с конденсационной мощностью 20–200 Мт.

На теплоэлектростанциях в системе оборотного водоснабжения используют пленочные и брызгательные градири, что в значительной степени повышает гибкость и надежность общей схемы водоснабжения. Параллельное использование брызгательной градири с площадью орошения, равной площади орошения пленочной градири, требует включения дополнительного турбоагрегата. В зимний период пленочная градирия отключается, и работает брызгательная градирия, что позволяет сократить траты на ремонт и увеличить срок эксплуатации оросителя [13–15].

В заключение следует отметить общие проблемы капельных и пленочных градирен, которые требуют своевременного и грамотного технического решения для их производительной работы:

1) исправное техническое состояние водораспределителя и оросительного устройства градирен, которое обуславливает равномерность распределения воды и поступающего воздуха в градириях;

2) снижение капельного уноса – потери части оборотной воды с уходящим воздухом.

Следует отметить, что капельный унос имеет объективный характер, а его причиной является принцип работы любой испарительной градири.

Вода, стекающая по поверхности блоков оросителя, контактирует с восходящим потоком воздуха, который нагревается, забирает капли воды и в виде пара выходит из градири, что можно наблюдать визуально. Зимой воздух холодный и влажный, и выходящий пар кристаллизуется. Именно по этой причине столб пара лучше виден зимой, чем летом, когда температура воздуха выше температуры точки росы (рис. 4).



Рис. 4. Капельный унос воды из градирни

Опасность капельного уноса заключается в следующем [2, 11]:

1) унесенную в результате капельного уноса воду необходимо восполнять, то есть осуществлять подпитку градирни – перекачивать и обрабатывать добавляемую жидкость, что увеличивает эксплуатационные расходы и стоимость обслуживания;

2) возникновение дождя вокруг градирни, в результате которого вокруг водоблока в летний период возникают лужи и подтопления местности, а зимой – обмерзания близлежащих линий электропередач, тротуаров, зданий и самого оборудования;

3) экологические загрязнения местности, которые возникают вследствие конденсации насыщенного пара, выбрасываемого из градирни и содержащего неизбежные примеси водооборотной воды: пропуски продукта, средства водоподготовки, грязь и масла.

В настоящее время для решения указанных проблем используют водоуловители (каплеуловители) градирни с целью создания такой поверхности, в которой отдельные капли будут слипаться и укрупняться, а их масса увеличивается. В определенный момент сила тяжести станет больше силы выталкивания потоком воздуха, и капля упадет в водоуловитель.

В современном водоуловителе «Полуволна», например, капли ловят пластины специальной формы, установленные в блоке. При минимальном воздушном сопротивлении, эффективность такого устройства достигает 99,99 %.

По расчетам использование каплеотбойника для башенной градирни БГ-3200 производительностью 26 000 м³/час обеспечивает экономию подпиточной воды в объеме трех железнодорожных цистерн в час. Следовательно, в сутки 72 цистерны, а в год – 26 280 цистерн! При стоимости 1 м³ воды порядка 10 руб., потери составляют 23 126 400 руб. в год!

В частности, в приведенном выше примере, при использовании водоуловителя «Полуволна» на БГ-3200 предприятие, или ТЭЦ, сэкономит 22 900 000 руб. в год!

На компрессорных и нефтеперерабатывающих установках применяются открытые капельные и пленочные градирни башенного типа, действие которых полностью зависит от местных атмосферных условий – ветра, влажности и температуры воздуха, что несколько ограничивает их распространение.

Литература

1. Аверкиев А.Г. Методика исследований безнапорных потоков на напорных моделях. М., Л.: Госэнергоиздат, 1957.
2. Grundlagen der industriellen Wasserbehandlung. Firmenschrift der Drew Chemical Corp. Bi.'onton. New Jersey (USA). 20. Held, H.D.: Kühlwasser, 2.Aun. Essen: Vulkan-Verlag. 1977.

3. Prinzipien der Kühlturmtechnik // Chem.-Ing.-Tehn. 1994. V. 66. № 11. S. 1436.
4. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М.: Госэнергоиздат, 1960.
5. Ведьгаева И.А. Математическое моделирование, исследование и повышение эффективности работы промышленных градирен: дис. ... канд. техн. наук. Казань: КГЭУ, 2003.
6. Галустов В.С., Беличенко Ю.П. Современные методы, системы и оборудование охлаждения оборотной воды М.: ЦИНТИНефтемаш, 1988.
7. Жуков А.И., Ямпольский Г.С. Фильтрация сточных вод. М.: Изд-во: Стройиздат, 1951.
8. Основы термодинамики, газодинамики и теплопередачи / С.И. Исаев [и др.]. М.: Изд-во «Машиностроение», 1968.
9. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Обратное водоснабжение. М.: Стройиздат, 1980.
10. Леонтьев А.И. Теория тепломассообмена. 3-е изд. М.: Изд-во МГТУ, 2018.
11. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справ. пособие / под. общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат, 1998.
12. Фальковский Н.И. История водоснабжения в России. М.; Л.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1947. С. 129. 307 с.
13. Федяев В.Л. Модернизация теплотехнического оборудования на основе методов математического моделирования: дис. ... д-ра техн. наук. Казань: КГТУ, 2001.
14. Фисенко С.П. Математическое моделирование охлаждения капельных и пленочных течений воды в башенных испарительных градирнях // ИФЖ. 2001. Т. 74. № 1. С. 45–49.
15. Шаров Ю.И., Григорьева О.К. Тепломассообмен. Н.: НГТУ, 2018.

УДК 622.692.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ КОМПАКТНЫХ ОБРАЗЦОВ

**Г.Х. Самигуллин, доктор технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается применение метода испытаний компактных образцов для оценки степени повреждения стальных элементов нефтегазового оборудования. По экспериментальным данным получена аналитическая зависимость, связывающая степени повреждения от показателя удельной работы разрушения, предназначенная для оценки возможности безопасной эксплуатации взрывопожароопасного оборудования.

Ключевые слова: безопасность, технологическое оборудование, компактный образец, напряжения, повреждения, удельная работа разрушения

ENSURING THE SAFE OPERATION OF OIL AND GAS PRODUCTION EQUIPMENT BASED ON THE RESULTS OF TESTS OF COMPACT SAMPLES

G.Kh. Samigullin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The paper considers the application of the test method of compact samples to assess the degree of damage to steel elements of oil and gas equipment. According to experimental data, an analytical dependence was obtained linking the degree of damage to the index of the specific

work of destruction, designed to assess the possibility of safe operation of explosive and fire-hazardous equipment.

Keywords: safety, technological equipment, compact sample, stresses, damage, specific work of destruction

Нефтегазовое оборудование является технической базой промышленного потенциала нефтегазового комплекса России, обеспечивающего бесперебойные поставки углеводородного сырья, газового топлива и нефтепродуктов как для российских, так и зарубежных потребителей. Значительная часть технологического оборудования, резервуаров и трубопроводов эксплуатируется сверх установленных проектных сроков, что обуславливает наличие активных деструктивных процессов, ухудшающих эксплуатационные характеристики оборудования. Непрерывный график функционирования обуславливает для эксплуатирующих организаций необходимость обеспечения работоспособности и оценки технического состояния, что требует проведения периодического диагностирования. Однако уровень аварийности и возрастающие с каждым годом объемы работ по капитальному ремонту и реконструкции нефтегазового оборудования свидетельствуют о недостаточности информации по фактическому состоянию в силу несовершенства существующих методов их контроля [1]. Поэтому разработка новых методов контроля фактического состояния металла без нанесения ощутимого ущерба для длительно эксплуатируемого нефтегазового оборудования, резервуаров и трубопроводов является сложной и актуальной задачей.

Одним из таких новых, разрабатываемых в настоящее время методов, является метод анализа образцов, имеющих сравнительно малые размеры, известный за рубежом, как «Small Punch Test» [2]. Несмотря на ряд выполненных исследований, направленных на его дальнейшее развитие, существует значительное количество нерешенных задач, препятствующих внедрению этого метода диагностирования в промышленность. Одной из них является отсутствие критериев, позволяющих оценивать результаты определения прочностных характеристик металла оборудования по диаграммам деформирования компактных образцов.

Решение указанных задач, наряду с известными методами оперативной оценки прочностных характеристик конструкционных материалов: метод Бринелля (НВ) [3], при котором в исследуемый металл вдавливаются стальной шарик определенного диаметра, метод Роквелла (HRC) [3], при котором в образец исследуемого материала вдавливаются алмазный конус, и метод Виккерса (HV [3]), основанный на вдавливании в материал алмазного пирамидального индентора, позволит получать результаты путем прямых измерений, в отличие от косвенных параметров, получаемых методом твердометрии.

Рассматриваемый метод использования компактных образцов был разработан в Японии и США в 1980-х гг. и предлагался для определения механических свойств материала металлических конструкций атомной промышленности, находящихся в эксплуатации, поскольку данный метод испытаний уменьшает воздействие радиации на персонал, стоимость экспериментов и количество радиоактивных отходов [4]. В дальнейшем метод получил развитие и на сегодняшний день имеет достаточно широкую сферу применения, в частности: испытание материалов, доступных в небольших количествах, оценка прочности стального герметичного оборудования, работающего под избыточным давлением, испытание металлов, которые находились под длительным радиоактивным облучением или в зоне термического влияния и т.д.

Данный метод анализа может рассматриваться как щадящий (квази-неразрушающий) метод контроля состояния оборудования, так как отбираемые образцы имеют миниатюрные размеры: диаметр от 3 до 10 мм, толщину от 0,25 до 2,0 мм [5, 6]. При вдавливании пуансона в образец получают диаграмму деформирования, по оси абсцисс которой откладывается перемещение в мм, а по оси ординат – нагрузка в Ньютонах.

Принято считать [7], что в получаемых диаграммах деформирования можно выделить зоны, каждая из которых соответствует определенной стадии деформации: начало вдавливания в образец и упругий изгиб, далее пластичный изгиб, затем растяжение образца в мембранном

режиме с зарождением трещины, после чего происходит развитие трещины вплоть до разрушения образца. Для расчета предела прочности используются эмпирические зависимости между свойствами материала и характерной точкой диаграммы деформирования, соответствующей максимальной величине нагрузки, приведенные в работах [7, 8].

Исходя из приведенного выше описания метода испытаний компактных образцов, были проведены испытания наиболее распространенных марок стали Ст3, 08пс и стали 20, поскольку именно они в недавнем прошлом являлись основным конструкционным материалом при изготовлении технологического оборудования, резервуаров и трубопроводов, которые отработали установленные сроки эксплуатации и нуждаются в обязательном периодическом контроле. Химический состав и механические характеристики сталей приведены в работе [5]. Испытания статической нагрузкой компактных образцов проводились в соответствии с методикой, приведенной в работе [9].

Рис. 1 иллюстрирует результаты испытаний компактных образцов различной толщины.

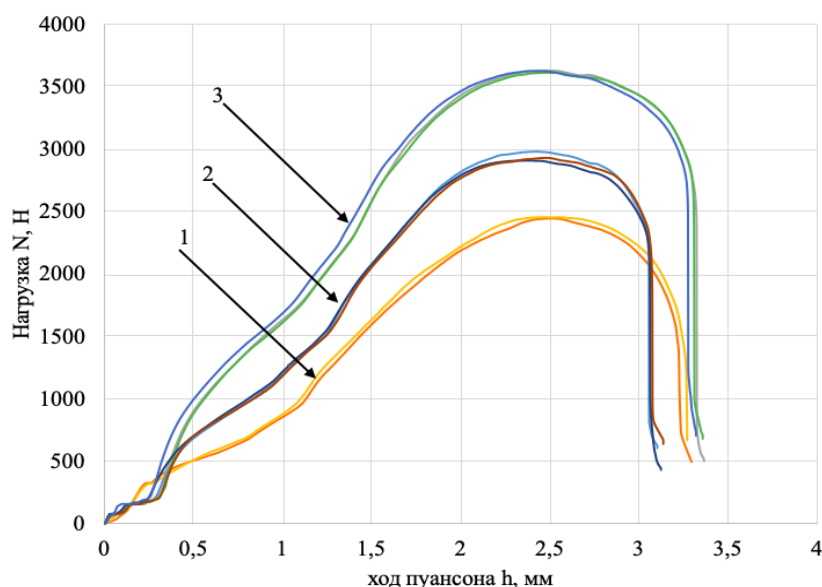


Рис. 1. Диаграммы деформирования компактных образцов из стали 08пс толщиной 1 мм (1), 1,2 мм (2), 1,5 мм (3)

Приведенные результаты свидетельствуют, что диаграммы могут быть использованы для определения величины удельной работы разрушения образцов стали, то есть объективной энергетической характеристики, позволяющей проводить оценку прочности материала до наступления разрушения. Известно [10], что конструкционные материалы, из которых изготавливается технологическое оборудование, в исходном состоянии имеют вполне определенное значение удельной работы разрушения, обозначаемой как W . Данная величина определяется как площадь диаграммы, заключенной между кривой деформирования (рис. 1) и осью абсцисс:

$$W = \int \sigma d\varepsilon,$$

где σ – разрушающая нагрузка; ε – деформация.

При эксплуатации оборудования на предприятиях нефтегазового профиля, вследствие негативного воздействия агрессивной коррозионной технологической среды, статических и цикловых нагрузок, высокого давления и температуры в материале происходит увеличение степени повреждения материала. Явление накопления микрповреждений и дефектов значительным образом изменяет начальное значение удельной работы разрушения как

в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. В ходе исследований было доказано, что «...проведение сравнительных испытаний исходного образца и образца, подвергнутого предварительному воздействию нагрузок, в ходе которого происходит накопление повреждений, дает возможность определить потенциальную энергию, накопленную поврежденным образцом как разность площадей под соответствующими кривыми на графиках испытаний» [11].

В соответствии с приведенными выше положениями были выполнены экспериментальные испытания механической нагрузкой компактных образцов углеродистых сталей марок СТЗ, марки 10 и марки 20 до полного их разрушения (рис. 2–4). Размеры компактных образцов составили в диаметре 10 мм, толщиной – 1,0 мм.

Приведенные диаграммы имеют типичный вид кривых, характеризующих напряженно-деформированное состояние микрообразцов в сложно напряженном состоянии. Начальный участок (в интервале значений деформаций (d) от 0 до 0,25 мм соответствует стадии упругого изгиба стального образца, после чего прямолинейный участок до точки перегиба графика (на интервале значений деформации от 0,25 до 1,0 мм) свидетельствует о наступлении состояния пластического течения материала.

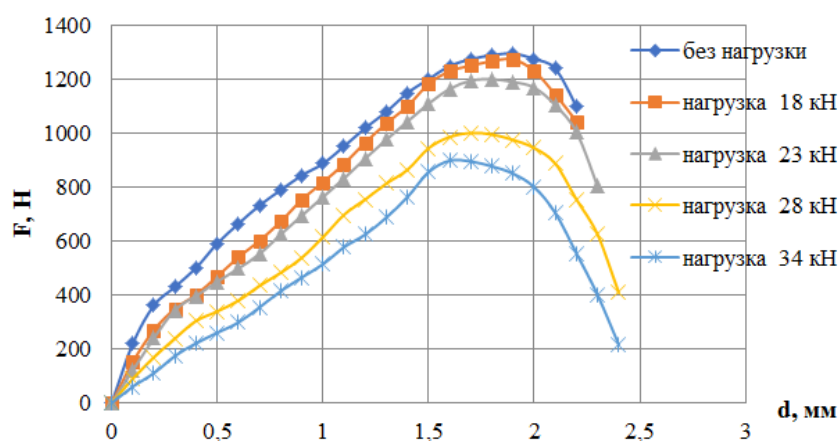


Рис. 2. Результаты испытаний компактных образцов из стали марки СТЗ

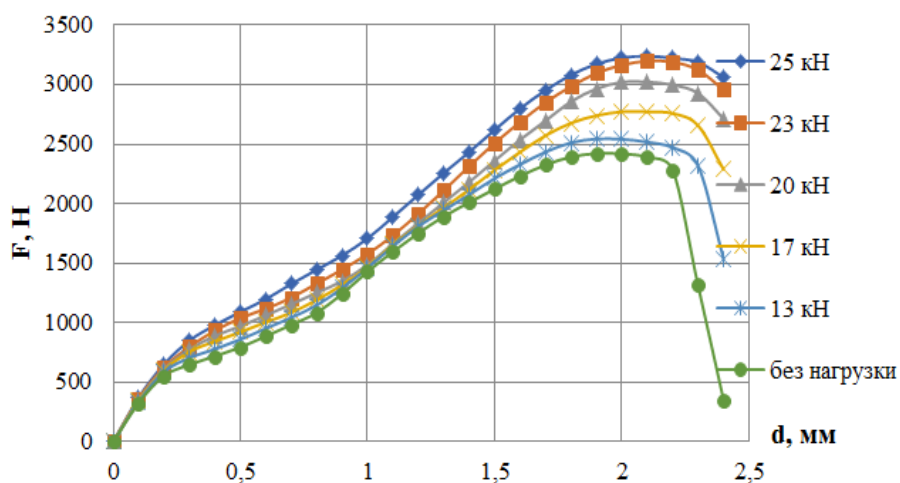


Рис. 3. Результаты испытаний компактных образцов из стали марки 10

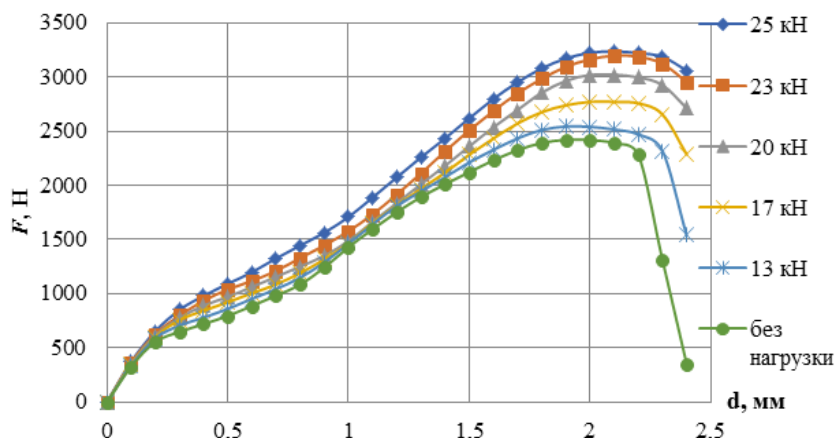


Рис. 4. Результаты испытаний компактных образцов из стали марки 20

От точки перегиба графика до экстремальной точки (при максимальном значении нагрузки F и величине деформаций от 1,8 мм до 2,1 мм) образец испытывает растяжение в мембранном режиме, что вызывает образование и рост трещины. Последний участок графика от экстремальных точек до обрыва линии при значениях деформаций 2,4 ... 2,5 мм соответствует стадии разрушения компактных образцов.

Таким образом, наличие формализованной зависимости между степенью повреждения материала и удельной энергии разрушения материала, позволит с помощью экспериментальных испытаний компактных образцов определять текущее техническое состояние элементов технологического оборудования. Соответственно степень поврежденности конструкционных материалов определялась как отношение действующей механической нагрузки на образец к пределу прочности стали. Изменение удельной работы разрушения проводилось по среднеквадратичному отклонению от его исходного начального значения вплоть до наступления предельного состояния конструкционного материала.

Результаты математической обработки экспериментальных данных представлены в таблице.

Таблица. Результаты математической обработки экспериментальных данных по испытанию компактных образцов различных марок сталей

Среднеквадратичное отклонение площади фигуры на диаграмме нагружения компактных образцов	Степень повреждения материала, J				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Сталь СТЗ	0,002	0,035	0,141	0,358	0,453
Сталь 8	0,001	0,025	0,171	0,275	0,421
Сталь 10	0,001	0,022	0,165	0,269	0,375
Сталь 20	0,002	0,039	0,176	0,298	0,451

Экспериментальные данные позволили провести регрессионный анализ методом «наименьших квадратов» с получением следующей аналитической зависимости с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,96$:

$$D_j = 0,58 * J - 0,16, \quad (1)$$

где J – степень повреждения конструкционного материала; D_j – значение среднеквадратичного отклонения работы разрушения.

Представленная аналитическая зависимость (1) позволяет по результатам испытаний компактных образцов оценить техническое состояние элементов нефтегазового оборудования по значению среднеквадратичного отклонения удельной работы разрушения. Предлагаемый метод оценки технического состояния может быть использован для решения задач в области обеспечения безопасной эксплуатации технологического оборудования, эксплуатируемого на предприятиях нефтегазового комплекса.

Литература

1. Оценка потенциальной опасности объектов предприятий топливно-энергетического комплекса / А.Г. Филиппова [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 1. С. 14–20.
2. Bruchhausen M., Holmström S., Simonovski I., Austin T., Lapetite J.-M., Ripplinger S., F. de Naan. Recent developments in small punch testing: Tensile properties and DBTT // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2016. Vol. 86. Pp. 2–10.
3. Кузьбожев А.С. Материаловедческие критерии оценки надежности металла, методы прогнозирования ресурса газотранспортных систем: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГВМИ, 2009. 49 с.
4. Misawa T., Adachi T., Saito M., Hamaguchi Y. Small punch tests forevaluating ductile-brittle transition behavior of irradiated ferritic steels // *Journal of Nuclear Materials*. 2013. Vol. 150. Issue 2. Pp. 194–202.
5. Самигуллина Л.Г. Разработка метода оценки остаточного ресурса нефтегазопроводов на основе испытаний микрообразцов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. СПб.: СГГУ, 2020. 20 с.
6. Assessment of Damage of Metallic Elements in Oil and Gas Facilities using Small Punch Test / G.Kh. Samigullin [et al.] // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. № 21. Pp. 11583–11587. EID: 2-s2.0-85040218508.
7. European standard on small punch testing of metallic materials / M. Bruchhausen [et al.] // 6th International Small Sample Test Techniques Conference. 2018. 15 p.
8. Estimation of the mechanical properties of metallic materials by means of the small punch test / T.E. García [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 582. Pp. 708–717.
9. Samigullin G.Kh., Shipachev A.M., Samigullina L.G. Control of Physical and Mechanical Characteristics of Steel by Small Punch Test Method // *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1118, Complex Equipment of Quality Control Laboratories, 012038. 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012038.
10. Щипачев А.М. Энергетические представления о прочности и разрушении. Проблема оценки повреждаемости металла // *Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов*. 2015. № 5. С. 120–124.
11. Обеспечение безопасности и ресурса нефтегазовых трубопроводов на основе результатов испытаний микрообразцов: монография / Г.Х. Самигуллин [и др.]. СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2020. 101 с.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.842.43

ОБ ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ

**Л.Т. Танклевский, доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.
И.А. Бабиков;
А.Л. Танклевский.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

Рассмотрена проблема надежности установления факта возгорания в помещении системой пожарной сигнализации путем одновременного использования извещателей пламени и дымовых пожарных извещателей с учетом отсеивания ложных срабатываний. Изложен принцип работы такой системы и приведены математические выражения для оценки вероятности ее успешного срабатывания с учетом восстановления в случае отказов.

Ключевые слова: пожар, пожарная сигнализация, дымовые пожарные извещатели, извещатели пламени, надежность, ложные срабатывания

ON THE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF FIRE DETECTION

L.T. Tanklevsky. Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university;
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.
I.A. Babikov; A.L. Tanklevsky.
Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university

The problem of the reliability of establishing the fact of fire in a room by a fire alarm system through the simultaneous use of flame detectors and smoke detectors, taking into account the elimination of false alarms, is considered. The principle of operation of such a system is reviewed and mathematical equations are provided for assessing the probability of its successful operation, taking into account recovery in case of failures.

Keywords: fires, fire alarm, smoke detector, flame detector, reliability, false alarms

Автоматическая пожарная сигнализация (АПС) [1, 2] является важным компонентом систем противопожарной защиты различных объектов [3]. АПС позволяет обнаружить пожар на ранней стадии и обеспечить тем самым своевременное срабатывание автоматических установок пожаротушения (АУП) [4, 5] и эвакуацию людей [6] из зоны с опасными факторами пожара (ОФП) [7]. Ключевым элементом АПС являются пожарные извещатели, которые по реакции на ОФП подразделяются на дымовые, пламени, тепловые (рис. 1) и др.



Рис. 1. Пожарные извещатели: а – дымовой; б – пламени; в – тепловой

Особенности обнаружения возгорания

Дымовые пожарные извещатели (ДПИ) реагируют на изменение оптической плотности в помещении и являются наиболее распространенными. Извещатели пламени (ИП) применяются, как правило, для защиты зон, где возможно пламенное горение пожарной нагрузки (в том числе, на открытых площадках). Тепловые пожарные извещатели (ТПИ) реагируют на повышение температуры в помещении и эффективны в случае интенсивного тепловыделения. Известны также газовые извещатели, способные обнаружить возгорание на ранней стадии по выделению в помещении продуктов пиролиза. Ручные пожарные извещатели применяются для включения сигнала пожарной тревоги персоналом объекта. А комбинированные пожарные извещатели содержат в себе два и более типов вышеперечисленных извещателей.

Что касается ТПИ, получивших широкое распространение, то, как показано в работе [8], для них критична высота помещения H , поскольку продукты горения, поднимаясь вверх и охлаждаясь, могут активировать ТПИ с запозданием, когда площадь пожара $S_{п}$ достигнет размера, который не сможет быть потушенным первым прибывшим караулом [9], и потребуются повышение ранга пожара [10]. В работе [11] на основании модели Р. Альперта [12] приведены критические высоты помещения в зависимости от мощности пожара Q (произведение удельной мощности тепловыделения пожарной нагрузки на площадь пожара). На рис. 2 представлен уточненный график $H(r)$ (r – проекционное расстояние от центра очага до оси конвективной колонки) с изолиниями мощности пожара Q при условии достижения температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ на высоте H (начальная температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

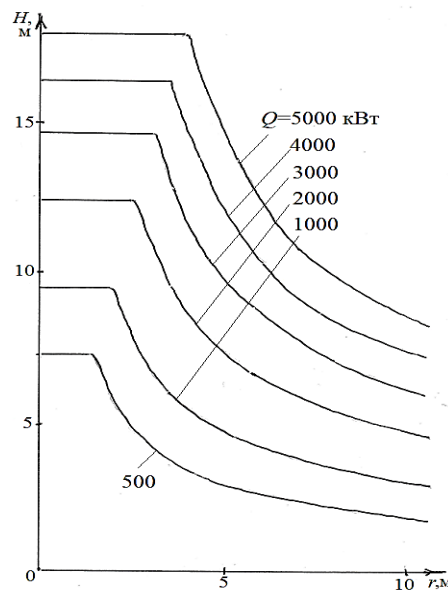


Рис. 2. Предельная высота в помещении, на которой достигается температура $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ срабатывания ТПИ при различных мощностях пожара Q

Например, как видно из рис. 2, ТПИ с температурой срабатывания 60 °С (начальная температура 20 °С), установленный на высоте 10 м, при расчетной тепловой мощности пожара $Q=1$ МВт вообще не сможет работать и выдать сообщение о возгорании.

Оценка достоверности обнаружения возгорания

Как свидетельствует опыт, извещатели имеют недостатки, основными среди которых являются ложные срабатывания и отказы.

Наиболее частыми причинами отказов пожарных извещателей являются: ошибки проектирования (неправильный выбор мест установки), некачественный монтаж, использование некондиционных компонентов, превышение гарантированного срока службы, неправильная эксплуатация (механические повреждения), неудовлетворительное обслуживание, перебои в электропитании и др.

Например, для ИП [13] важно, чтобы при выбранном классе ИП учитывалось максимальное расстояние до возможного очага; чтобы ИП монтировались на высоте не менее 0,8 м от потолка (иначе помешает задымление, предшествующее пламенному горению); чтобы оптическая ось имела нормативный угол наклона (рис. 3 а) и учитывалось наличие препятствий в помещении, например стеллажа (рис. 3 б).

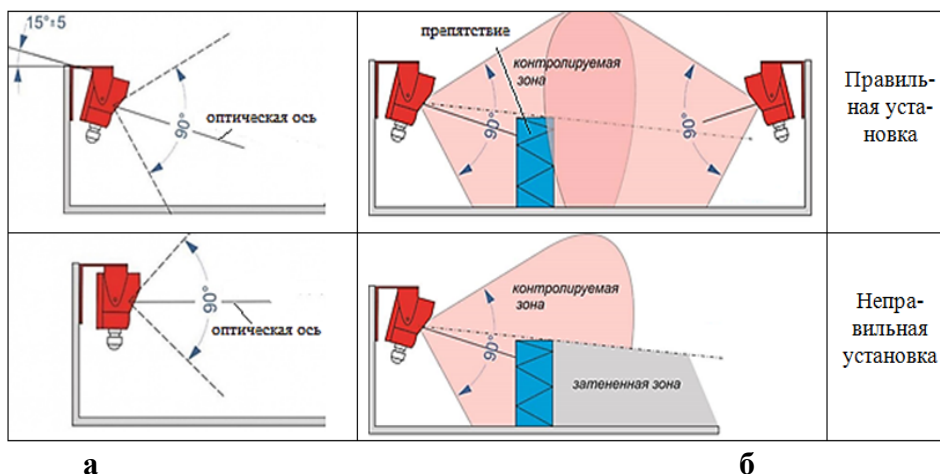


Рис. 3. Особенности установки ИП в помещении:
а – влияние наклона оптической оси; б – учет наличия препятствия

Важной проблемой является то, что на эффективность пожарных извещателей отрицательно влияют ложные срабатывания [14]. Причины ложных срабатываний ДПИ, ИП и ТПИ приведены в табл. 1. Для обеспечения устойчивости к ложным срабатываниям проводится тестирование пожарных извещателей специальными функциями [14], которые представлены в табл. 2. Коэффициенты k , T , T_1 и T_2 , приведенные в табл. 2, подбираются в зависимости от ожидаемых условий эксплуатации извещателей.

Таблица 1. Процент причин ложных срабатываний пожарных извещателей

ДПИ	%	ИП	%	ТПИ	%
Запыление дымовой камеры	38	Излучение при электросварке	48	Тепло технологического процесса	39
Попадание насекомых в дымовую камеру	23	Солнечное излучение	30	Отопительные приборы	15
Технологические испарения и аэрозоли	12	Отопительные приборы с открытой спиралью	8	Солнечное излучение	15
Электромагнитное воздействие (грозы)	11	Электромагнитное воздействие (грозы)	7	Электромагнитное воздействие (грозы)	11
Повышенная влажность (туман)	9				
Прочее	7	Прочее	6	Прочее	20

Таблица 2. Модели ложных факторов пожара

Ложный фактор	Тестовая функция
Выпадение тумана, воздействие солнца, излучение отопительных приборов с открытой спиралью	$f(t) = kt, k > 0$
Запыление дымовой камеры	$f(t) = k \frac{Tt}{1 + (Tt)^2}, k > 0, T > 0$
Технологические испарения, выделение тепла в ходе технологического процесса	$f(t) = k \left[1 - \frac{T_1}{T_1 + T_2} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \frac{T_1}{T_1 + T_2} \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right], k > 0, T_1 > T_2 > 0$
Воздействие отопительных приборов	$f(t) = k \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], k > 0, T > 0$
Электромагнитное воздействие, гроза	Импульсные аддитивные помехи случайной амплитуды и нерегулярной последовательности
Попадание в дымовую камеру насекомых, воздействие электросварки	Белый шум случайной мощности с нулевым математическим ожиданием

Метод комбинированного применения извещателей

Для повышения достоверности обнаружения возгорания целесообразно предложить комбинирование использования ДПИ и ИП. Суть его в том, что, если известны вероятности их ложных срабатываний (соответственно $p_{лс}^{дпи}$ и $p_{лс}^{ип}$), то вероятность того, что и ДПИ, и ИП одновременно сработают ложно, будет мала и может быть оценена по выражению [15, 16]:

$$p_{лс} = p_{лс}^{дпи} p_{лс}^{ип}.$$

Если же АПС помещения содержит несколько пар ДПИ+ИП, то:

$$p_{лс} = (p_{лс}^{дпи} p_{лс}^{ип})^N,$$

где N – количество пар ДПИ+ИП, защищающие одинаковую площадь или объект (например, из верхней части рис. 3 б следует, что стеллаж нужно защищать минимум $N=2$ парами ДПИ+ИП).

Из вышеизложенного следует, что вероятность достоверного обнаружения возгорания может быть описана выражением:

$$p_{обн} = (p_{г}^{дпи} p_{г}^{ип})^N (1 - p_{лс}), \quad (1)$$

где $p_{г}^{дпи}, p_{г}^{ип}$ – вероятности того, что ДПИ и ИП соответственно на момент возгорания находятся в состоянии готовности выполнять свои функции (работоспособны и не отключены).

Вероятности $p_{лс}^{дпи}$ и $p_{лс}^{ип}$ могут быть определены либо по справочным данным (при наличии), либо статистически по соотношению:

$$\begin{bmatrix} p_{лс}^{дпи} \\ p_{лс}^{ип} \end{bmatrix} = \frac{[n_{лс}^{дпи}; n_{лс}^{ип}]^T}{[n_{об}^{дпи}; n_{об}^{ип}]^T},$$

где $n_{лс}^{дпи}, n_{лс}^{ип}$ – число ложных срабатываний ДПИ и ИП соответственно; $n_{об}^{дпи}, n_{об}^{ип}$ – общее число срабатываний ДПИ и ИП за такой же период времени; T – оператор транспонирования.

Из выражения (1) следует, что нахождению извещателей в работоспособном состоянии следует уделять значительное внимание. Вероятность готовности пар ДПИ+ИП может быть оценена с использованием математического аппарата теории массового обслуживания [17, 18] при общепринятых допущениях и в предположении, что восстановление готовности ДПИ и ИП происходит за время $\tau_{дпи}$ и $\tau_{ип}$ соответственно:

$$p_{г}^{дпи} = \left[1 + \sum_{j=1}^M (\lambda_{дпи} \tau_{дпи})^j \prod_{k=1}^j (M - k + 1) \right]^{-1}; \quad (2)$$

$$p_{г}^{ип} = \left[1 + \sum_{j=1}^M (\lambda_{ип} \tau_{ип})^j \prod_{k=1}^j (M - k + 1) \right]^{-1}, \quad (3)$$

где M – общее число обслуживаемых пар извещателей; $\lambda_{дпи}, \lambda_{ип}$ – интенсивности отказов ДПИ и ИП соответственно.

Например, при $M=2, 3$ и 4 из (2) и (3) получаем соответственно:

$$\begin{bmatrix} p_{г}^{дпи} \\ p_{г}^{ип} \end{bmatrix}_{M=2} = \left[1 + 2 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи} \\ \alpha_{ип} \end{bmatrix} + 2 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^2 \\ \alpha_{ип}^2 \end{bmatrix} \right]^{-1};$$

$$\begin{bmatrix} p_{г}^{дпи} \\ p_{г}^{ип} \end{bmatrix}_{M=3} = \left[1 + 3 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи} \\ \alpha_{ип} \end{bmatrix} + 6 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^2 \\ \alpha_{ип}^2 \end{bmatrix} + 6 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^3 \\ \alpha_{ип}^3 \end{bmatrix} \right]^{-1};$$

$$\begin{bmatrix} p_{г}^{дпи} \\ p_{г}^{ип} \end{bmatrix}_{M=4} = \left[1 + 4 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи} \\ \alpha_{ип} \end{bmatrix} + 12 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^2 \\ \alpha_{ип}^2 \end{bmatrix} + 24 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^3 \\ \alpha_{ип}^3 \end{bmatrix} + 24 \begin{bmatrix} \alpha_{дпи}^4 \\ \alpha_{ип}^4 \end{bmatrix} \right]^{-1},$$

где $\begin{bmatrix} \alpha_{дпи} \\ \alpha_{ип} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{дпи} \tau_{дпи} \\ \lambda_{ип} \tau_{ип} \end{bmatrix}$ – приведенные нагрузки.

Выводы

В данной работе рассмотрена и обоснована возможность комбинированного применения в АПС пар извещателей – дымовых и пламени – для достоверного определения факта возгорания в помещении. В дальнейшем представляется целесообразным дать количественные оценки надежности такой сигнализации при наличии статистических данных о ложных срабатываниях и частотах отказов, а также произвести экономическую оценку и предложить соответствующие логические схемы.

Литература

1. СП 5.13130.2013 СППЗ. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200071148 (дата обращения: 29.05.2021).
2. СП 484.1311500.2020 СППЗ. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Крымский В.В., Панков А.Е. Система риск-контроллинга промышленного предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. 2014. № 2 (192). С. 114–122.
4. СП 485.1311500.2020 СППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/573004280 (дата обращения: 29.05.2021).

5. ГОСТ 12.3.046–91 ССБТ. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru>document/1200003194 (дата обращения: 14.05.2021).
6. СП 3.13130.2009 СППЗ. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru>document/1200071145 (дата обращения: 14.05.2021).
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Оценка эффективности спринклерных установок пожаротушения / Л.Т. Танклевский [и др.] // Пожарная безопасность. 2015. № 1. С. 72–79.
9. Терехнев В.В. Справочник РТП. М.: ПожКнига, 2004. 248 с.
10. 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».
11. Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения / Л.Т. Танклевский [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2021. № 1. Т. 30. С. 32–43.
12. Alpert R.L. Ceiling Jet Flows. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Ed., NFPA, 2002. pp. 2–18 – 2–31.
13. НПФ Полисервис // Справочник по пожарным извещателям пламени. URL: <https://www.npfpol.ru/reviews/IPPHelp/> (дата обращения: 18.05.2021).
14. Исследования ложных факторов пожара // Современные проблемы науки и образования. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6103> (дата обращения: 15.05.2021).
15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. 5-е изд., стереотипное. М.: Высш. шк., 1998. 576 с.
16. Надежность технических систем: справочник / под ред. И.А.Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
17. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 552 с.
18. Таранцев А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания: монография. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Наука, 2007. 176 с.
19. Хемминг Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров. 2-е изд., испр. М.: Наука, 1972. 400 с.

УДК 331.43

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ЭКРАНА С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ ПЛАСТМАССЫ И ТЕПЛООТВОДЯЩИМИ КАНАЛАМИ

А.Ю. Андрияшкин, кандидат технических наук, доцент;

С.А. Мещеряков.

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

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

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

При локализации интенсивных тепловых потоков эффективны многослойные теплозащитные экраны с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы

и теплоотводящими каналами. Обоснована эффективность применения в многослойных теплозащитных экранах с теплоизоляционным наполнителем теплоотводящих каналов. Эффективность охлаждаемых теплозащитных экранов в несколько раз выше аналогичного неохлаждаемого теплозащитного экрана.

Ключевые слова: теплозащитный экран, газонаполненная пластмасса, теплоизоляционный наполнитель, теплоотводящий канал

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A HEAT SHIELD WITH A HEAT-INSULATING FILLER MADE OF GAS-FILLED PLASTIC AND HEAT-REMOVING CHANNELS

A.Yu. Andryushkin; S.A. Meshcheryakov.

Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ystinov.

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

When localizing intense heat flows, multilayer heat shields with a heat-insulating filler made of gas-filled plastic and heat-removing channels are effective. The effectiveness of the use of heat-removing channels in multilayer heat-protective screens with a heat-insulating filler is justified. The efficiency of cooled heat shields is several times higher than that of a similar uncooled heat shield.

Keywords: heat shield, gas-filled plastic, heat-insulating filler, heat-removing channel

В горячих помещениях и цехах машиностроительных предприятий при работе с расплавленным металлом и нагретыми до высокой температуры заготовками (материалами) наблюдаются интенсивные тепловые потоки. Избыточные тепловыделения создают в производственных помещениях нагревающий микроклимат, ухудшающий условия труда персонала, а также повышают опасность воспламенения материалов и строительных конструкций. Для локализации тепловых потоков используют теплозащитные экраны. Значительно повысить эффективность теплозащитных экранов можно за счет их интенсивного охлаждения водой, циркулирующей по специальным каналам. Изготовление сварных металлических теплозащитных конструкций с каналами для циркуляции воды характеризуется сложностью и высокой трудоемкостью, так как они состоят из большого числа собираемых деталей. Альтернативным техническим решением является многослойная теплозащитная конструкция с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами, выполненными из гибкой металлической или пластмассовой трубки. Термическое сопротивление охлаждаемой теплозащитной конструкции увеличивается в несколько раз. Поэтому актуальна оценка эффективности многослойного теплозащитного экрана с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами [1–7].

Оценка эффективности многослойного теплозащитного экрана с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами

Количественно оценим эффективность теплозащитной конструкции с теплоотводящими каналами и без них по выражению [1–9]:

$$\eta_{mk} = \frac{q_{nn-mp} - q_{nn-xn}}{q_{nn-xn}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где η_{mk} – эффективность теплозащитной конструкции, %; q_{nn-xn} – удельный тепловой поток от нагретой поверхности к холодной поверхности теплозащитной конструкции

без теплоотода, Вт/м^2 ; $q_{\text{нп-тр}}$ – удельный тепловой поток от нагретой поверхности теплозащитной конструкции к наружной поверхности трубки с теплоносителем, Вт/м^2 .

Теплозащитный экран представляет собой трехслойную панель из двух алюминиевых листов с пенополиуретановым наполнителем. Теплоотвод от экрана осуществляется теплоносителем (водой), циркулирующим по расположенной с определенным шагом в наполнителе гибкой полиэтиленовой трубке (рис. 1).

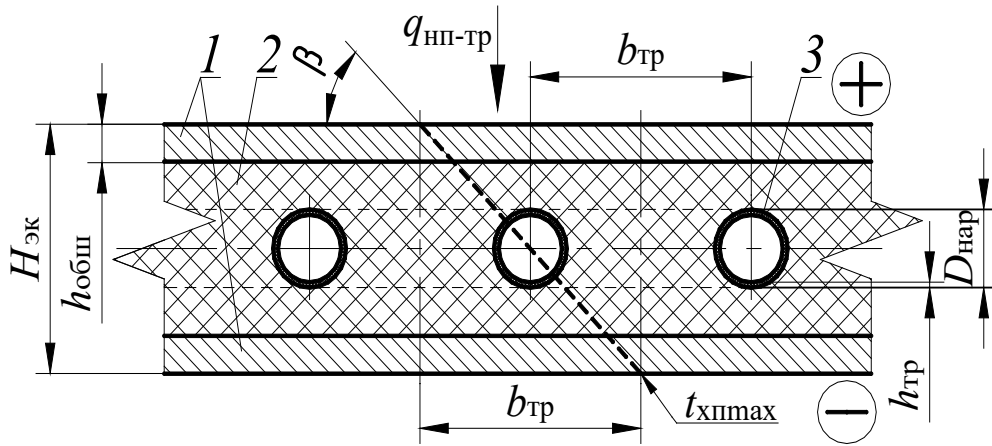


Рис. 1. Теплозащитный экран с пенополиуретановым наполнителем и теплоотводящими каналами: 1 – алюминиевый лист; 2 – пенополиуретановый наполнитель; 3 – теплоотводящие каналы охлаждающей жидкости

Расчет эффективности теплозащитного экрана проводился при следующих исходных данных [9]:

- температура нагретой поверхности экрана: $t_{\text{нп}}=120\text{ }^\circ\text{C}$;
- толщина экрана: $H_{\text{эк}}=0,050\text{ м}$;
- наружный диаметр трубки с теплоносителем: $D_{\text{нар}}=0,016\text{ м}$;
- толщина стенки трубки с теплоносителем: $h_{\text{тр}}=0,002\text{ м}$;
- теплопроводность стенки трубки: $\lambda_{\text{тр}}=0,32\text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$;
- температура теплоносителя в трубке: $t_{\text{теп}}=18\text{ }^\circ\text{C}$;
- коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубки с теплоносителем: $\alpha_{\text{внтр}}=400\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{}^\circ\text{C)}$;
- толщина алюминиевого листа обшивки: $h_{\text{обш}}=0,0005\text{ м}$;
- теплопроводность алюминиевого листа обшивки: $\lambda_{\text{обш}}=236\text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$;
- теплопроводность пенополиуретанового наполнителя: $\lambda_{\text{ППУ}}=0,030\text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$;
- шаг между трубками с теплоносителем: $b_{\text{тр}}=0,10\text{--}0,20\text{ м}$.

Линейное термическое сопротивление стенки трубки с теплоносителем определим по выражению:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{нар}}}{D_{\text{нар}} - 2 \cdot h_{\text{тр}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\pi \cdot \alpha_{\text{внтр}} \cdot (D_{\text{нар}} - 2 \cdot h_{\text{тр}})},$$

где $R_{\text{тр}}$ – линейное термическое сопротивление стенки трубки с теплоносителем, $(\text{м}\cdot\text{}^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление части экрана от нагретой поверхности до трубки с теплоносителем определим по выражению:

$$R_{\text{нп-тр}} = \frac{h_{\text{обш}}}{\lambda_{\text{обш}}} + \frac{0,5 \cdot (H_{\text{эк}} - 2 \cdot h_{\text{обш}} - D_{\text{нар}})}{\lambda_{\text{ППУ}}},$$

где $R_{\text{нп-тр}}$ – термическое сопротивление части экрана от нагретой поверхности до трубки с теплоносителем, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Удельный тепловой поток от нагретой поверхности теплозащитного экрана к наружной поверхности трубки с теплоносителем определим по выражению:

$$q_{\text{нп-тр}} = \frac{t_{\text{нп}} - t_{\text{нартр}}}{R_{\text{нп-тр}}},$$

где $t_{\text{нартр}}$ – температура наружной поверхности трубки с теплоносителем, °C .

Удельный тепловой поток от наружной поверхности трубки к теплоносителю определим по выражению:

$$q_{\text{тр-теп}} = \frac{t_{\text{нартр}} - t_{\text{теп}}}{b_{\text{тр}} \cdot R_{\text{тр}}},$$

где $q_{\text{тр-теп}}$ – удельный тепловой поток от наружной поверхности трубки к теплоносителю, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Определим температуру наружной поверхности трубки из условия равенства удельного теплового потока от нагретой поверхности экрана к наружной поверхности трубки и от нее к теплоносителю $q_{\text{нп-тр}} = q_{\text{тр-теп}}$:

$$\frac{t_{\text{нп}} - t_{\text{нартр}}}{R_{\text{нп-тр}}} = \frac{t_{\text{нартр}} - t_{\text{теп}}}{b_{\text{тр}} \cdot R_{\text{тр}}},$$

откуда

$$t_{\text{нартр}} = \frac{\frac{t_{\text{нп}}}{R_{\text{нп-тр}}} + \frac{t_{\text{теп}}}{b_{\text{тр}} \cdot R_{\text{тр}}}}{\frac{1}{R_{\text{нп-тр}}} + \frac{1}{b_{\text{тр}} \cdot R_{\text{тр}}}}.$$

Термическое сопротивление экрана тепловому потоку максимально в местах расположения трубок с теплоносителем и минимально между ними. Определим максимальную температуру холодной поверхности экрана в местах между трубок с теплоносителем, то есть там, где термическое сопротивление экрана минимально (рис. 1):

$$t_{\text{хп max}} = t_{\text{нп}} - 2 \cdot q_{\text{нп-тр}} \cdot R_{\text{нп-тр}} \cdot \sin(\beta),$$

где $t_{\text{хп max}}$ – максимальная температура холодной поверхности экрана в местах с минимальным термическим сопротивлением, то есть между трубками с теплоносителем, °C ; β – угол, учитывающий изменение термического сопротивления экрана в зависимости от его толщины и шага трубок, град.

Оценим влияние шага между трубками с теплоносителем в заданном диапазоне $b_{тр}=0,10-0,20$ м на величину удельного теплового потока от нагретой поверхности теплозащитного экрана к наружной поверхности трубки с теплоносителем $q_{нп-тр}$ и на величину максимальной температуры холодной поверхности экрана в местах между трубок с теплоносителем $t_{хпmax}$.

Проведенные расчеты дают следующие результаты. При увеличении расстояния между трубками с теплоносителем в два раза от $b_{тр}=0,10$ м до $b_{тр}=0,20$ м величина удельного теплового потока от нагретой поверхности теплозащитного экрана к наружной поверхности трубки с теплоносителем $q_{нп-тр}$ снижается всего лишь на 3,4 % (рис. 2), а величина максимальной температуры холодной поверхности экрана в местах между трубок с теплоносителем возрастает в 2,3 раза (рис. 3). Отвод тепла от экрана весьма эффективен и позволяет существенно снизить температуру на холодной поверхности экрана при значительной величине теплового потока [9].

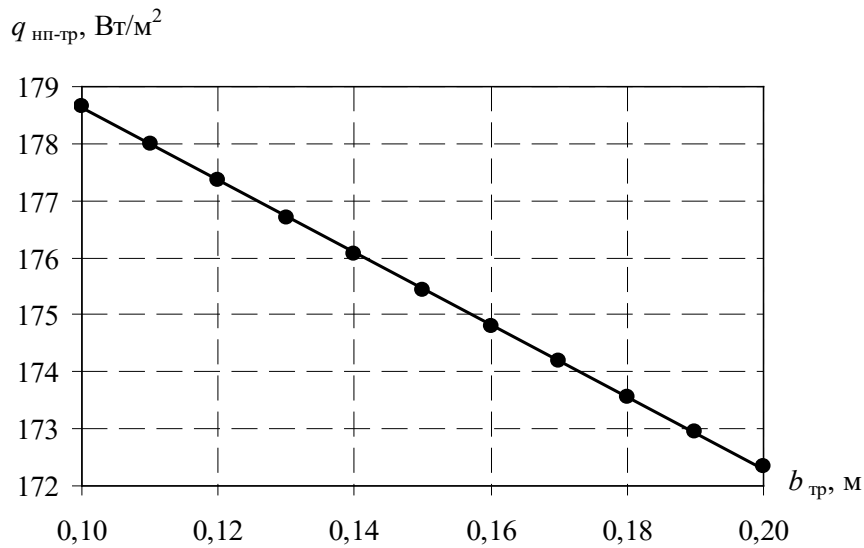


Рис. 2. Зависимость удельного теплового потока от нагретой поверхности теплозащитного экрана к наружной поверхности трубки с теплоносителем $q_{нп-тр}$ от шага между трубками $b_{тр}$

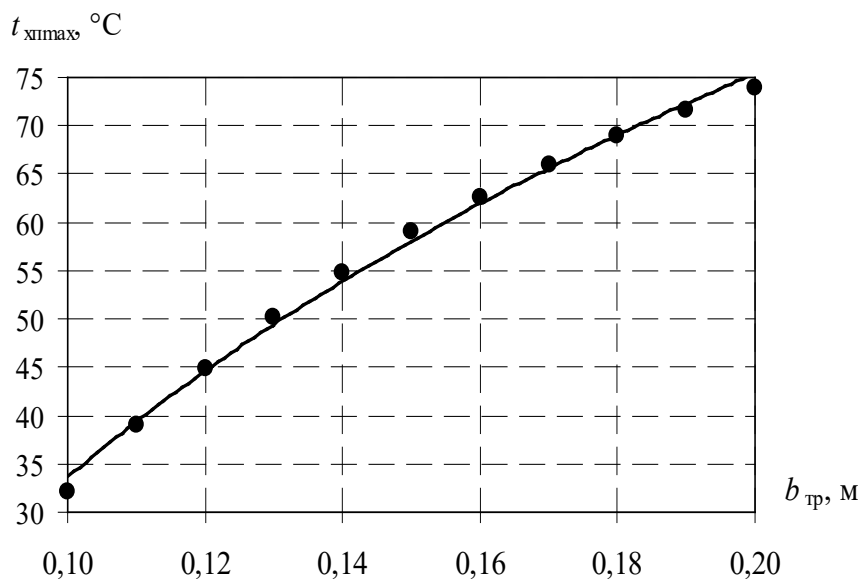


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры холодной поверхности экрана в местах между трубками с теплоносителем $t_{хпmax}$ от шага между трубками $b_{тр}$

Для сравнения проведем расчет удельного теплового потока через аналогичный экран без теплоотвода $q_{\text{нп-хп}}$. Предположим, что температура холодной поверхности экрана равна максимальной температуре охлаждаемого экрана при шаге трубок $b_{\text{тр}}=0,10$ м, то есть $q_{\text{нп-тр}}=178,7$ Вт/м²; $t_{\text{хпmax}}=32,1$ °С:

$$q_{\text{нп-хп}} = \frac{t_{\text{нп}} - t_{\text{хп max}}}{2 \cdot \left(\frac{h_{\text{обш}}}{\lambda_{\text{обш}}} \right) + \frac{H_{\text{эк}} - 2 \cdot h_{\text{обш}}}{\lambda_{\text{ППУ}}}}. \quad (2)$$

Расчет по выражению (2) дает величину удельного теплового потока от нагретой поверхности к холодной поверхности теплозащитного экрана без теплоотвода $q_{\text{нп-хп}}=53,8$ Вт/м².

В рассмотренном случае эффективность теплозащитной конструкции с теплоотводящими каналами по выражению (1) $\eta_{\text{мк}}=232,2$ %.

Таким образом, применение теплоотводящих каналов в теплозащитных конструкциях эффективно и обеспечивает локализацию значительных тепловых потоков.

Выводы

1. Интенсивные тепловыделения, возникающие в горячих помещениях и цехах машиностроительных предприятий, ухудшают условия труда работников и обуславливают пожаровзрывоопасность.

2. При локализации интенсивных тепловых потоков эффективны многослойные теплозащитные экраны с теплоизоляционным наполнителем из газонаполненной пластмассы и теплоотводящими каналами.

3. Эффективность охлаждаемого водой теплозащитного экрана в несколько раз выше, чем аналогичного неохлаждаемого теплозащитного экрана.

Таким образом, применение теплоотводящих каналов в теплозащитных конструкциях эффективно и обеспечивает локализацию значительных тепловых потоков.

Литература

1. Аржаева Н.В., Орлова Н.А., Соболев С.В. Тепломассообмен. Практикум: учеб. пособие / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. Пенза: ПГУАС, 2013. 112 с.
2. Береговой А.М. Ограждающие конструкции с повышенными теплозащитными качествами. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 1999. 312 с.
3. Евстигнеева Н.А. Защита от теплового излучения: методические указания. М.: МАДИ (ГТУ), 2006. 42 с.
4. Козий С.С., Козий Т.Б., Морозов В.В. Исследование интенсивности теплового излучения и эффективности теплозащитных экранов: метод. указания (исп. и доп.). Самара: Изд-во СГАУ, 2015. 32 с.
5. Орлов М.Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2013. 204 с.
6. Чухланов В.Ю., Панов Ю.Т., Синявин А.В. Практикум по газонаполненным пластмассам: учеб. пособие. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2006. 130 с.
7. Шойхет Б.М. Проектирование тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей // Энергосбережение. 2015. № 1. С. 50–57.
8. Андриюшкин А.Ю., Михеенков М.Ю., Чулков А.В. Технологические аспекты напыления многослойных покрытий на стационарную технику специального назначения // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 7-8 (109–110). С. 68–76.
9. Андриюшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.

УДК 62-23

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАР В МЕХАНИЗМАХ

К.С. Иванов, кандидат технических наук, доцент;
С.Г. Реснянский, кандидат технических наук;
А.В. Широухов, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлен метод повышения ресурса трущихся деталей машин, подвергающихся абразивному изнашиванию. На основе анализа следов механического взаимодействия деталей и характера абразивного изнашивания показана динамическая модель, по которой определяется необходимый материал изготовления трибологической пары для повышения долговечности работы деталей машин.

Ключевые слова: динамическая модель абразивного изнашивания, механическое изнашивание, надежность деталей машин, износостойкость сталей, повышение ресурса

METHOD OF INCREASING THE DURABILITY OF TRIBOLOGICAL PAIRS IN MECHANISMS

K.S. Ivanov; S.G. Resnyansky; A.V. Shiroukhov.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article presents a method for increasing the resource of rubbing machine parts subjected to abrasive wear. Based on the analysis of traces of mechanical interaction of parts and the nature of abrasive wear, a dynamic model is shown, on the basis of which the necessary material for manufacturing a tribological pair is determined to increase the durability of machine parts.

Keywords: dynamic model of abrasive wear, mechanical wear, reliability of machine parts, wear resistance of steels, increase in service life

Практика эксплуатации узлов и агрегатов машин и экспериментальные исследования показали, что существует положительная обратная связь между условиями нагружения трущихся поверхностей и их повреждаемостью [1–4]. При этом определяющим является наличие в трибологических парах зазоров, соизмеримых с неровностями, возникающими при повреждении сопряженных поверхностей в процессе схватывания.

Сущность этого процесса заключается в соединении сваркой при местном сцеплении двух твердых тел под действием молекулярных сил. При этом образуются прочные металлические связи в зонах непосредственного контакта поверхностей. В местах схватывания исчезает граница между соприкасающимися телами, происходит сращивание однородных и разноименных металлов. Это обуславливает расклинивающее действие образующихся при схватывании наростов и затруднение поступления в зону схватывания смазочного материала, и, как следствие, ведет к механическому износу.

Абразив и металлические частицы с высокой твердостью, попадая в зазор прецизионной пары, способствуют схватыванию звеньев, после чего происходит расклинивающее действие на детали, значительно повышается температура на локальных участках фактического контакта поверхностей.

При исследовании причин отказов узлов и агрегатов машин часто возникает задача оценить силу трения в трибологической паре по имеющимся следам на контактирующих поверхностях и соотнести время образования повреждения деталей с моментом наступления отказа в работе агрегата или узла. Одним из таких методов является анализ следов

механического взаимодействия деталей при оценке силы трения и определении направления их относительного перемещения [5].

В связи с развитием методов упрочнения, разработкой новых износостойких покрытий и появлением эффективных методов поверхностной обработки материалов, обеспечивающих получение заданного комплекса характеристик поверхностной прочности, появляются возможности повышения износостойкости материалов.

Большое число работ посвящено исследованию износостойкости сталей и сплавов [1, 2, 6–8], однако единых методов и методик оценки износостойкости материалов по видам изнашивания создать пока не удалось. Даже классификация изнашивания является предметом разногласий между исследователями.

Сила трения определяется на основе существующих представлений о природе трения покоя и трения скольжения. При определенных допущениях и учете особенностей конструкции трущихся деталей можно приблизительно, но с достаточной для практики точностью, оценить усилия сопротивления их относительному перемещению при образовании задира или при заклинивании подвижного сопряжения.

Сила трения является ключевым фактором при оценке последствий износа в трибологических парах, в первую очередь абразивного. Абразивный износ представляет собой разрушение поверхностей трения под действием твердых частиц. Благодаря большой интенсивности трения в трибологической паре, он может определять потерю ее работоспособности. Для вязких материалов разрушение может происходить за каждый цикл нагружения. Для твердых поверхностей из высокопрочных сталей разрушение происходит после многократных воздействий, то есть в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя.

Поскольку большинство трибологических пар изготавливаются из твердых материалов, возникает необходимость решать задачу прогнозирования износа именно твердых поверхностей.

В результате исследований [9] установлено, что твердость и модуль упругости не служат универсальными показателями абразивного изнашивания, так как на них не влияет структура изнашиваемого материала. Наиболее объективным показателем, характеризующим степень износа, является поверхностная энергия. Экспериментально установлено, что большая часть энергии, выделяющейся при трении, переходит в тепло (до 99 %) и ничтожная доля поглощается материалом трущейся пары, вызывая структурные и иные превращения в его поверхностном слое, включая его разрушение с образованием частиц износа. В свою очередь, тепловыделение при трении приводит к нагреву трущихся тел, который в сильной степени влияет на интенсивность изнашивания [10]. При проектировании, производстве, эксплуатации и ремонте узлов и агрегатов машин важно учитывать уровень поверхностной энергии ее металлических деталей. От значения поверхностной энергии в значительной степени зависят эксплуатационные свойства деталей машин, в том числе и деталей узлов и агрегатов машин. Поверхностные частицы имеют большой запас поверхностной энергии по сравнению с внутренними частицами [11–14].

С учетом анализа следов механического взаимодействия деталей при оценке силы трения и определении направления их относительного перемещения, а также характера абразивного изнашивания разработана динамическая модель, на основе которой определяется необходимый материал изготовления трибологической пары для повышения ресурса работы деталей машин [1, 8, 13, 15].

В статье представлен метод повышения долговечности трущихся деталей машин, подвергающихся абразивному изнашиванию на основе анализа следов механического взаимодействия деталей и определении направления их относительного перемещения. Определив время образования повреждения, появляется возможность подбора соответствующего материала для изготовления трущихся деталей машин в целях повышения их ресурса на основе применения динамической модели абразивного износа.

Рассмотрим возможные методы оценки усилий, необходимых для преодоления сопротивления относительному перемещению деталей подвижных сопряжений, на примере

прецизионных пар трения гидравлических агрегатов, для которых решение такой задачи особенно актуально (рис. 1 а).

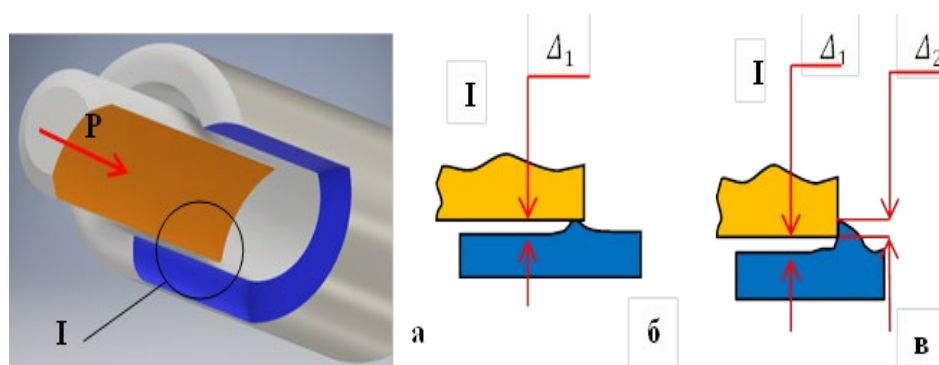


Рис. 1. Схема образования очага заедания прецизионной пары золотникового клапана

При образовании локальных задиров, то есть повреждений, вызванных микросхватыванием, следует иметь в виду два возможных случая, различаемых соотношением высоты образуемого при разрушении адгезионной связи нароста и диаметрального зазора прецизионной пары. Если высота нароста меньше диаметрального зазора Δ_1 , сила сопротивления перемещению деталей определяется в основном прочностью адгезионной связи (силой сопротивления на срез менее прочного из взаимодействующих металлов) на участке схватывания и силой сопротивления смятию при царапании его наростом (рис. 1 б). Если же высота нароста превышает диаметральный зазор и составляет $\Delta_1 + \Delta_2$, то, помимо указанных сил, возникает сила трения между деталями, вызванная заклинивающим действием нароста (рис. 1 в). В этом случае вследствие прогрессирующего заедания может выйти из строя прецизионная пара. Высота образуемого нароста при схватывании зависит в основном от физико-механических свойств материала и действующих нагрузок, которые при одинаковой макро и микрогеометрии поверхностей способствуют возникновению заедания при трении скольжения. Силу сопротивления перемещению деталей по повреждениям их поверхностей при локализуемом схватывании оценивают исходя из представлений об адгезионно-деформационной природе трения.

Для определения силы трения воспользуемся выражением, предложенным И.В. Крагельским [16]:

$$F = F_{адг} + F_{деф} = \tau_{ср} S_{ср} + \sigma_{см} S_{см},$$

где F – сила сопротивления материала перемещению, Н; $F_{адг}$ – адгезионная составляющая силы сопротивления перемещению, определяемая сопротивлением материала детали срезу при образовании повреждения, Н; $F_{деф}$ – деформационная составляющая силы сопротивления перемещению, определяемая сопротивлением материала смятию при образовании повреждения, Н; $\tau_{ср}$ – напряжение среза, Н/мм²; $S_{ср} = \frac{3}{4} BL$ – площадь, по которой происходит срез материала, BL – шкала твердости материалов Бринелля, мм²; $\sigma_{см}$ – напряжение смятия, Н/мм²; $S_{см} = \frac{2}{3} BL$ – площадь, по которой происходит смятие материала, BL – шкала твердости материалов Бринелля, мм².

В случае заедания прецизионной пары силу сопротивления перемещению определяют экспериментально, путем регистрации осевого усилия, прикладываемого при извлечении золотника из гильзы. При попадании в зазор частиц минерального происхождения, обладающих высокой твердостью и хрупкостью, усилие сопротивления в основном определяется прочностью частиц. Чем прочнее частицы, тем большую сжимаемую нагрузку они выдерживают, тем с большей силой они способны вызвать взаимное прижатие деталей, заклинивание их, и с более значительной силой внедряются в металл при царапании.

Определить нагрузку, выдерживаемую до разрушения абразивными, кварцевыми и другими твердыми частицами, можно с помощью установки, схема которой приведена на рис. 2 [17].

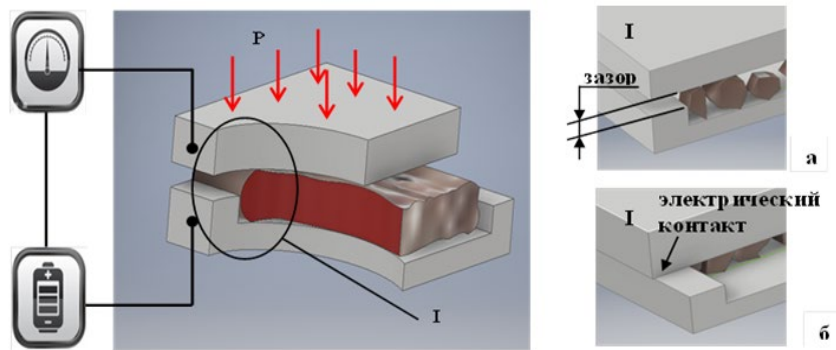


Рис. 2. Схема установки для определения разрушающей нагрузки твердых частиц до (а) и после (б) приложения нагрузки P

Результаты испытаний показывают, что для разрушения как единичных, так и нескольких (10 ... 15) одновременно помещаемых между плитками частиц кварца необходимы усилия 5 ... 25 Н. При этом разброс разрушающей нагрузки определяют не числом одновременно испытываемых частиц, а их прочностью.

Вследствие малой податливости частиц даже незначительная разность их размеров приводит к тому, что вся прикладываемая нагрузка воспринимается частицами по очереди. Вначале нагружаются наибольшие частицы, после их разрушения вся нагрузка воспринимается следующими за ними по размеру частицами и т.д. Поскольку при испытании 10 ... 15 частиц вероятность нахождения среди них совершенно одинаковых по размеру очень мала, разрушающая нагрузка практически не зависит от изменения числа испытываемых частиц.

Разрушающая нагрузка для единичных или нескольких электрокорундовых частиц имеет порядок 10 ... 20 Н. При одновременном испытании многих частиц (примерно 100) выдерживаемая ими до разрушения нагрузка возрастает до 300 Н. Очевидно, при испытании такого числа частиц весьма вероятно одновременное восприятие прикладываемой нагрузки сразу многими частицами.

Для определения взаимосвязи глубины царапин, образуемых на поверхностях различных по твердости металлов, с тангенциальным сопротивлением сдвигу, возникающим при их образовании, могут быть проведены эксперименты по царапанию плоских металлических образцов алмазной конусной пирамидой, применяемой в приборах по измерению твердости. Результаты таких испытаний показывают, что на силу трения при царапании существенное влияние оказывает твердость царапаемой поверхности. С увеличением твердости увеличивается и сила трения при одной и той же глубине царапания [7, 17].

При заклинивающем действии частиц, попадающих в зазор прецизионной пары, сила сопротивления перемещению деталей определяется размерами частиц, механическими свойствами их материала и материала деталей, если частицы превышают по твердости материал деталей. Наличие на поясках золотника сколов или просечек не только повышает вероятность попадания частиц в зазор, но и способствует попаданию между деталями частиц, размерами во много раз превышающими диаметральный зазор.

Силы сопротивления перемещению при заклинивающем действии частиц оценивают по силе сопротивления материала деталей при царапании или силе сопротивления материала частицы срезу и силе трения деталей под действием заклинивающей частицы. Если сила, необходимая для среза частицы в сечении площадью $S_{ср}$, $F_{ср} = \tau_{ср} S_{ср}$ меньше, чем силы, необходимые для смятия частицей материала золотника $F_{см} = \sigma_{см} S_{см}$ и гильзы $F_{см} = \sigma_{см} S_{см}$, сила сопротивления перемещению деталей может быть определена следующим образом:

$$F = \tau_{cp} S_{cp} (1 + f_3 \Delta / \delta),$$

где τ_{cp} – напряжение при сопротивлении материала частиц срезу, Н/мм²; f_3 – коэффициент трения между золотником и гильзой; Δ – диаметральный зазор золотниковой пары, мм; δ – расстояние между кромками золотника и гильзы при срезе частицы, мм.

Если прочность частицы на срез больше прочности материала деталей на смятие, сила сопротивления перемещению деталей определяется смятием (царапанием) материала детали, трением частицы в царапине, трением деталей золотниковой пары.

Следовательно:

$$F = \sigma_{cm} S_{cm} [\sin \varphi (1 - f_4 f_3) + \cos \varphi (f_4 + f_3)],$$

где σ_{cm} – напряжение при сопротивлении материала царапаемой детали смятию, Н/мм²; S_{cm} – площадь поперечного сечения царапины, мм²; f_4 – коэффициент трения между царапаемой деталью и частицей; $\varphi = \arctg \frac{h}{l}$, рад; h – глубина царапины, мм; l – длина площади контакта частицы и царапаемой детали, мм.

При наличии скосов сила сопротивления перемещению деталей определяется из условия, что S_{cm} – площадь проекции участков смятия деталей на плоскость, перпендикулярную оси золотника, φ – угол между плоскостью скоса и осью золотника. Массовое скопление твердых частиц в зазоре при эксплуатации гидроагрегатов – явление маловероятное, в случае его возникновения может произойти заклинивание деталей. Сила трения при этом может достичь нескольких сотен ньютонов, что сопровождается отказом регулирующего устройства гидроагрегата.

При оценке силы сопротивления перемещению в золотниковых парах периодического действия, в частности распределительных устройств деталей машин, необходимо учитывать возможность возникновения дополнительного трения из-за прижатия деталей неуравновешенной гидростатической силой. Как показали экспериментальные исследования, дополнительная сила сопротивления перемещению, возникающая по указанной причине, может достигать 60 % от силы трения, вызываемого заклинивающим действием частиц, что приводит к перегреву трущихся поверхностей [6, 13].

С учетом характера абразивного изнашивания (вначале прямое динамическое внедрение, а затем перемещение абразивной частицы относительно изнашиваемой поверхности) получена динамическая модель [9], которая включает в себя систему уравнений:

$$H = 10^3 \theta \gamma_p / (P f d h_a \rho K_a); \quad h_a = 0,16 \sqrt{P / HV_t};$$

$$HV_t = HV \Pi^{1/2} l_g \quad \theta = \frac{4 \alpha_t P_0 v_0 \sqrt{\alpha t}}{3 \sqrt{\pi} A_a \lambda} \times \left(1 - 0,8 \frac{t}{\Delta t} \right) \frac{t}{\Delta t};$$

$$\alpha_t = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2}} \right]^i; \tag{1}$$

$$K_a = HV_a / HV_t; \quad f = f_0 \frac{1}{p_0} \frac{|p_a - p_0| + 1}{K_a^k};$$

$$f_0 = 1,05 + 0,075 (HV_t - HV_a) / HV_a.$$

Для аустенитных сплавов:

$$f = f_0 \frac{1}{P_0} \frac{(p_a - p_0) + 1}{(0,25HV_a/HV^* - HV_t)^k}$$

где I – абразивная износостойкость, Мэ/Мо; $Mэ$ – потеря массы предмета в зависимости от материала; Mo – потеря массы испытуемого образца; θ_l – коэффициент температурной зависимости поверхностной энергии, $\frac{Дж}{мм^2К}$; γ_p – поверхностная энергия, Дж/мм²; f – коэффициент трения; f_0 – минимальный коэффициент трения; d – диаметр образца (по торцу), мм; h_a – глубина внедрения абразивной частицы, мм; ρ – плотность материала образца, г/см³; K_a – коэффициент абразивности; HV_t – твердость материала в зависимости от температуры; HV_{lg} – твердость при вдавливании; θ – температура в зоне контакта абразив – металл, °С; $\theta_{п}$ – температура плавления материала, °С; A_a – средняя площадь зоны контакта абразивных частиц/мм; p_0 – минимальное давление (для материала с HV 100 $p_0 = 6$ МПа); p_a – давление абразивных частиц на металл, МПа; k – показатель степени, зависящей от отношения твердости абразива и металла; λ_1, c_1, ρ_1 и λ_2, c_2, ρ_2 – теплопроводность, теплоемкость и плотность материала соответственно первого и второго тел, Вт/мК, Дж/К, г/см³; HV^* – твердость материала в аустенитном состоянии.

Система уравнений (1) проверена с помощью теоремы Кронекера – Капелли и правила Крамера [18]. В результате проверки установлено, что эта система совместна и имеет единственное решение. При ее использовании выполнены расчеты с применением компьютерной модели и определена абразивная износостойкость сталей разных классов (рис. 3).

Анализ расчетных и экспериментальных значений износостойкости показывает, что параметры, полученные практическими измерениями, в целом соответствуют расчетным значениям. Незначительное несоответствие расчетных и экспериментальных значений обусловлено погрешностью системы измерений, а также относительно ограниченной выборкой образцов. Увеличение твердости и поверхностной энергии деталей, подвергающихся абразивному изнашиванию, является основным и эффективным способом повышения их износостойкости [9].

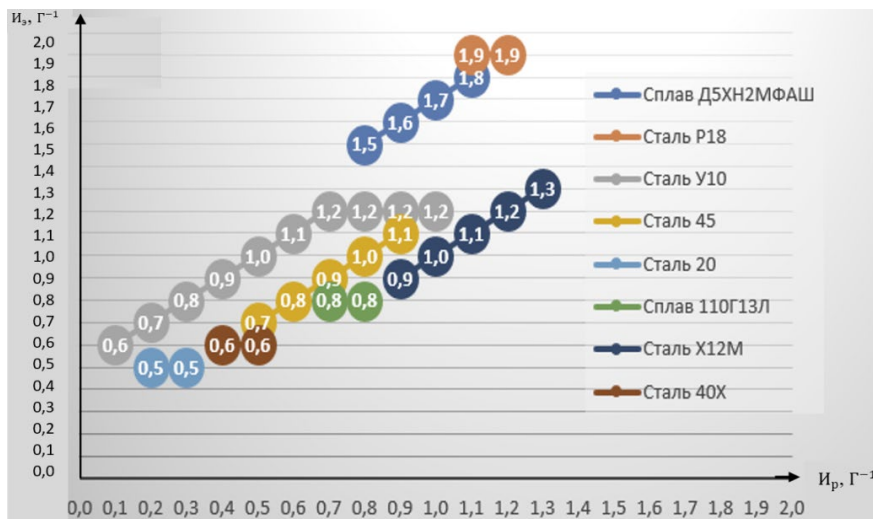


Рис. 3. Зависимости изменения экспериментальной $I_э$ и расчетной $I_р$ износостойкости сталей

Таким образом, на основе анализа следов механического взаимодействия деталей машин при оценке силы трения и нахождения направления их относительного перемещения можно определить время работы и время отказа, а также спрогнозировать ресурс данной трибологической пары при ее использовании в работе машин и механизмов. Вследствие того, что при трении поверхностей возникает нагрев и это приводит к механическому износу

трибологической пары, то на основе применения динамической модели абразивного износа можно подобрать необходимый материал для ее изготовления, в зависимости от условий влияния механического износа и условий применения деталей машин, тем самым повышая их ресурс работы.

Литература

1. Мур Д.Ф. Принципы и приложения трибологии. М., 1975. 272 с.
2. Есимото Г., Цукидзе Т. О механизме износа металлических поверхностей. 1958. № 6 П. С. 472–490.
3. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
4. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов: в 2-х ч. Ч. 1: Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.
5. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Metallurgy, 1974. 351 с.
6. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов: справ. пособие: в 3-х т. Т. II: Методы исследования механических свойств металлов / под общ. ред. А.Т. Туманова. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
7. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высш. шк., 1991. 320 с.
8. Шапочкин В.И. Износостойкость деталей машин. Волгоград: Перемена, 1994. 97 с.
9. Фадеев Л.Л., Албагачиев А.Ю. Повышение надежности деталей машин. М.: Машиностроение, 1993. 96 с.
10. Бишутин С.Г., Горленко А.О., Матлахов В.П. Износостойкость деталей машин и механизмов: учеб. пособие / под ред. С.Г. Бишутина. Брянск: БГТУ, 2010. 112 с.
11. Кузьменко А.Г. Прикладная теория методов испытаний на износ. Хмельницкий: ХНУ, 2007. 579 с.
12. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
13. Сорокин Г.М., Албагачиев А.Ю., Медеяев И.А. Экспериментальная установка для исследования поверхностной энергии металлов и сплавов // Трение и износ. 1986. № 5.
14. Олешко В.С., Пиговкин И.С. Оперативное определение поверхностной энергии металлических деталей авиационной техники // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 3.
15. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 465 с.
16. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
17. Разрушение: в 7-ми т. Т. 1: Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения: пер. с англ. / под ред. А.Ю. Ишлинского. М.: Мир, 1973. 514 с.
18. Мальцев И.А. Основы линейной алгебры. 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1970. 400 с.



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

УДК 656.13

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**О.В. Ложкина, доктор технических наук, профессор;
К.Б. Мальчиков.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Обосновывается актуальность вопроса необходимости учета выбросов загрязняющих атмосферу веществ, образующихся при эксплуатации маломерных судов, количество которых возрастает в Российской Федерации с каждым годом; проведен анализ российских и зарубежных исследований, посвященных инвентаризации и расчетному мониторингу выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов водным транспортом, в том числе маломерными судами; изучен международный и российский опыт в вопросе обоснования факторов эмиссии загрязняющих веществ для двигателей маломерных судов. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке методических подходов для расчетного мониторинга загрязнения окружающей среды маломерными судами.

Ключевые слова: водный транспорт, маломерные суда, выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов, загрязнение атмосферы, расчетный мониторинг

CURRENT STATE OF COMPUTATIONAL MONITORING AND FORECASTING DANGEROUS IMPACT OF EMISSIONS FROM RECREATIONAL BOATS ON THE ENVIRONMENT

O.V. Lozhkina; K.B. Malchikov.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The paper considers the need to account for and take inventory pollutants emissions from small boats, which number has been increasing in the Russian Federation every year. It also analyzes the Russian and Foreign studies concerning inventory and computational monitoring of pollutants and greenhouse gases emitted from vessels, including small boats. Moreover, the paper studies the International and Russian experience in the determination of the pollutants' emission factors for small boat engines. The results of the study can be used for the development of methods for the monitoring of environmental pollution by small boats.

Keywords: water transport, small boats, emissions of pollutants and greenhouse gases, air pollution, computational monitoring

Введение

В конце XX в. перед мировым сообществом встал острый вопрос ограничения выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) и парниковых газов, поглощающих и переизлучающих инфракрасное излучение и приводящих к изменению климата во всем мире.

Данная проблема имеет чрезвычайный и глобальный характер, в связи с чем от мирового сообщества потребовалось принять скоординированные решения на международном уровне по сокращению выбросов поллютантов и парниковых газов. В целях усиления контроля сокращения объемов выбросов таких веществ 13 ноября 1979 г. в г. Женеве была принята Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской Экономической Комиссии ООН (ратифицирована Президиумом Верховного Совета СССР 29 апреля 1980 г., и позже, в 1994 г., подтверждена Правительством Российской Федерации соответствующим протоколом) [1], 9 мая 1992 г. в г. Нью-Йорке принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата (ратифицирована Российской Федерацией Федеральным законом от 4 ноября 1994 г. № 34-ФЗ) [2] и 11 декабря 1997 г. Киотский протокол к ней (ратифицирован Российской Федерацией Федеральным законом от 4 ноября 2004 г. № 128-ФЗ) [3], направленный на стабилизацию концентраций парниковых газов в атмосфере, а 12 декабря 2015 г. 197 государств приняло в Париже международное соглашение [4], которое было направлено на обеспечение общего сокращения глобальных выбросов парниковых газов на принципах дифференциальной ответственности.

21 сентября 2019 г. Российской Федерацией было ратифицировано ранее подписанное Парижское соглашение (постановление Правительства Российской Федерации № 1228 [5]) и 4 ноября 2020 г. указом Президента Российской Федерации № 666 [6] Российская Федерация взяла на себя обязанность к 2030 г. сократить выбросы парниковых газов до 70 % относительно уровня 1990 г.

Реализация Российской Федерацией данных мировому сообществу обязательств предполагает наличие системы объективной оценки объемов выбросов загрязняющих атмосферу веществ, в связи с чем на территории Российской Федерации функционируют региональные системы мониторинга атмосферного воздуха, разработаны нормативные правовые акты, касающиеся требований к выбросам вредных и загрязняющих атмосферу веществ от стационарных и передвижных источников, а также методики их расчетов, законодательно закреплена обязанность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную деятельность на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, проводить инвентаризацию выбросов ЗВ от стационарных и передвижных источников инструментальными и расчетными методами.

Данных мер по учету выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ на сегодняшний день недостаточно. Существующая система учитывает объемы выбросов, исходящих не от всех видов передвижных источников, – удовлетворительной можно признать инвентаризацию выбросов от автомобильного и железнодорожного транспорта. В отличие от стационарных источников загрязнения, объем вредных выбросов, от которых отслеживается на основании отчетности определение объемов выбросов от передвижных источников, осуществляется расчетным путем. Исходными данными для расчета и учета объемов вредных выбросов на сегодняшний момент являются сведения, касающиеся отдельных видов передвижных источников: количество зарегистрированных транспортных средств (ТС), установленные факторы эмиссии поллютантов для учетных категорий ТС, количество израсходованного при их эксплуатации топлива [7].

В то же время следует признать, что в отношении водного транспорта на территории Российской Федерации до сих пор нет официально утвержденных методических подходов для учета выбросов, эмитируемых в окружающую среду судами [8].

В городах Российской Федерации и мира с развитой системой внутреннего судоходства (Санкт-Петербурге, Москве, городах Поволжья, Венеции, Амстердаме и многих других) маломерные суда, наряду с автотранспортом, становятся значимыми источниками выбросов ЗВ в атмосферный воздух и сброса в водную среду [9, 10].

В последнее время на территории Российской Федерации наблюдается значительный рост зарегистрированных маломерных судов с двигателями внутреннего сгорания, эксплуатация которых приводит к выбросам ЗВ и парниковых газов и непосредственному загрязнению гидросферы (табл. 1).

Таблица 1. Сведения о государственной регистрации моторных маломерных судов, используемых в некоммерческих целях по данным Государственной инспекции по маломерным судам МЧС России

Год	Состоит на учете моторных маломерных судов, ед.	Зарегистрировано моторных маломерных судов, ед.
2010	956 083	147 977
2011	1 011 222	134 759
2012	1 037 473	110 498
2013	1 023 920	95 671
2014	1 060 246	62 755
2015	1 047 190	55 067
2016	1 052 550	52 482
2017	1 024 647	49 143
2018	1 067 935	46 078
2019	1 038 054	48 940
2020	1 046 234	46 192

В связи с вышесказанным представляется актуальным изучение российского и зарубежного опыта в области инвентаризации и расчетного мониторинга выбросов ЗВ и парниковых газов маломерными судами.

Анализ международного опыта в части обеспечения экологической безопасности при эксплуатации маломерных судов

Достаточно обширное исследование влияния различных ЗВ, в том числе оксидов азота NO_x , которые образуются в результате эксплуатации моторных маломерных судов, провели голландские исследователи: Саския К. ван дер Зее, Марика Б.А. Дейкема, Йорит ван дер Лаан и Джерард Хук. Исследования заключались в измерении концентрации вредных веществ в пяти различных местах г. Амстердама и сопоставлении совокупного влияния на величину измеренной концентрации воздействия как внутреннего водного транспорта (прогулочные и экскурсионные туристические катера, круизные суда, грузовые суда), так и автомобильного транспорта [11].

Исследователи Т.А. Бирнс и Р. Дж. К. Данн в своей работе [12] делятся австралийским опытом уменьшения степени воздействия на окружающую среду вредных выбросов речных и морских судов посредством административно-управленческих мер, например, запрета якорной стоянки или водных видов спорта с использованием моторных плавсредств на особо охраняемых природных территориях. В работе также обращается внимание на сложность контролирования выбросов от маломерных судов, так как данный вид транспорта не привязан к конкретным маршрутам, а судовладельцы не обязаны вести реестры загрязнений, в отличие от морских судов, эксплуатация которых подпадает под юрисдикцию Международной конвенции по предотвращению загрязнений с судов от 2 ноября 1973 г. и нормативно-правовых актов Австралии в области загрязнения водоемов.

В 2005 г. компания Sonoma Technology Inc., США, в лице сотрудников С.Б. Рида, Д.К. Салливана, П.С. Стифера и Л.Р. Чинкина разработала кадастровую карту выбросов ЗВ в девяти центральных штатах (Техасе, Оклахоме, Луизиане, Канзасе, Арканзасе, Миссури, Небраске, Айове и Миннесоте), где в сильной степени развиты речная и морская транспортные

системы [13]. При создании кадастра использовалась модель EPA (Environmental Protection Agency, Агентство по охране окружающей среды при Правительстве США). Входные данные для моделирования, включающие количество зарегистрированных в указанных штатах судов, были дополнены более объективными, полученными посредством анкетирования 1 400 судовладельцев о характеристиках судов, времени эксплуатации, расходе топлива и т.д., а также данными о потреблении топлива, полученными от федеральной электроэнергетической корпорации «Управление долины Теннесси», данными Центра статистики водной торговли Корпуса инженеров армии США, занимающегося отслеживанием движения судов, данными Морского управления Министерства транспорта США, составляющим базы данных водных путей и регистрирующим прибытие/убытие судов в порты.

В табл. 2 приведены предложенные в работе [13] факторы эмиссии ключевых поллютантов в зависимости от мощности и частоты вращения двигателя.

Таблица 2. Факторы эмиссии ЗВ судовых двигателей [13]

Двигатель, категория	Мощность (кВт) или частота вращения двигателя	Факторы эмиссии (г/кВт·ч)				
		CnHm*	NO _x	CO	PM**	SO ₂
1	37–75	0,27	11	2,0	0,9	1,29
	75–130	0,27	10	1,7	0,4	1,29
	130–225	0,27	10	1,5	0,4	1,29
	225–450	0,27	10	1,5	0,3	1,29
	450–560	0,27	10	1,5	0,3	1,29
	560–1 000	0,27	10	1,5	0,3	1,29
	1 000+	0,27	13	2,5	0,3	1,25
2 и 3	Средняя	0,5	12	1,6	0,25	1,25/13,46°
	Медленная	0,5	17	1,4	1,48	12,50

Примечания: *CnHm – углеводороды; **PM – Particulate Matter (мелкодисперсные взвешенные частицы)

В докладе о выбросах прогулочных лодок [14] Национального водного совета Нидерландов – органа управления водными ресурсами страны – приводится методика оценочного расчета выбросов в окружающую среду, производимых маломерными судами разных типов. Значения факторов эмиссии монооксида углерода, неметановых летучих органических соединений и оксидов азота были обоснованы с учетом Руководства Европейского агентства по охране окружающей среды (ЕМЕР/EPA). В табл. 3 приведены значения удельных выбросов основных поллютантов в водную среду.

Таблица 3. Удельные выбросы в водную среду ЗВ двигательными установками маломерных судов [14]

Двигатель	Факторы эмиссии (г/кВт·ч)		
	PM*	ЛОС**	Бенз(а)пирен
2-тактный	0,28	90	0,000033
2-тактный (LE)	0,16	30	0,000011
4-тактный	0,04	3,6	0,000013

Примечания: * PM – Particulate Matter (мелкодисперсные взвешенные частицы); ** ЛОС – летучие органические соединения

Анализ российского опыта в сфере контроля и мониторинга загрязнения окружающей среды маломерными судами

В Российской Федерации многолетние работы по исследованию загрязнения окружающей среды выбросами судов проводятся в Санкт-Петербурге под руководством профессора А.А. Иванченко [15–18] и в г. Астрахани под руководством профессора М.Н. Покусаева [19–22].

Доктор технических наук, профессор А.А. Иванченко (ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. О.С. Макарова») провел расчетные исследования загрязнения воздушного бассейна судами в акватории Санкт-Петербурга и выявил зависимость увеличения концентрации в воздухе оксидов азота от опасных метеорологических условий. Проводимые исследования выполнялись для однопалубных сухогрузных теплоходов, рефрижераторных теплоходов, полнопалубных пассажирских теплоходов, грузопассажирских теплоходов, пассажирских теплоходов внутреннего плавания [15].

В своих работах профессор А.А. Иванченко также предлагает ввести, наряду с техническими мерами, комплекс административно-организационных мероприятий, направленных на мониторинг загрязнения атмосферы на территориях, прилегающих к местам движения и стоянки водного транспорта, на перераспределение грузовых и пассажирских потоков с учетом экологической обстановки (вынос рейдов прибытия за границы населенных пунктов), и создать инфраструктуру для подключения судов к береговому электропитанию в границах городов, что по прогнозам должно привести к снижению вредных выбросов судов в жилой зоне на 22–25 % [16].

Кроме того, в работах ученого обосновано использование судовой лазерной системы мониторинга выбросов оксидов азота и серы, менее трудоемкой и более оперативной, чем традиционные, и позволяющей осуществлять непрерывный контроль концентраций вредных веществ [17].

Исследования профессора А.А. Иванченко также посвящены вопросу нормирования выбросов ЗВ при эксплуатации речных и морских судов [18]. Проведенный им анализ указывает, что на расчетную величину выбросов ЗВ большое влияние оказывает конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна (ККЭЭ), величина которого, соответственно, зависит от различных конструктивно-эксплуатационных характеристик судна (водоизмещение, мощность двигателя, расход топлива, применение на судне технологий использования энергии отводящего тепла и др.). Коэффициент ККЭЭ учитывает в оценке энергоэффективности судов выбросы таких ЗВ, как углекислый газ CO_2 , и имеет размерность $\text{г} \cdot \text{CO}_2 / \text{т} \cdot \text{милю}$. На сегодняшний день методики расчета ККЭЭ периодически изменяются и не подходят для некоторых типов судов (газовозы и накатные суда для перевозки транспорта) [18].

Экспериментальные исследования по измерению вредных выбросов с отработавшими газами от подвесных моторов маломерных судов различных производителей проводились под руководством доктора технических наук, профессора М.Н. Покусаева (ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет») [19, 20].

Исследования под руководством профессора М.Н. Покусаева коснулись также оценки непосредственного загрязнения гидросферы нефтепродуктами при эксплуатации подвесных лодочных моторов маломерных судов [21–23]. В работе [23] приведены результаты исследования широкого используемого судового двигателя ЯМЗ-238М2. Они представлены в табл. 4.

Таблица 4. Удельные выбросы CO и NO_x судового двигателя ЯМЗ-238М2 [23]

ЧВКВ*	Удельный выброс CO (г/кВт·ч)			
	700	800	900	1 000
Холостой ход	10,21	9,05	9,21	10,72
Под нагрузкой	4,07	2,51	1,72	1,14
ЧВКВ*	Удельный выброс NO _x (г/кВт·ч)			
	700	800	900	1 000
Холостой ход	1,31	2,11	1,06	0,79
Под нагрузкой	2,23	2,38	2,45	7,56

Примечание: * ЧВКВ – частота вращения коленчатого вала

Заключение

Следует отметить, что методы инструментального контроля отражают кратковременное фактическое фоновое состояние окружающей среды, а расчетные методики определения выбросов от всех основных видов передвижных источников, в том числе от маломерных судов, позволят прогнозировать перспективное состояние окружающей среды и оценивать эффективность управленческих мероприятий в сфере повышения экологической безопасности транспортных систем. Кроме того, последствия выбросов могут иметь трансграничный характер, когда выброс ЗВ происходит в одном месте, а наступление их вредных последствий в другом, что еще в большей степени делает актуальной необходимость их учета и контроля.

В связи с отсутствием официальных методик для инвентаризации выбросов двигательными судовыми установками и полноценной информационной базы факторов эмиссии (удельных выбросов) ЗВ и парниковых газов для водного транспорта в Российской Федерации, целесообразно для расчетного мониторинга и прогнозирования загрязнения воздушной среды как в локальных, так и региональных пространственно-временных масштабах использовать зарубежные данные и методические подходы после их адаптации применительно к отечественным условиям эксплуатации моторных плавсредств, а также результаты научных исследований российских специалистов.

Объективный учет поллютантов и парниковых газов от всех видов передвижных источников позволит производить адекватную оценку их негативного влияния на окружающую среду, здоровье населения, а также будет способствовать соблюдению взятых Российской Федерацией обязательств по снижению выбросов ЗВ.

Литература

1. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния от 13 нояб. 1979 г. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
2. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата от 9 мая 1992 г. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
3. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата от 11 дек. 1997 г. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
4. Парижское соглашение от 12 дек. 2015 г. // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542655698> (дата обращения: 21.05.2021).
5. О принятии Парижского соглашения: постановление Правительства Российской Федерации от 21 сент. 2019 г. № 1228 // Правительство России. URL: <http://government.ru/docs/37917/> (дата обращения: 07.06.2021).
6. О сокращении выбросов парниковых газов: Указ Президента Рос. Федерации от 4 нояб. 2020 г. № 666 // Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45990> (дата обращения: 07.06.2021).

7. Об утверждении Порядка организации работ по оценке выбросов от отдельных видов передвижных источников: распоряжение Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 1 нояб. 2013 г. № 6-р // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/499073959> (дата обращения: 10.06.2021).
8. Перечень методик, используемых в 2020 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (утв. 19 дек. 2019 г. Генеральным директором ОАО «НИИ Атмосфера»).
9. Ложкина О.В., Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Прогнозирование и мониторинг загрязнения воздуха автомобильным и водным транспортом в крупных городах-портах Севастополе, Владивостоке, Санкт-Петербурге // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 1–8.
10. Ложкина О.В., Ложкин В.Н., Артемьев И.А. Экспериментально-численные исследования загрязнения воздуха круизными судами и автотранспортом в районе пассажирского порта «Морской фасад Санкт-Петербурга» // Технологии построения когнитивных транспортных систем: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2018. С. 111–115.
11. S.C. van der Zee, M.B.A. Dijkema, J. der Laan, G. Hoek. The impact of inland ships and recreational boats on measured NO_x and ultrafine particle concentrations along the waterways // Atmospheric Environment. 2012. V. 55. P. 368–376.
12. T.A. Byrnes, R.J. K. Dunn. Boating- and Shipping-Related Environmental Impacts and Example Management Measures: A Review // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. V. 8 (11). P. 908.
13. Development of Emission Inventories of Recreational Boats and Commercial Marine Vessels for the Central States Regional Air Planning Association / S.B. Reid, D.L. Coe [et al.]. 2005. Available at: URL: <https://www.researchgate.net/publication/237633364>.
14. Exhaust from recreational boats. Emission estimates for diffuse sources Netherlands Emission Inventory. NETHERLANDS NATIONAL WATER BOARD – WATER UNIT in cooperation with DELTARES and TNO. 2008. Available at: URL: <http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Water/Factsheets/English/Exhaust%20from%20recreational%20boats.pdf> (дата обращения: 24.05.2021).
15. Иванченко А.А. Снижение чрезвычайного воздействия водного транспорта на атмосферу городской среды // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 90–93.
16. Иванченко А.А., Костылев И.И., Приходько И.В. Системный подход к предотвращению загрязнения атмосферы транспортом // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 2 (81). С. 26–30.
17. Туркин А.В., Туркин В.А., Иванченко А.А. Применение лазерных технологий для оценки токсичности отработавших газов судовых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-1 (39). С. 111–116.
18. Иванченко А.А., Петров А.П., Живлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. О.С. Макарова. 2015. № 3. С. 103–112.
19. Покусаев М.Н., Букин В.Г., Хмельницкая А.А. Экспериментальное исследование вредных выбросов подвесного лодочного мотора «Ветерок-8М» в малом опытовом бассейне // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4 (42). С. 105–109.
20. Покусаев М.Н., Хмельницкая А.А. Испытания подвесных моторов маломерных судов по измерению вредных выбросов с отработавшими газами // Научные проблемы водного транспорта. 2017. Вып. 51. С. 181–187.
21. Оценка экологической безопасности двухтактных подвесных лодочных моторов маломерных судов / М.Н. Покусаев [и др.] // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2019. № 4 (41). С. 100–106.

22. Экспериментальная оценка загрязнения гидросферы нефтепродуктами подвесным лодочным мотором «Ветерок-8М» / М.Н. Покусаев [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. 2018. 58. С. 55–61.

23. Хмельницкая А.А. Загрязнение окружающей среды выхлопными газами маломерных судов: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань: АГТУ, 2019. 176 с.

УДК 622.235.5

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛЬПОРОВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

**С.И. Дорошенко, кандидат технических наук,
заслуженный военный специалист Российской Федерации,
лауреат Государственной премии им. Г.К. Жукова.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

А.С. Иванов.

АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург.

А.Н. Хазов.

ООО «Промстройвзрыв», Санкт-Петербург

Показана актуальность применения взрывчатых веществ. На основании экспериментально изученных характеристик принципиально нового взрывчатого состава на основе пироксилиновых порохов обоснована эффективность их применения при ликвидации пожаров и в чрезвычайных ситуациях. Подтверждена безопасность применения гельпора. При планировании использования взрывчатых веществ необходимо провести системный анализ для оценки и определения эффективности выбранного взрывчатого вещества и технологии его применения. При одинаковой массе заряда возникает давление большее в детонационных и ударных волнах с одновременным увеличением времени действия, сопровождаемое высоким давлением и увеличенным временным показателем на объекты разрушения, что является абсолютной новизной действия взрыва.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, ликвидация пожара, гельпор, экологическое воздействие

SYSTEM ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF GELPORS IN EMERGENCY SITUATIONS

S.I. Doroshenko. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.S. Ivanov. JSC «NPP» Radar mms», Saint-Petersburg.

A.N. Khazov. LLC «Promstroyvzryv», Saint-Petersburg

The relevance of the use of explosives is shown. Based on the experimentally studied characteristics of a fundamentally new explosive composition based on pyroxylin powders, the effectiveness of their use in the elimination of fires and in emergency situations is justified. The safety of gelpor application has been confirmed. When planning the use of explosives, it is necessary to conduct a systematic analysis to assess and determine the effectiveness of the selected explosive and the technology of its use. With the same mass of the charge, a greater pressure arises in detonation and shock waves with a simultaneous increase in the duration of action, accompanied by high pressure and an increased time index on the objects of destruction, which is an absolute novelty of the explosion action.

Keywords: emergency situations, fire extinguishing, gelpore, environmental impact

Во многих случаях при устранении последствий аварийных ситуаций нельзя обойтись без использования взрывчатых веществ (ВВ).

На практике используется широкий спектр ВВ. В настоящее время актуальны не только безопасные, но одновременно и эффективные ВВ. В том числе, немаловажно получить одновременно и более низкую стоимость изготовления.

При планировании использования ВВ необходимо провести системный анализ для оценки и определения эффективности выбранного ВВ и технологии его применения.

Одним из таких недавно разработанных ВВ является гелепор.

Инновационным типом промышленных ВВ являются гелепоры, изготовленные из порохов пироксилина (ПП), извлеченных из перерабатываемых боеприпасов, что снижает их стоимость.

Водно-гелевые ВВ ПП были впервые разработаны [1] и усовершенствованы [2–4] в России. Пороха пироксилина, извлеченные из боеприпасов с истекшим сроком годности, могут использоваться как компоненты промышленных ВВ (ПВВ). Применение таких ПВВ показало повышенную эффективность при добыче полезных ископаемых, а также при разрушении конструкций из бетона и других инженерных работах, проводимых с использованием взрыва [5].

Для подтверждения эффективности ПВВ на водно-гелевой основе, а так же для оценки их взрывчатых свойств были организованы экспериментальные исследования параметров детонации и работоспособности.

Для оценки чувствительности и опасности ПВВ при эксплуатации были проведены испытания ВВ на предмет воздействия пожаров, электростатической безопасности и воздействия стрелкового оружия.

Состав гелепоров марки ГП-2У и ГП-2Д [2, 3, 5–12] представлен в табл. 1, основные характеристики ПВВ на водно-гелевой основе – в табл. 2.

Затем был разработан модифицированный состав ГП-Т [4].

Таблица 1. Состав гелепоров

Основные компоненты	Содержание компонента, %		
	ГП-2У	ГП-Т	ГП-2Д
Порох пироксилиновый	35	40	48
Натрий азотнокислый	5,5	5	5,0
Алюминиевая пудра	0	4	0
Вода	10	10	10
Карбамид	3,5	3	3,0
Селитра аммиачная	46	38	34
Структурирующий элемент, сверх 100 %	0,15	0,15	0,15
Гелеобразующая добавка – полиакриламид, сверх 100 %	0,5	0,5	0,5

Таблица 2. Основные характеристики ВВ на водно-гелевой основе

Наименование характеристик	Тип ВВ			
	ПДГВ	ГП-2У	ГП-2Д	ГП-Т
Теплота взрыва, кДж/кг	4620	3790	3580	4150
Плотность, г/см ³	1,55	1,45	1,45	1,46
Скорость детонации, км/с	7,0	4,9–5,0	5,6	6,2–6,6
Кислородный баланс, %	-14,0	-9	-9	-9
Объем газов, л/кг	820	878	844	853
Критический диаметр, мм	–	18–20	8–10	12–14

Составы порохов на водно-гелевой основе представляют собой смесь пороховых элементов (гранулированных порохов и/или их частиц) с водным гелем, заполняющим пространство между указанными элементами. Также были проведены исследования ряда марок порохов семиканального пироксилина (состав приведен в табл. 3) с гелеобразными водными растворами (водные гели) на основе полиакриламида (ПАА), которые использовались в качестве заполнителя.

Таблица 3. Состав водных гелей на основе ПАА

Компонент	Содержание, % масс.		
	состав № 1	состав № 2	состав № 3
NH ₄ NO ₃	45	50	–
NaNO ₃	15	20	–
N ₂ H ₄ CO	10	–	–
H ₂ O	30	30	61,34
CaCl ₂	–	–	38,66
ПАА*	1,2	1,2	1,2

* Сверх 100 %

Также были выполнены работы по оценке влияния состава водного геля на детонационную способность ВВ в целом. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Таблица 4. Критический диаметр пороховых составов с учетом используемого наполнителя

Наполнитель	Плотность наполнителя, г/см ³	Критический диаметр, мм
Состав № 1	1,38±0,02	8–10
Состав № 2		10–12
Состав № 3		20–22

Состав № 1 (с использованием водного геля, содержащего как окислитель, так и топливо) показал наибольшую детонационную способность среди всех рассматриваемых составов. Состав № 2 (с применением в составе водного геля-окислителя) показал снижение вдвое критического диаметра детонации пороховых водно-гелевых композиций (ПВГС). Состав № 3 (с использованием в качестве наполнителя – инертного водного геля) показал стабильную детонацию при нагрузках 20–22 мм.

Одновременное введение в состав заряда горючего и окислителя обеспечивает сохранение детонационной способности при значительном (почти вдвое) снижении содержания в заряде ПП. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об участии наполнителя на водно-гелевой основе в процессе детонации. Исследование механизма детонационного процесса проводилось электромагнитным методом [13].

Типичный профиль детонационной волны для взрывчатого состава Аммонит № 6 ЖБ показан на рис. 1 а, а характерные диаграммы изменения давления в волне детонации для ПВГС на основе ПП и составов № 1, № 2 и № 3 (на водно-гелевой основе) соответственно на рис. 1 б.

Усредненные параметры (минимум по трем опытам) детонационной волны для каждого состава представлены в табл. 5.

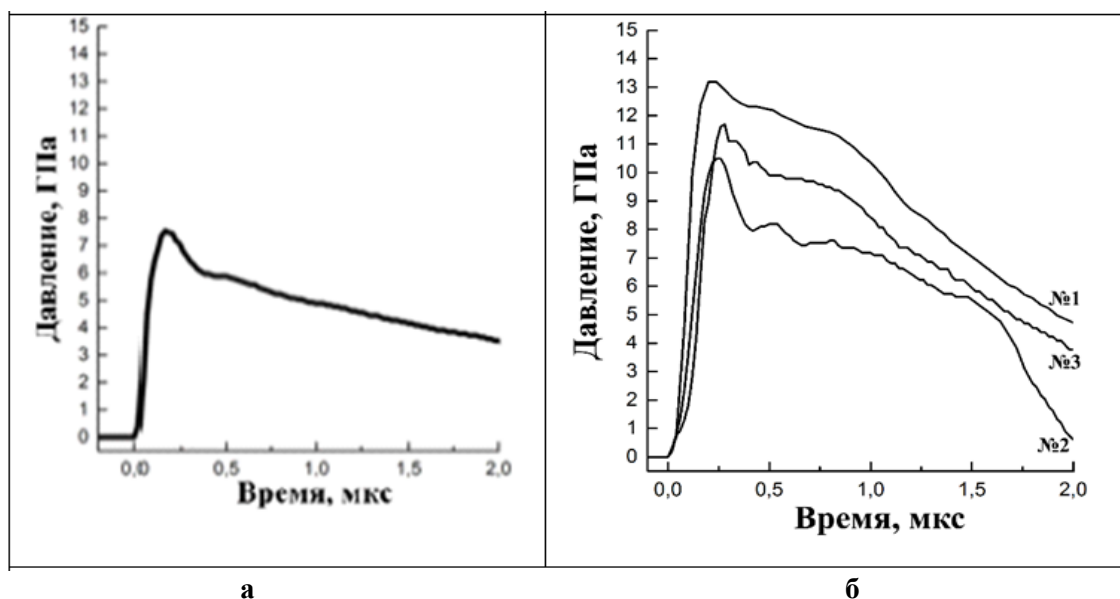


Рис. 1. Типовые профили изменения давления в детонационной волне:
 а) Аммонит № 6 ЖВ; б) № 1 (ПП/Состав № 1 63/37); № 2 (ПП/Состав № 2 63/37);
 № 3 (ПП/Состав № 3 63/37)

Таблица 5. Параметры детонации пороховых составов
 в зависимости от используемого наполнителя

Водный гель	ρ , г/см ³	d_3 , мм	D, км/с	P_{max} , ГПа
Состав № 1	1,42	20,4	6,56	15,17
Состав № 2			5,86	10,28
Состав № 3			5,67	10,29

Анализ результатов описанных выше экспериментов позволяет предложить последовательность процессов, протекающих в волне детонации порохового водно-гелевого заряда.

Структура заряда представляет собой композицию из двух компонентов – зерен порошка пироксилина, детонирующего при определенных условиях, и энергоемкого водного геля, содержащего окислитель и, в некоторых случаях, горючее. Под действием ударной волны в зернах порошка происходит детонация, которая распространяется через элементы пороха со скоростью, не зависящей от состава водного раствора геля. В этом случае часть энергии, высвобождаемой при детонации элементов пороха, поглощается водой в геле, что приводит к замедлению или прекращению роста давления во фронте детонационной волны. При этом давление и температура, создаваемые детонацией указанного пороха, обеспечивают протекание детонации гелевого заряда, что увеличивает время действия детонационной волны, а, как следствие, приводит к увеличению времени воздействия высокого давления на разрушаемые объекты.

Данные особенности развития детонационных процессов в ПВГС оказывают существенное влияние, в частности, на характеристики ВВ.

Результаты исследований взрывных характеристик гелевых зарядов ПВВ изложены в ряде статей [4, 8–12]. В этих работах проведен сравнительный анализ воздействия взрывов зарядов ПВВ в зонах разрушения и в зонах негативного влияния ударных волн. Можно сделать вывод, что для ВВ на водно-гелевой основе эффективней эталонных. Сравнительный характер воздействия в зонах негативного влияния ударных волн при небольшом расстоянии до поражаемого объекта повышает эффективность геляпора.

Характеристики безопасности гелепоров

Гельпоры являются водосодержащими ВВ и представляют собой композицию гранулированных или трубчатых порохов пироксилина и раствора гелеобразных окислителей. Промежуточные детонаторы гексогенсодержащие водонаполненные (ПДГВ) состоят из механической смеси гелепора (до 70 % по массе) и шашек гексогенсодержащих составов типа А-ХІ-2.

Основные взрывчатые характеристики ВВ и гелепоров приведены в табл. 6.

Сравнительная характеристика безопасности эталонных и гелевых ПВВ представлена в табл. 6.

Таблица 6. Сравнительные характеристики безопасности типовых ВВ

Характеристика	ТНТ	6 ЖВ	ГП-Т	ГП-2У	ГП-2ДП
Чувствительность к импульсу	ЭД, ДШ	ЭД, ДШ	ЭД	ДШ	ЭД, ДШ
Температура вспышки, °С	300	330	175	175	175
Чувствительность к удару, %	20–24	16–32	–	–	–
Переход горения в детонацию	–	–	нет	нет	нет
Электростатичность	–	–	–	нет	нет
Прострел пульей, м	–	–	–	25	25
Пыление	среднее	высокое	нет	нет	нет
Токсичность	высокая	высокая	нет	нет	нет
Водоустойчивость	высокая	средняя	высокая	высокая	высокая

Основные направления применения гелепоров:

- заряды для тушения пожаров в лесных условиях;
- заряды для разрушения ледовых заторов;
- заряды для стесненных условий (в городской застройке, подземных условиях);
- заряды для подводных условий.

Анализ показывает, что ВВ на гелевой основе являются наиболее эффективными применяемыми на сегодняшний день промышленными ВВ. При одинаковой массе заряда имеют большее давление в детонационных и ударных волнах с одновременным увеличением времени действия при высоком давлении на объекты разрушения, что является абсолютной новизной действия взрыва. При этом гелепоры обладают слабовыраженной, по сравнению с ПВВ (аммонит № 6 ЖВ), ударной волной для кораблей в зоне поражения, что делает их более безопасными при применении в промышленности (замкнутые пространства).

На основании проведенных исследований можно сделать выводы:

- для ликвидации ледовых заторов, тушения лесных пожаров, мероприятий при ЧС в стесненных условиях следует применять ВВ на гелевой основе;
- линейка уже разработанных составов позволяет провести подбор необходимого ВВ на гелевой основе под конкретные задачи;
- гелепоры обеспечивают безопасность личного состава при применении, на удалениях значительно меньшем по сравнению с аналогами (3–4 раза), что позволяет применять их в стесненных условиях городской застройки;
- целесообразно применять заряды гелепора в облегченных корпусах (пластик) в качестве полезной нагрузки для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в таком качестве применять при устройстве заградительных полос в ходе борьбы с лесными пожарами, разрушения ледовых заторов, рыхления льда при ледоходе, при этом высокий тротиловый

эквивалент-2 сыграет значительную роль наряду со сниженными безопасными расстояниями в том числе для БПЛА;

– применение БПЛА с данными зарядами экономически обоснованы по причине простоты возможного взрывателя, отсутствия промежуточных детонаторов (гельпоры детонируют от КД-8), сравнительной безопасности рассматриваемого ВВ, повышенной работоспособности.

Литература

1. Водосодержащий пороховой состав: пат. № 2183209 Рос. Федерация / В.Э. Анников [и др.]; опубл. 10.06.02. URL: <http://allpatents.ru/> (дата обращения: 04.02.2021).
2. Способ утилизации взрывчатых материалов: пат. № 2232739 Рос. Федерация / В.Э. Анников, В.А. Олейников [и др.]; заявл. 27.06.03; опубл. 20.07.04. URL: <http://allpatents.ru/> (дата обращения: 04.02.2021).
3. Способ изготовления порохового водосодержащего состава: пат. № 2253642 Рос. Федерация / В.Э. Анников, Б.Н. Кондриков, В.А. Олейников [и др.]; заявл. 15.12.03; опубл. 10.06.05. URL: <http://allpatents.ru/> (дата обращения: 04.02.2021).
4. Об особенностях детонации и взрывного воздействия на горные породы пороховых взрывчатых веществ на гелевой основе / В.Э. Анников [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Т. 12. С. 318–324.
5. Апин А.Я. О детонации порохов // Опыт использования пироксилиновых порохов на инженерных работах: сб. статей. Киев: Изд-во АН УССР, 1952. С. 83–96.
6. Белин В.А., Смагин Н.П., Дорошенко С.И. Экспериментальные исследования характеристик ПВМ на гелевой основе // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. Взрывное дело: сб. науч. трудов. 2007. № 8. С. 143–148.
7. Физические основы, технологические схемы и экономические показатели применения гелевых ПВВ / В.А. Белин [и др.] // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: сб. докладов. М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2007. С. 216–220.
8. Гельпор – мечта горняка?! / И.В. Бригадин [и др.] // Некоторые результаты испытаний // Физические проблемы разрушения горных пород: сб. трудов IV Междунар. науч. конф. М.: ИПКОН РАН, 2005. С. 391–394.
9. Эффективность применения ПВМ на гелевой основе в инженерном деле / С.И. Дорошенко [и др.] // Записки Горного института. Физические проблемы разрушения горных пород: V Междунар. науч. конф. СПб.: СПГИ (ТУ), 2007. Т. 171. С. 150–152.
10. Некоторые особенности параметров подводных взрывов ПВМ на гелевой основе / С.И. Дорошенко [и др.] // Физические проблемы разрушения горных пород: сб. трудов IV Междунар. науч. конф. М.: ИПКОН РАН, 2005. С. 394–397.
11. Водосодержащий пороховой взрывчатый состав: пат. № 2521637 Рос. Федерация / С.И. Дорошенко, В.А. Белин, Н.П. Смагин [и др.]; заявл. 14.03.11; опубл. 10.07.14. URL: <http://allpatents.ru/> (дата обращения: 10.02.2021).
12. Дорошенко С.И. Модель энерговыделения при взрыве ПВМ на гелевой основе // Записки Горного института. Физические проблемы разрушения горных пород: V Междунар. науч. конф. СПб.: СПГИ (ТУ), 2009. Т. 180. С. 125–129.
13. Зайцев В.М., Похил П.Ф., Шведов К.К. Электромагнитный метод измерения скорости продуктов взрыва // Доклады АН СССР. 1960. 132(6):1339–1340.

УДК 623.1, 623.67, 614.8, 519.8

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО РАЗМИНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ФОРТИФИКАЦИОННОГО ИСКУССТВА

В.А. Седнев, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации. Академия ГПС МЧС России.

А.В. Седнев.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

На основе анализа факторов, влияющих на организацию разминирования территорий от взрывоопасных предметов, разработан научно-методический подход применения пиротехнических подразделений для разминирования территории памятника фортификационного искусства и поддержки принятия решения должностных лиц на организацию и обеспечение безопасности проведения работ по разминированию территорий памятников фортификационного искусства.

Ключевые слова: памятник фортификационного искусства, разминирование территории, безопасность, управление

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH OF THE ORGANIZATION MINE CLEARANCE OF THE TERRITORY MONUMENT OF FORTIFICATION ART

V.A. Sednev. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.V. Sednev. Moscow state technical university them. N.E. Bauman (National research university)

On the basis of the analysis of the factors influencing the organization of mine clearance of territories from explosive objects, the scientific and methodological approach of application of pyrotechnic units for mine clearance of the territory of the monument of fortification art and support of decision-making of officials on the organization and ensuring safety of work on mine clearance of the territories of monuments of fortification art is developed.

Keywords: monument of fortification art, mine clearance, security, management

Научной задачей исследования является разработка алгоритма организации пиротехнических работ и планирования применения организационно-штатных структур пиротехнических подразделений (на примере МЧС России) с целью обеспечения безопасности при разминировании территорий памятников фортификационного искусства. Например, территория крепости «Керчь», где долгое время размещались военные части, была усыпана различными взрывоопасными предметами, – перед началом Великой Отечественной войны здесь хранились запасы артиллерийских снарядов, фугасных бомб, гранат, боеприпасов различных типов. Преимуществом крепости являлось подземное расположение большинства сооружений. В связи с этим крепость включала множество подземных и надземных казематов, складов. При этом крепость «Керчь» располагается в непосредственной близости от городской черты.

Анализ факторов, влияющих на организацию разминирования территории памятника фортификационного искусства (на примере крепости «Керчь»)

Первое русское укрепление на берегу Керченского пролива возникло в 1771 г. [1], когда эти земли были присоединены к России. На небольшом мысе была построена батарея «Павловская», но, как показала практика в ходе Крымской войны, она была малоэффективна и даже захвачена. На ее месте французские войска построили укрепленный лагерь и находились до июня 1856 г. [2].

После окончания Крымской войны в марте 1856 г. был подписан Парижский мирный договор, согласно которому Черное море объявлялось нейтральным, а Россия не могла иметь здесь флот. В то же время вступивший на престол за год до этого император Александр II, понимая опасность южным областям страны в случае потери этого стратегического пункта, реализовал мероприятия по укреплению пролива.

К 1865 г. от оконечности Павловского мыса параллельно фарватеру было насыпано искусственное основание и на нем возвели морскую батарею № 1 на 17 орудий (рис. 1). Всего здесь располагались четыре батареи, а у них в тылу – две мортирные батареи. Над Павловской бухтой была расположена еще одна пушечная батарея, а на оконечности мыса Ак-Бурун – береговая батарея № 1.

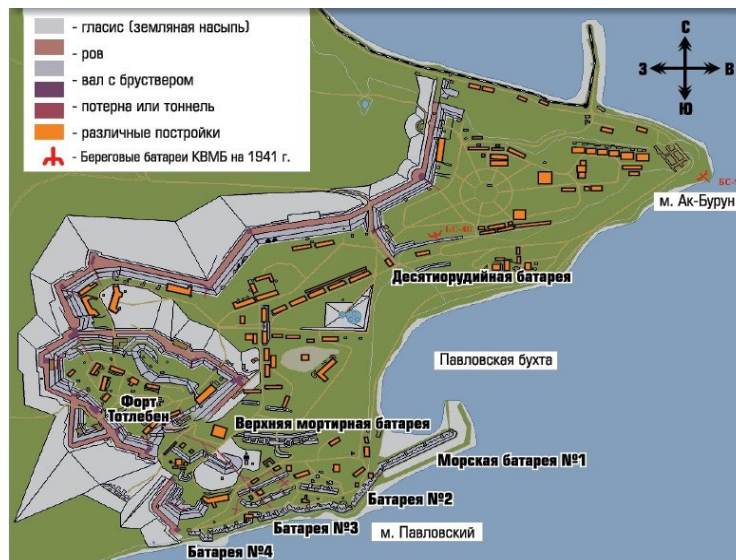


Рис. 1. Расположение объектов крепости «Керчь»

К маю 1863 г. на укреплениях были установлены две трехпудовые бомбовые пушки, пятьдесят две 60-фунтовые и три 36-фунтовые пушки, 24-, 12- и 6-фунтовые пушки, пудовые и полупудовые единороги, двух- и пятипудовые мортиры. С конца 1860-х гг. гладкоствольные пушки стали вытесняться нарезными 8-дм (203-мм) береговыми пушками. К началу 1877 г. в крепости кроме гладкоствольных имелось 15 единиц 11-дм (279,4 мм), 12 единиц 9-дм (228,6 мм) и 33 единицы 8-дм (203,2 мм) пушек образца 1867 г., 19 единиц 24-фунтовых пушек и 38 единиц 6-дм мортир [3]. В дальнейшем арсенал пополнялся 9-дм (229 мм) береговыми пушками, мортирами и 11-дм (280 мм) береговыми пушками обр. 1867 и 1877 г. Пять пороховых погребов вместимостью 22 тыс. пудов пороха обеспечивали запас на 56 тыс. выстрелов для орудий. К 1877 г. крепость «Керчь» была законченной постройкой и приведена в боевое положение [4]. В 1907 г. в крепости стали размещаться резервные запасы армии, а в 30-е гг. XX в. возведены артиллерийские и зенитные позиции.

В результате боев с немецко-фашистскими войсками 16 ноября 1941 г. склады крепости с 3–4 тыс. т крупнокалиберных морских снарядов и авиабомб достались противнику, однако из-за стремительного развития Керченско-Феодосийской десантной операции немцы оставили их невредимыми.

Весной 1942 г. авианалеты на город заставили перевести большинство подразделений Крымской военно-морской базы (КВМБ) в крепость. В ночь на 16 мая склады были по большей части взорваны.

В послевоенные годы крепость использовалась как склад вооружения и имущества Черноморского флота. В 2003 г. крепость была передана Керченскому государственному историко-культурному заповеднику, что позволило приступить к изучению крепости и разминированию ее территории.

В системе задач МЧС России важная роль отводится специалистам пиротехнических подразделений, основной задачей которых является производство взрывных работ и разминирование взрывоопасных предметов. При этом разминирование предполагает [5] полное удаление инженерных боеприпасов, минометных мин, артиллерийских снарядов, мин-ловушек, самодельных взрывных устройств, неразорвавшихся взрывчатых предметов из определенного района местности; разведку (обнаружение), извлечение или уничтожение мин, зарядов, неразорвавшихся боеприпасов, взрывоопасных устройств и очистку от них местности, акватории, сооружений и других объектов.

Это должно достигаться путем разработки и применения управленческих процессов, приобретения и совершенствования профессиональных навыков руководителями и специалистами по вопросам разминирования, получения точной и своевременной информации об угрозах, связанных с минами и взрывоопасными предметами, применения безопасных и эффективных оперативных процедур и использования надежного оборудования [6].

Задачами пиротехнических подразделений являются: обезвреживание авиационных бомб и фугасов и гуманитарное разминирование; подготовка сил и средств по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС); разведка маршрутов и участков работ, в том числе на наличие взрывоопасных предметов, и др. Пиротехнические подразделения также привлекаются к решению задач инженерного обеспечения: взрывания элементов конструкций и конструкций деревянных, кирпичных, каменных, бетонных и железобетонных стен и зданий; взрывных работ в грунтах и разрушения льда; поиска взрывоопасных предметов и др. [7].

В МЧС России командиры пиротехнических подразделений должны знать типы и калибры современных и применявшихся в Великую Отечественную войну авиационных боеприпасов, их устройство, порядок обезвреживания и уничтожения; основные свойства взрывчатых веществ и средств взрывания; уметь производить подрывные работы всеми способами и др.

Специалисты пиротехнических подразделений должны знать виды и типы авиационных боеприпасов; уметь производить подрывные работы огневым и электрическим способом взрывания, проделывать проходы и разминировать участки местности ручным способом и др.

Анализ организации работ по разминированию памятника фортификационного искусства крепости «Керчь»

Многочисленные несчастные случаи из-за продолжавшей оставаться значительной засоренности крепости взрывоопасными предметами в конце 40-х гг. XX в. вынудили руководителей г. Керчи обратиться к военному командованию с просьбой о выделении подразделений для ускорения работ по сбору и уничтожению неприбранных боеприпасов [8].

Первый период разминирования города – апрель 1944 г. – конец 1946 г. включал работы по очистке жилой зоны и ближайших земельных угодий. Воины Одесского военного округа сняли и обезвредили на освобожденной территории округа около 1 млн 300 тыс. артиллерийских снарядов и других взрывоопасных предметов, проверили более 100 тыс. кв. км территории, свыше 55 тыс. км железных и шоссейных дорог, 2 669 населенных пунктов. Обучением бойцов-минеров из числа добровольцев, которых было подготовлено около 10 000, занимались 500 опытных военнослужащих.

Второй период охватывает 1960–1998 гг., когда разворачивалось интенсивное жилищное строительство и восстанавливались производственные мощности. Этот период характерен сплошной ликвидацией взрывоопасных предметов с применением инженерной техники и механизации. В этот период, в силу влияния объективных причин (длительность прошедшего времени с момента окончания боевых действий, изменения в физических свойствах местности и предметов на ней), участились случаи получения криминального доступа к взрывоопасным предметам и вооружению времен войны.

Третий этап – к операции по уничтожению боеприпасов в крепости в 2015 г. приступили специалисты МЧС России. Цель работ: сделать памятник фортификационного строительства безопасным. Перед пиротехниками была поставлена задача очистить 240 га от взрывоопасных предметов. При этом территория крепости была усыпана различными взрывоопасными предметами.

Основным способом очистки территорий от взрывоопасных предметов является ручной способ, при этом он может применяться как самостоятельно, так и в комбинации с другими способами. Работа проводится с помощью миноискателей. При ручном способе работ за один технологический цикл пиротехником проводится проверка и очистка участка рабочей полосы на ширину базового маркера 1 м и на глубину до 30 см впереди от него.

Также пиротехнические работы по очистке местности проводятся с помощью робототехнического комплекса (РТК) разминирования MV-4, который способен за один час пройти полтора километра. Робот может выдержать взрыв до 4 кг в тротиловом эквиваленте.

Специалистам приходится работать в сложных условиях: на склонах, поросших растительностью, отвесных скалах, в тесных штольнях.

С 2015 по 2017 гг. специалистами отряда Центра по проведению спасательных операций особого риска «Лидер» МЧС России было обследовано [9] более 120 га. Более 7 000 опасных находок относилось к периодам Великой Отечественной войны, русско-турецкой войны, обороны пролива между Черным и Азовским морями. С июня 2017 г. был обследован участок крепости площадью 50,31 га. В результате найдено 15 997 взрывоопасных предметов, среди которых артиллерийские снаряды, патроны и авиационные бомбы.

В 2018 г. обезврежено 80 292, а в 2019 г. – 6 411 взрывоопасных предметов. В состав группы по разминированию входило 25 специалистов, в том числе пиротехники, кинологи, водолазы, специалисты робототехнического управления, медицинский сотрудник, специализированная техника.

При этом в результате взрыва могут возникнуть вторичные ЧС и поражающие факторы от взрывоопасных предметов, в том числе пожары (при взрыве взрывоопасных предметов, в здании, степной пожар и др.).

Основные способы и методы очистки территории от взрывоопасных предметов

Очистка местности от взрывоопасных предметов включает [10–14]: организацию разведки местности; поиск и уничтожение взрывоопасных предметов; организацию выполнения задач по выявлению и уничтожению взрывоопасных предметов; учет и отчетность по выполненным задачам.

Сплошная очистка местности проводится на площадях, где установлено наличие взрывоопасных предметов, и ведется ячейковым способом (ячейки, боксы размером 50x50 или 25x50), ячейки, боксы разбиваются на рабочие полосы шириной 1 м. Пиротехнический расчет при ручном разминировании обычно состоит из двух человек, один из которых назначается старшим.

Перед началом работ командир пиротехнической группы:

- проводит инструктаж личного состава группы по требованиям безопасности под личную роспись;
- проверяет исправность металлодетекторов, средств индивидуальной защиты и другого оборудования с записью результатов в лист проверки;
- определяет каждому расчету рабочий участок, по возможности с привязкой к хорошо видимым ориентирам;

– в пределах рабочего участка указывает каждому пиротехническому расчету начало первой рабочей полосы, при этом интервал между полосами соседних расчетов должен составлять не менее 25 м (50 м);

– проверяет связь с расчетами, врачом.

По команде командира пиротехнической группы все расчеты приступают к выполнению работ. При этом пиротехник, работающий в данное время на рабочей полосе, является первым номером расчета, а второй пиротехник – вторым номером. Он находится на удалении не менее 25 м (50 м) от первого номера в месте, с которого хорошо видны действия первого номера, ведет за ним непрерывное наблюдение в готовности немедленно вмешаться в случае нарушения первым номером технологических процедур и требований безопасности.

В качестве базовой технологии очистки ручным способом рекомендуется выполнение пиротехником следующих рабочих процедур:

– тщательный визуальный осмотр указанного участка рабочей полосы с целью обнаружения взрывоопасных предметов, расположенных на поверхности грунта, а также выступающих из земли фрагментов взрывоопасных предметов и других подозрительных предметов;

– очистка участка от растительности (если требуется) с применением соответствующего режущего инструмента;

– проверка участка с помощью металлодетектора.

Если металлодетектор подает сигнал, то пиротехник:

– уточняет с помощью щупа и прибора местоположение источника сигнала. Щуп должен погружаться в грунт под углом не более 30 градусов, при шаге 3,5–4,0 см максимальная глубина обследования грунта до 10–12 см;

– откапывает и идентифицирует с помощью необходимого шанцевого инструмента обнаруженный объект.

При обнаружении взрывоопасного предмета пиротехник в 15–20 см перед ним с проверенной территории устанавливает минный маркер, останавливает работу, докладывает командиру пиротехнической группы и выходит в безопасное место. Командир пиротехнической группы направляется к месту обнаружения взрывоопасного предмета и после его идентификации дает команду на прекращение работы на соседних полосах, оповещает медицинский персонал о месте обнаружения взрывоопасного предмета и напоминает ему порядок действий при оказании первой медицинской помощи. После идентификации взрывоопасного предмета командир пиротехнической группы принимает решение об его уничтожении (обезвреживании, утилизации).

При этом уничтожение ряда боеприпасов осуществляется в местах их обнаружения. К ним относятся:

– боеприпасы, инженерные мины и взрывчатые устройства всех типов, установленные в неизвлекаемое или необезвреживаемое положение;

– боеприпасы всех типов с магнитными, акустическими, сейсмическими и другими неконтактными взрывателями с источниками питания и переведенными в боевое положение;

– самодельные взрывные устройства с элементами необезвреживаемости и неизвлекаемости;

– взрывоопасные предметы, не поддающиеся идентификации.

Неизвестные боеприпасы уничтожаются на месте после того, как они идентифицированы и имеется уверенность в том, что они не являются химическими, биологическими, с обедненным ураном, боеприпасами объемного взрыва. Если имеется возможность, взрывоопасные предметы должны быть уничтожены или переданы для уничтожения в день обнаружения.

При подготовке участков местности с применением механических средств (РТК MV-4) используется та же организация работ, что и при ручном способе. Дополнительно к ним оборудуется стоянка для механических средств, площадка для их осмотра, а также пункт ремонта и технического обслуживания.

При очистке местности механическими средствами применяется следующая технология выполнения работ:

- проводится рекогносцировка участка выполнения работ;
- оборудуется административная зона;
- прокладывается маршрут выхода (полоса доступа) машин к опасной территории;
- оборудуется полоса безопасности вдоль опасной территории;
- подлежащая очистке площадь разбивается на рабочие участки, размер которых выбирается исходя из возможности визуального наблюдения оператора за машиной разминирования;
- непосредственно выполняются работы с применением машин разминирования последовательно на всех размеченных участках.

При челночной схеме машина совершает возвратно-поступательные движения, смещаясь после каждого прохода влево (вправо) на ширину захвата рабочего органа (рис. 2).

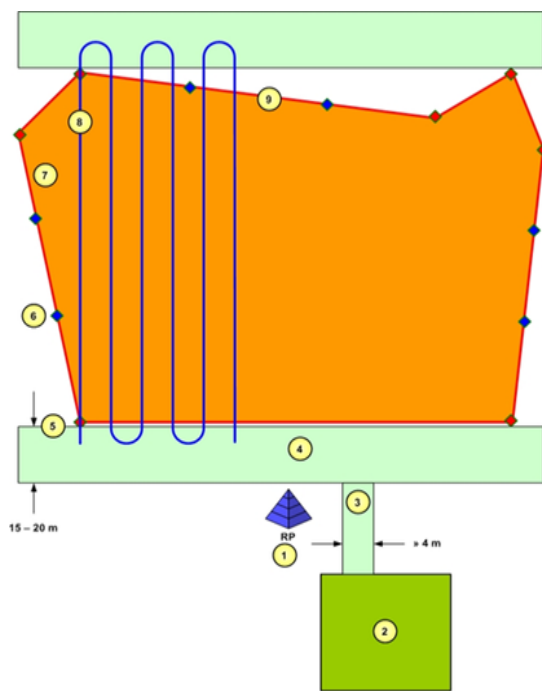


Рис. 2. Схема работы РТК MV-4 на рабочей площадке:

1 – точка отсчета; 2 – административная зона; 3 – полоса доступа; 4 – полоса безопасности (полоса для разворота машины); 5 – точка поворота; 6 – промежуточная точка; 7 – опасная территория; 8 – направление движения машины; 9 – граница опасной территории

При любой схеме подготовки территории должно обеспечиваться перекрытие протраливаемых машиной полос для исключения пропусков взрывоопасных предметов (рис. 3).

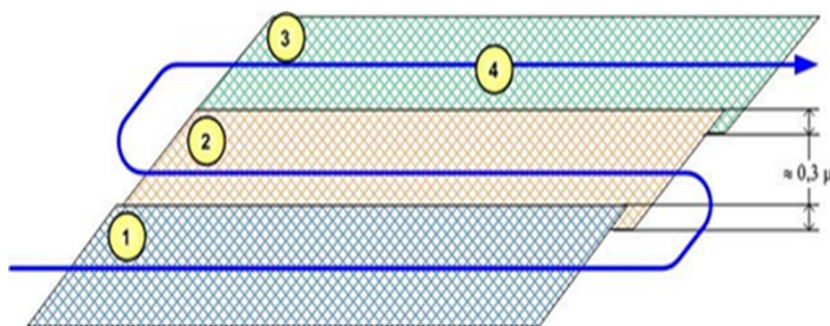


Рис. 3. Схема рабочих полос РТК MV-4:

1, 2, 3 – номера рабочих проходов машины; 4 – направление движения машины

При выполнении работ с использованием механических средств:

– должны соблюдаться минимальные безопасные расстояния:

а) между работающим механическим средством и расчетами ручного разминирования (персонал в средствах индивидуальной защиты) – не менее 150 м;

б) между оператором в средствах индивидуальной защиты и работающим радиоуправляемым средством подготовки территории – не менее 100 м, при этом машина всегда должна находиться в зоне прямой видимости оператора;

в) между двумя защищенными механическими средствами – не менее 50 м;

г) для персонала без средств персональной защиты и персонала, непосредственно не задействованного в операциях механической очистки, – 250 м;

д) каждая рабочая полоса должна перекрываться, по крайней мере, на 0,3 м;

– перед началом работ машины с тралами байкового типа должны быть отодвинуты не менее чем на 10 м от исходного положения, на котором они остановились ранее, чтобы гарантировать надлежащее перекрытие территории;

– командир группы должен подробно записать все взрывы и видимое выбрасывание взрывоопасных предметов;

– при осуществлении очистки с помощью механических средств вся поврежденная или разрушенная этими средствами маркировка должна быть восстановлена после окончания механической очистки;

– при выходе из строя механического средства на полосе очистки все работы прекращаются, расчеты ручного разминирования проделывают проход к неисправному механическому средству, по которому производится эвакуация оператора и самого средства;

– в случае повреждения машины от взрыва взрывоопасных предметов устранение повреждения производится непосредственно на рабочей полосе после очистки подходов к ней и вокруг нее или в пункте ремонта и технического обслуживания;

– при полном выходе машины из строя организуется ее эвакуация;

– запрещается производить работы при отсутствии связи между оператором механического средства и командным пунктом.

Проведение работ по разминированию осуществляется в следующем порядке. Командир отряда ставит задачу группам (расчетам) разминирования на проделывание главных проходов и их обозначения в полном объеме. Проделав и обозначив главные проходы, командир отряда (группы) разминирования определяет задачи групп (расчетов) разминирования и ставит им задачи на проделывание вспомогательных проходов.

Участки расчетам разминирования, по границам которых через каждые 150–180 м проделываются вспомогательные проходы, назначаются на всю глубину зоны. Протяженность участка разминирования по фронту определяется составом расчета, при этом каждому саперу назначается на всю глубину участка своя ячейка шириной 45–50 м.

Границы ячеек разминирования, в которых выполняют поставленную задачу саперы, обозначаются указателями, устанавливаемыми на главном проходе (исходном положении) и на вспомогательном проходе, противоположном главному. Эти указатели снимаются после сдачи командиром расчета очищенного от взрывоопасных предметов участка командиру группы разминирования.

Установив личные указатели, номера расчета занимают около них исходное положение и, по команде командира «К поиску – ПРИСТУПИТЬ», начинают каждое движение в направлении ранее установленного указателя границы своей ячейки. В ходе перемещения сапер проделывает проход шириной 1,0–1,5 м, по границам которого устанавливает через каждые 10–15 м белые флажки, одновременно служащие дополнительными ориентирами границ его ячейки.

Во время поиска сапер проверяет местность миноискателем, щупом и визуально. После выхода к вспомогательному (главному) проходу номер расчета возвращается по проверенной полосе местности к передней границе своей ячейки. При этом он повторно проверяет ее миноискателем и визуально.

При обследовании полосы местности, смежной с уже проверенной полосой (проделанным проходом), номер расчета снимает ранее установленные справа (слева) от себя белые флажки и обозначает ими новую границу.

При завершении обследования своих ячеек всеми номерами расчета расчет начинает работу с новой исходной линии, совпадающей с вспомогательным проходом. На каждую ячейку назначается по два сапера расчета, при этом один сапер ведет поиск взрывоопасных предметов, а второй, находясь на безопасном расстоянии, контролирует его действия. Смена саперов осуществляется через каждые 25–30 мин по команде командира расчета.

При получении сигнала миноискателя сапер проверяет грунт щупом и осторожно послойно удаляет землю сбоку от источника сигнала. По освобождению обнаруженного предмета от грунта до степени, позволяющей идентифицировать объект как взрывоопасный предмет, номер расчета, не производя с ним никаких действий, докладывает об этом командиру расчета. Место обнаружения взрывоопасного предмета обозначается красным флажком. Флажок устанавливается в 10 см от обнаруженного взрывоопасного предмета, со стороны проверенной местности.

Получив доклад сапера об обнаружении взрывоопасного предмета, командир расчета немедленно доводит эту информацию до командира группы разминирования, который осматривает взрывоопасный предмет с целью его идентификации и принятия решения на дальнейшие действия. Сапер во время работы командира группы разминирования по идентификации взрывоопасного предмета отходит от него на безопасное расстояние.

В случаях, когда командир группы разминирования затрудняется с идентификацией взрывоопасного предмета, он докладывает об этом командиру отряда разминирования, который выполняет эту операцию или привлекает к ней необходимого специалиста.

При обнаружении противопехотных осколочных мин командир группы разминирования дает команду на прекращение работы и выход всех номеров на исходное положение. Мины с натяжными и обрывными датчиками цели уничтожаются с помощью «кошек». Противопехотные мины с нажимными датчиками цели уничтожаются взрывом контактных зарядов на месте их обнаружения в конце рабочего дня командой (расчетом) взрывников.

Противотанковые мины, артиллерийские снаряды и аналогичные им взрывоопасные предметы, после их идентификации и определения возможного состояния, обезвреживаются или уничтожаются в установленном командиром отряда (группы) разминирования и согласованное с органами местного самоуправления время командой взрывников.

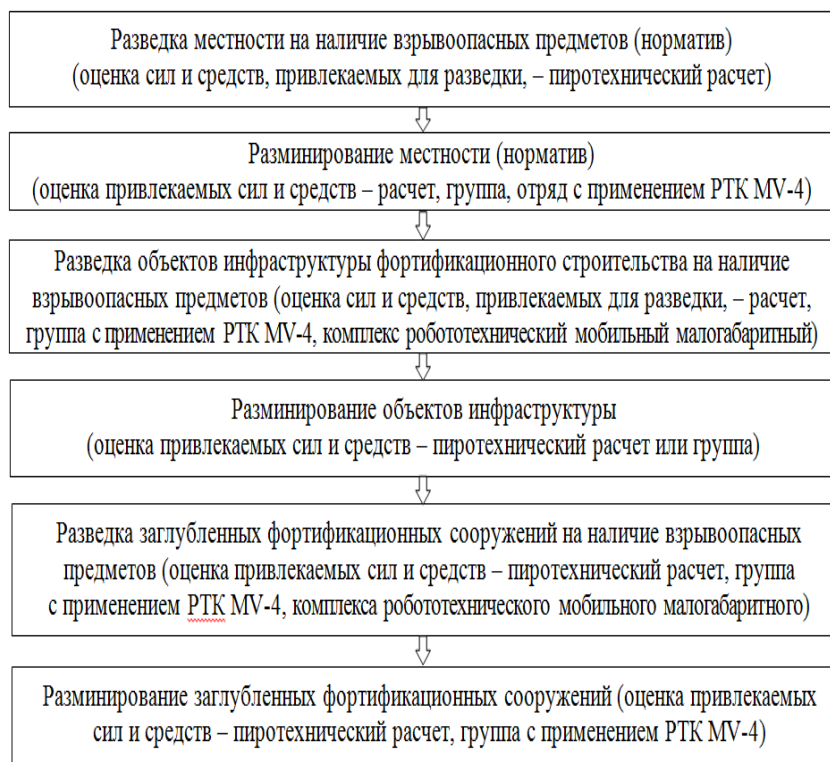
Мины различного назначения с элементами самоликвидации и мины дистанционной установки обезвреживанию не подлежат и уничтожаются на месте их обнаружения. Несмотря на применение робототехнических комплексов при проведении пиротехнических работ, основным способом очистки территорий от взрывоопасных предметов является ручной способ.

Алгоритм организации и обеспечения безопасности проведения пиротехнических работ при разминировании территории памятника фортификационного искусства

Предлагаемый алгоритм состоит из семи блоков (рис. 4):

- анализ факторов, влияющих на организацию разминирования территории памятника фортификационного искусства;
- обоснование и планирование применения организационно-штатной структуры пиротехнических подразделений [15–16];
- определение сил и средств применительно к единичному нормативу, выбор способа очистки местности и объектов инфраструктуры [17–30];
- оценка последствий возможного взрыва;
- организация ликвидации пожара;
- определение сил и средств для обеспечения выполнения работ пиротехническими подразделениями.

II. Обоснование и планирование применения организационно-штатной структуры пиротехнических подразделений

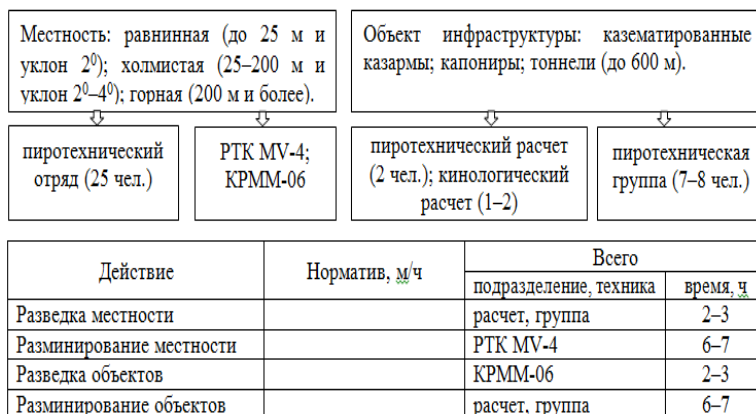


III. Определение сил и средств применительно к единичному нормативу

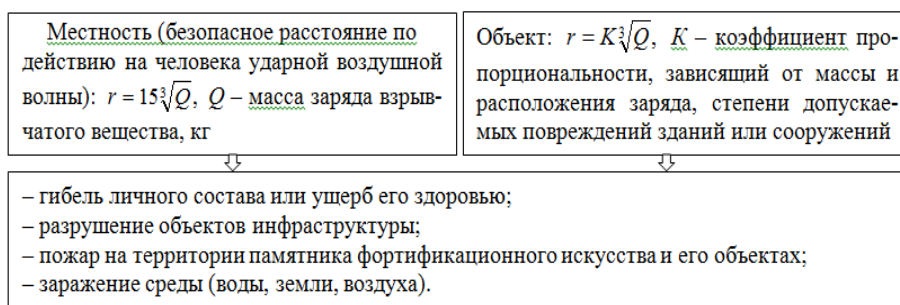
Подразделение или численность личного состава	Наименование техники
Разведка местности на наличие взрывоопасных предметов	
пиротехнический расчет – 2 чел.	–
Разминирование местности от взрывоопасных предметов	
пиротехнический отряд – 25 чел.	комплекс робототехнический мобильный малогабаритный КРММ-06, РТК MV-4 – 1-2 расчета
Разведка объектов инфраструктуры фортификационного строительства на наличие взрывоопасных предметов	
пиротехнический расчет – 2 чел.; кинологический расчет	средства доставки
Разминирование объектов инфраструктуры фортификационного строительства	
пиротехническая группа – 7 чел.; кинологический расчет	средства доставки
Разведка заглубленных фортификационных сооружений на наличие взрывоопасных предметов	
пиротехнический расчет – 2 чел.; кинологический расчет	средства доставки
Разминирование заглубленных фортификационных сооружений	
пиротехнический расчет – 2-4 чел.; кинологический расчет	средства доставки

Рис. 4. Алгоритм организации и обеспечения безопасности проведения пиротехнических работ при разминировании территории памятника фортификационного искусства (продолжение)

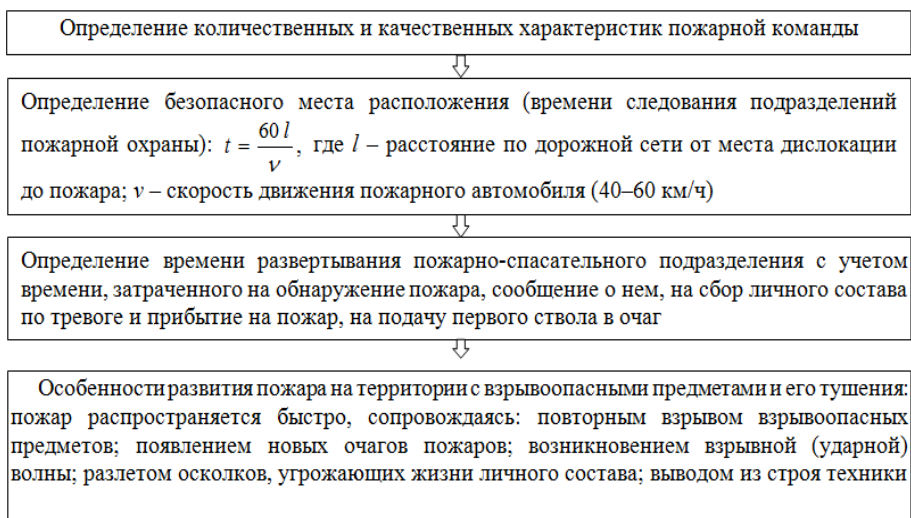
IV. Выбор способа очистки местности и объектов инфраструктуры



V. Оценка последствий возможного взрыва



VI. Организация ликвидации пожара



VII. Определение сил и средств для обеспечения выполнения работ пиротехническими подразделениями

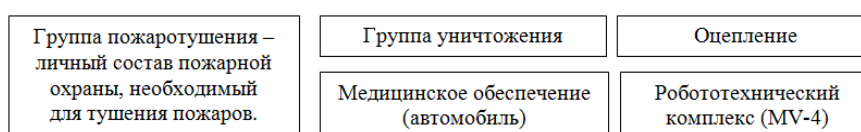


Рис. 4. Алгоритм организации и обеспечения безопасности проведения пиротехнических работ при разминировании территории памятника фортификационного искусства (окончание)

Предложения по повышению эффективности работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства

Предложения по созданию противоминного центра

Для повышения эффективности разминирования территорий памятников фортификационного искусства от взрывоопасных предметов предлагается создать отдельный противоминный центр (рис. 5).

В состав противоминного центра могут входить пять отделов и три группы:

- два пиротехнических отдела для очистки местности с современными средствами ведения разведки и разминирования;
- робототехнический отдел для проведения работ по обезвреживанию, локализации и транспортировки взрывоопасных предметов с использованием робототехнических средств;
- кинологический отдел для поиска взрывоопасных предметов с применением расчетов минно-розыскной службы (МРС), а также поиска пострадавших поисково-спасательными расчетами (ПСР). Минно-розыскные собаки применяются для: разведки путей движения на наличие взрывоопасных предметов; дополнительной проверки проходов, оставшихся после разведки местности, на наличие взрывоопасных предметов; контроля качества очистки местности от взрывоопасных предметов; обследования участков местности, зданий и отдельных помещений на наличие взрывоопасных предметов, и др.

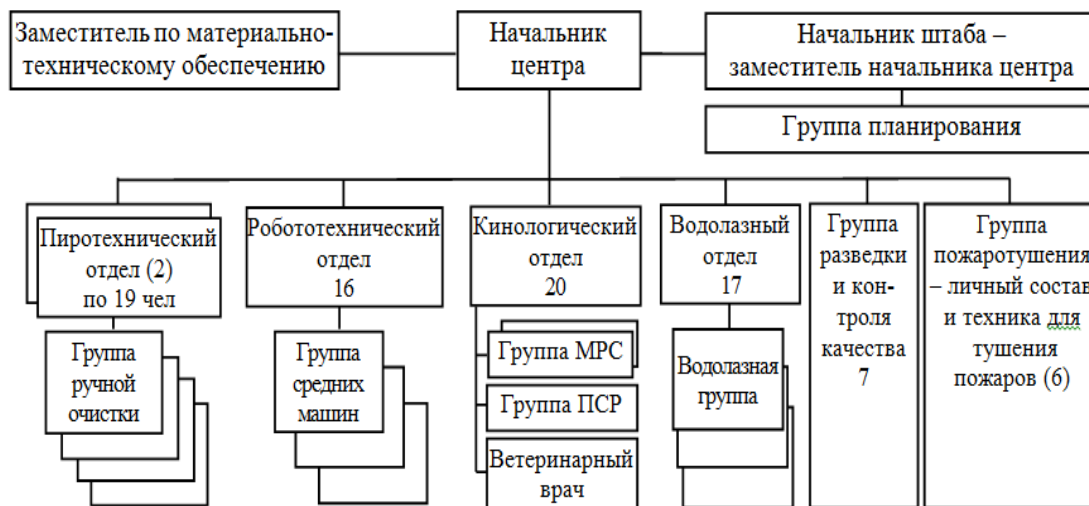


Рис. 5. Организационно-штатная структура противоминного центра

– водолазный отдел для поиска взрывоопасных предметов с использованием специального инструмента в акваториях памятников фортификационного искусства. Любой обнаруженный на грунте предмет неизвестного происхождения и состояния считается опасным и подлежит уничтожению. Во всех случаях, когда позволяет обстановка, обнаруженные взрывоопасные предметы должны подрываться на месте без подъема их на поверхность, а если их обезвреживание на месте не позволяют обстоятельства, производится подъем и буксировка к месту разоружения или уничтожения;

– группа разведки и контроля качества для определения территории, подлежащей разминированию, и осуществления постоянного контроля над эффективностью выполнения работ по разминированию местности. Качество выполнения работ проверяется командиром пиротехнической группы, при этом ежедневно должно быть проверено не менее 5 % очищенной за день территории. Проверка качества очистки местности от взрывоопасных предметов проводится путем проверки контрольных выборок. Как правило, их объем составляет не менее

10 % очищенной территории и зависит от размеров площади очищенной территории, площади выборок для проведения контроля качества очищенной территории;

– группа пожаротушения для ликвидации пожара в случае возникновения взрыва при проведении работ по разминированию;

– группа планирования для планирования выполнения работ и обоснования временных организационно-штатных структур для выполнения задач.

Противоминный центр позволит повысить эффективность работ по разминированию территорий памятников фортификационного искусства.

Предложения по повышению эффективности действий пожарно-спасательных сил при проведении работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства от взрывоопасных предметов

В случае взрыва взрывоопасного предмета при проведении работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства могут возникнуть пожары, другие вторичные ЧС и поражающие факторы. При одновременном возникновении нескольких чрезвычайных событий сил и средств будет недостаточно для реагирования на них, снижения возможного ущерба для населения и находящихся вблизи объектов инфраструктуры. Поэтому разработаны предложения по повышению эффективности действий пожарно-спасательных сил при проведении работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства (табл.).

Таблица. **Модели развития пожара при проведении работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства**

№ п/п	Модели развития пожара	Силы и средства для ликвидации пожара
1.	Локальный пожар при взрыве взрывоопасного предмета	Пиротехники (РТК MV-4) и группа пожаротушения
2.	Пожар в зданиях и сооружениях	Группа пожаротушения
		Поисково-спасательный отряд Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации
3.	Степной пожар	Аварийно-спасательный отряд Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации
		Группа пожаротушения
4.	Пал	Поисково-спасательный отряд Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации
		Авиация МЧС России
5.	Тушение применяемых РТК и РТС при разминировании	Группа пожаротушения

При возникновении локального пожара при взрыве взрывоопасного предмета его ликвидацию предлагается проводить силами пиротехников захлестыванием пламени подручными средствами и засыпкой грунтом кромки низового пожара лопатами. Для ликвидации пожара пиротехниками может быть использован робототехнический комплекс MV-4.

Для ликвидации пожара из-за взрыва может быть привлечена группа пожаротушения, оснащенная автоцистерной АЦ-9,0/40 и робототехническим средством «Ель-4», предназначенным для разведки и мониторинга местности в зоне ЧС, пожаротушения в условиях аварий, сопровождаемых осколочно-взрывным поражением, проведения аварийно-спасательных работ; разборки завалов для доступа в зону горения.

Например, в юго-западной части Керченского полуострова доминируют пустынные степи, галофитные луга, бедно-разнотравно-злаковые степи. В северо-восточной части

преобладают кустарниково-разнотравно-злаковые степи, ковыльно-типчаковые и типчаково-полынно-пустынные степи. В связи с этим в результате взрыва взрывоопасного предмета может возникнуть степной пожар, который предлагается ликвидировать силами и средствами группы пожаротушения и поисково-спасательного отряда Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации.

При наличии сильного ветра возможно возникновение пала, который предлагается ликвидировать силами и средствами поисково-спасательного отряда Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации и при помощи водосливных устройств вертолетов.

Таким образом, при возникновении рассмотренных моделей развития пожара при проведении работ по разминированию территорий памятников фортификационного искусства предлагается привлекать пожарно-спасательный и аварийно-спасательный отряды Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации.

Предложения по совершенствованию подготовки пиротехнических подразделений

Для объектов учебной материально-технической базы подготовки пиротехников характерно несовершенство ее полевой учебной базы [31–34]. Как правило, пиротехническая площадка, где проводятся занятия, находится на значительном расстоянии от пункта постоянной дислокации. На перемещение учебных групп к месту проведения занятий, на подготовку пиротехнической площадки и получение взрывчатых веществ и средств взрывания затрачивается значительное время. Поэтому в целях совершенствования подготовки пиротехнических подразделений предлагается организовать учебное место для подготовки пиротехников – учебную точку «Полоса сапера» (рис. 6).

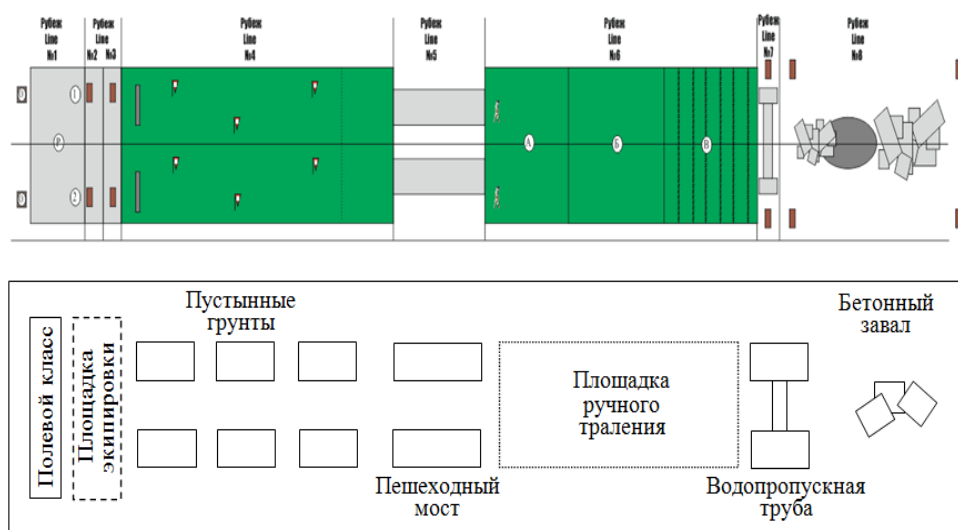


Рис. 6. Учебная точка «Полоса сапера»

Учебная точка предназначена для отработки типовых задач по поиску, обнаружению и уничтожению взрывоопасных предметов при выполнении задач по сплошной очистке местности, и представляет собой участок местности с учебными рубежами:

№ 1 – площадка построения личного состава – производится инструктаж личного состава и доводятся требования к прохождению полосы;

№ 2 – экипировка обучающегося средствами защиты – производится экипировка расчета в защитные комплекты;

№ 3 – отработка норматива по разворачиванию и подготовке миноискателя к работе – производится разворачивание и проверка работоспособности приборов поиска;

№ 4 – инженерная разведка моста на наличие взрывоопасного предмета;

№ 5 – инженерная разведка местности – производится имитация пустынных грунтов, каменистых грунтов и грунтов, засоренных строительным мусором;

№ 6 – отработка норматива по метанию саперной кошки на дальность – производится метание саперной кошки на дистанцию до 30 м или сдергивание взрывоопасного предмета с места установки;

№ 7 – отработка нормативов по изготовлению удлиненного заряда из тротиловых шашек и зажигательной трубки;

№ 8 – поиск, обнаружение и уничтожение взрывоопасных предметов накладными зарядами электрическим способом – производится имитация уничтожения взрывоопасного предмета.

Минирование тропы и придорожных сооружений осуществляется с использованием средств имитации. Учебная группа разбивается на расчеты, которые проводят разведку дорожного полотна и придорожных сооружений на наличие взрывоопасных предметов, а при обнаружении таковых производят их уничтожение или обезвреживание. Учебная точка позволяет охватить весь спектр учебных вопросов, отражающих опыт ведения пиротехнических работ, и получить навыки использования приборов поиска взрывоопасных предметов при выполнении задач по сплошной очистке местности от них.

Площадка позволяет одновременно проводить занятия с 20–30 обучающимися и предназначена для проведения занятий по отработке вопросов очистки местности от взрывоопасных предметов в соответствии с требованиями руководящих документов. Оснащение пиротехников предлагаемой учебной точкой позволит также оперативно вносить изменения в организацию учебного занятия при изменении погодных условий.

Новизна результатов определяется вкладом в развитие теории и практики организации работ по разминированию памятника фортификационного искусства. Практическая ценность научных результатов состоит в разработке предложений по повышению эффективности деятельности пиротехнических подразделений и научно-методического подхода поддержки принятия решений по обеспечению безопасности деятельности пиротехнических подразделений при разминировании территории памятника фортификационного искусства.

Литература

1. Белик Ю.Л. Некоторые фортификационные особенности крепости Керчь в XVII–XVIII вв. // Боспорские исследования. Вып. XXIII. 2010. С. 509–520.
2. Форт Тотлебен // Исторический сайт военной крепости Керчь. URL: <http://fortkerch.ru> (дата обращения: 11.05.2021).
3. Широкоград А.Б. Русско-турецкие войны 1676–1918 г. Минск: Аст-Харвест, 2000. 752 с.
4. Белик Ю.Л. Керченская крепость – уникальный памятник фортификации // Актуальные вопросы охраны и использования культурного наследия Крыма: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. Евпатория, 2019. С. 12–16.
5. Седнев В.А., Аляев П.А. Структура и состав электронного тренажера для подготовки специалистов пиротехнических и инженерно-саперных подразделений МЧС России // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 4. С. 117–124.
6. Руководство по вопросам противоминной деятельности // Женевский центр гуманитарного разминирования (Geneva International Centre for Humanitarian Demining – GICHD) / рук. проекта – помощник дир. Центра Дэвид Орфичи. Женева, 2005.
7. Седнев В.А., Аляев П.А., Седнев А.В. Научно-методический подход обоснования организационно-штатных структур пиротехнических подразделений спасательных воинских формирований МЧС России и их систем управления // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 6. С. 26–33.
8. Седнев В.А., Ширин И.М. Анализ существующей организации работ по разминированию территории крепости «Керчь» // Гражданская оборона на страже мира

и безопасности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2020. С. 69–74.

9. Подведены итоги работы специалистов Центра «Лидер» по разминированию Крепости Керчь в Крыму // Портал МЧС Медиа, 2017. URL: <https://www.mchsmedia.ru> (дата обращения: 11.05.2021).

10. Седнев В.А., Аляев П.А. Научно-методические основы оценки профессиональной пригодности пиротехников // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 2 (72). С. 195–202.

11. Седнев В.А., Ширин И.М. Анализ существующей организации работ по разминированию территории крепости «Керчь» // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны: в 3-х ч. 2020. Ч. 2. С. 69–74.

12. Аляев П.А., Седнев А.В., Седнев В.А. Электронный тренажерный комплекс-имитатор для подготовки специалистов пиротехнических и инженерно-саперных подразделений // Военная безопасность России: взгляд в будущее: материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. науч. отд. № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. М., 2019. Т. 2. С. 10–16.

13. Седнев В.А., Аляев П.А. Электронный тренажер пиротехника // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России. 2019. № 1. С. 113–120.

14. Седнев В.А., Аляев П.А. Научно-методический подход оценки профессиональной пригодности пиротехников и саперов // Образование в военно-инженерном деле: теория и практика: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. Тюмень: Тюменское высшее военно-инженерное командное училище инженерных войск. 2018. С. 96–98.

15. Седнев В.А., Аляев П.А. Теоретические основы обоснования организационно-штатных структур пиротехнических и инженерно-саперных подразделений // Образование в военно-инженерном деле: теория и практика: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. Тюмень: Тюменское высшее военно-инженерное командное училище инженерных войск. 2018. С. 98–103.

16. Седнев В.А., Аляев П.А. Обоснование направлений и задач совершенствования профессиональной подготовки пиротехников и саперов для МЧС России // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2016. Т. 2. № 1 (7). С. 386–389.

17. Технология взрывной утилизации бочкотары и вышедшей из строя техники для решения экологических проблем труднодоступных районов Крайнего Севера / В.А. Седнев [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 2 (54). С. 46–52.

18. Седнев В.А. Применение и оценка эффективности способов обработки металлов взрывом при выполнении задач в труднодоступных районах Арктического региона // Арктика: экология и экономика. 2016. № 2 (22). С. 98–106.

19. Седнев В.А. Методика обоснования комплекса средств механизации работ по развертыванию аварийно-спасательных формирований в арктической зоне Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2016. № 1 (21). С. 102–112.

20. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев А.В. Исследование этапов процесса и обоснование математической модели расширения сферической полости в грунтах и горных породах // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 2 (44). С. 302–314.

21. Sednev V.A., Kopynshev S.L., Sednev A.V. Estimation of the Penetration Depth of an Impactor with a Hemispherical Head Part into a Semi-Infinite Medium When Penetrated Along the Normal to the Surface // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. No. 8. pp. 659–666. © Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text © The Author(s), 2020, published in Problemy Mashinostroeniya i Avtomatizatsii, 2020, No. 1, pp. 158–164. DOI 10.3103/S1052618820080130.

22. Седнев В.А., Смуров А.В. Модели оценки эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 1. С. 71–77.

23. Седнев В.А., Седнев А.В. Оценка эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 6. С. 107–126.

24. Седнев В.А., Седнев А.В. Основы математического моделирования инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 132–138.

25. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Критерии эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 51–61.

26. Седнев В.А. Основные критерии оценки эффективности действий спасательных формирований // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 4. С. 51–57.

27. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Критерии эффективности задач инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 53–58.

28. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Методы построения обобщенных критериев эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 2. С. 46–51.

29. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Системный подход к оценке эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 111–121.

30. Седнев В.А., Седнев А.В. Оценка видовой структуры средств организационно-штатных структур МЧС России // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны: в 3-х ч. 2020. Ч. 2. С. 30–36.

31. Седнев В.А., Аляев П.А. Предложения по совершенствованию планирования подготовки пиротехников МЧС России для выполнения профессиональных задач // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 5. С. 102–107.

32. Аляев П.А., Седнев В.А., Седнев А.В. Пути обеспечения безопасности специалистов пиротехнических и инженерно-саперных подразделений при выполнении ими задач // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны: в 3-х ч. 2019. Ч. II. С. 17–25.

33. Седнев А.В., Седнев В.А. Пути повышения эффективности деятельности организационной структуры // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны: в 3-х ч. Ч. II: Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. 2019. С. 380–388.

34. Аляев П.А., Седнев В.А. Проблемные вопросы обеспечения безопасности деятельности пиротехников и саперов // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности: сб. тезисов докладов материалов Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 809–815.



ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.849

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГNETУШИТЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

И.А. Сорокин.

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены вопросы, относящиеся к обоснованию требований, предъявляемых к модельным очагам пожара и порядку проведения испытаний огнетушителей. Предложен вариант конструкции стенда для испытаний огнетушителей, позволяющей осуществлять оценку их эффективности. Разработана методика оценки эффективности огнетушителей при определении огнетушащей способности на стенде для испытаний огнетушителя, исключая влияние субъективного фактора и повышающая объективность результатов испытаний.

Ключевые слова: методика, стенд, огнетушитель, огнетушащий порошок, конструкция, эффективность, испытания

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE FIRE EXTINGUISHING ABILITY OF FIRE EXTINGUISHERS BASED ON THE RESULTS OF BENCH TESTS

I.A. Sorokin; A.S. Polyakov.

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

The issues related to the justification of the requirements for model fire centers and the procedure for testing fire extinguishers are considered. A variant of the design of the test bench for fire extinguishers, which allows evaluating their effectiveness, is proposed. A method for evaluating the effectiveness of fire extinguishers in determining the fire extinguishing capacity on the fire extinguisher test bench has been developed, which eliminates the influence of a subjective factor and increases the objectivity of test results.

Keywords: methodology, stand, fire extinguisher, fire extinguishing powder, design, efficiency, tests

При подтверждении соответствия огнетушителей предъявляемым требованиям необходимо в обязательном порядке осуществлять тушение модельных очагов пожара (МОП) для заявляемых классов и рангов [1]. Такое требование является не только обязательным, но и крайне важным. В зависимости от результата тушения делается заключение об эффективности огнетушителя как средства пожаротушения.

Анализ существующих методик испытаний огнетушителей по определению огнетушащей способности показал, что их проведение сопровождается некоторыми недостатками и особенностями, которые могут повлиять на конечный результат.

В соответствии с нормативными документами [1, 2] эффективность огнетушителя подтверждается тушением минимум двух модельных очагов из трех. При этом допускается, что одно испытание может иметь отрицательный результат, то есть огнетушитель не тушит заявленный ранг пожара. Таким образом, эффективность огнетушителя в огневых испытаниях, являющихся отражением его работоспособности, определяется двумя положительными результативными испытаниями из трех. Следовательно, необходимо увеличить не только количество натуральных огневых испытаний огнетушителей, но и процент потушенных модельных очагов.

Следует отметить, что испытания проводит специалист, не только имеющий профильное образование, но и практический опыт. Действия его при тушении модельных очагов – выверенные и точные. Он выбирает оптимальное расстояние до очага, угол и время подачи огнетушащего вещества. Алгоритм действий обычного человека при использовании огнетушителя будет более хаотичным и, как правило, менее эффективным. В этом заключается еще одна особенность оценки эффективности огнетушителей – человеческий или субъективный фактор.

С целью исключения этих факторов необходимо разработать методику оценки эффективности порошковых огнетушителей, учитывающую особенности проведения испытаний и исключающую недостатки.

При определении огнетушащей способности необходимо проводить отдельные испытания на МОП различных классов [1, 2]. В реальных условиях происходит одновременное горение нескольких видов горючих материалов, причем нередко – в различных агрегатных состояниях.

Следовательно, для приведения процедуры испытаний огнетушителей к условиям, близким реальному процессу горения, необходимо не только изменить количество классов МОП, их вид, но и алгоритм проведения. Для этого необходимо обосновать введение единого МОП [3] для проведения испытаний и методику, по которой происходит оценка эффективности конкретного огнетушителя [4].

Прекращение горения возможно при условии, когда из очага горения теплоты отбирается больше, чем им выделяется. В таких условиях ключевым параметром любого МОП становится мощность его тепловыделения [5]. В таблице приведены значения мощности тепловыделения стандартного МОП класса В [6].

Таблица. Значения мощности тепловыделения стандартного МОП класса В

Ранг очага пожара	Диаметр очага пожара, м	Площадь очага пожара, м ²	Мощность тепловыделения, кВт
1В	0,20	0,03	1,5
2В	0,30	0,07	3,5
3В	0,35	0,10	4,8
5В	0,45	0,16	7,9
8В	0,60	0,28	14,0
13В	0,70	0,39	19,1
21В	0,90	0,64	31,5
34В	1,20	1,13	56,0
55В	1,50	1,77	87,6
70В	1,70	2,27	112,5
89В	1,90	2,83	140,6
113В	2,15	3,63	180,0
144В	2,40	4,52	224,3
183В	2,70	5,72	283,8
233В	3,00	7,07	350,4

Данная задача решена путем разработки стенда для испытаний, который должен отвечать нескольким условиям:

1. Стенд должен иметь единый МОП, соответствующий предъявляемым требованиям по основным параметрам, и возможность трансформации для проведения испытаний всего модельного ряда огнетушителей.

2. С целью исключения влияния субъективного фактора на результаты испытаний минимизировать участие оператора-испытателя в процессе тушения за счет автоматизации процесса тушения.

Исходя из этих условий, характеристики и параметры предлагаемой модели испытательного стенда должны исключить недостатки существующих МОП [7, 8] и учесть их основной параметр – мощность тепловыделения. Модель стенда реализована в устройстве, сущность которого пояснена на рис. 1, 2 [9].

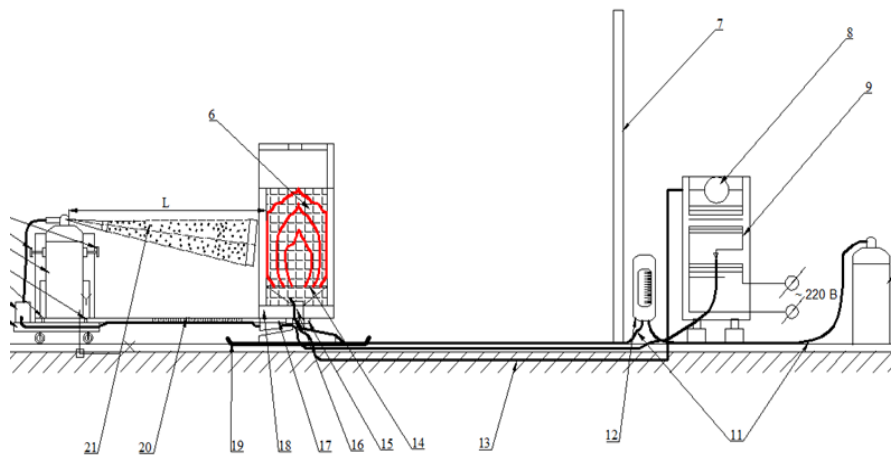


Рис. 1. Модель стенда для испытания огнетушителей (вид сбоку)

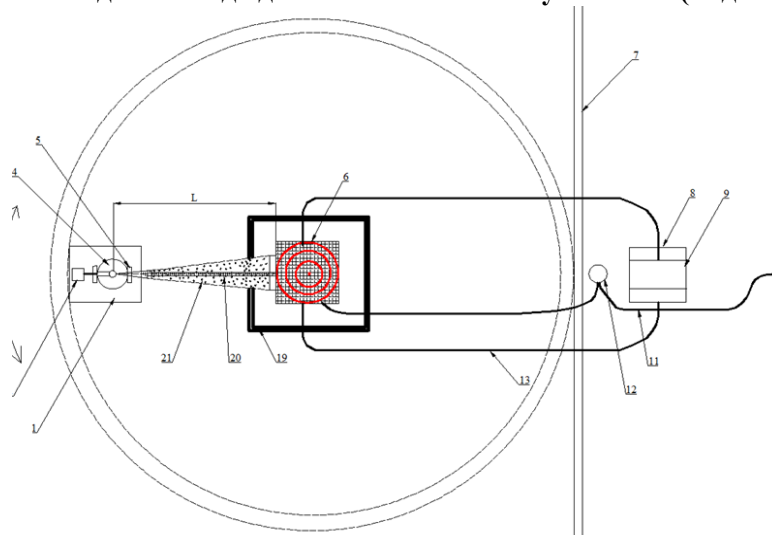


Рис. 2. Модель стенда для испытания огнетушителей (вид сверху)

- 1 – перемещаемое устройство для крепления огнетушителя; 2 – устройство запуска огнетушителя; 3, 5 – система креплений; 4 – огнетушитель; 6 – корпус МОП; 7 – экран; 8 – устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей; 9 – блок управления поворотным кронштейном; 10 – газовый баллон с редуктором; 11 – соединительный газовый трубопровод; 12 – ротаметр; 13 – термоэлектрические преобразователи; 14 – рассекатель пламени и газовых потоков; 15 – механизм вращения устройства с огнетушителем; 16 – газовая горелка; 17 – поворотный кронштейн; 18 – основание-платформа МОП; 19 – емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества; 20 – измерительная линейка; 21 – струя огнетушащего вещества

Предлагаемая модель стенда отвечает требованиям по мощности тепловыделения, предъявляемым к МОП [1, 2], и может быть использована при проведении огневых испытаний огнетушителей по определению огнетушащей способности.

Методика оценки эффективности огнетушителей при определении огнетушащей способности устанавливает, что огнетушитель выдержал испытания, если выполнено одно из условий:

- в четырех попытках из пяти МОП потушен (для попытки с отрицательным результатом проводится дополнительная серия испытаний из пяти повторений, каждое из которых должно быть положительным [10]);
- количество теплоты, отбираемое огнетушащим порошковым составом огнетушителя, соответствует заявленным для него значениям.

Если какое-либо из условий не выполняется, то считается, что результат отрицательный, а огнетушитель не выдержал испытания. При повторном получении отрицательного результата в дополнительной серии испытаний считается, что огнетушитель их не выдержал.

Алгоритм действий, в соответствии с разработанной методикой по определению огнетушащей способности на модели стенда для испытаний, представлен на рис. 3.

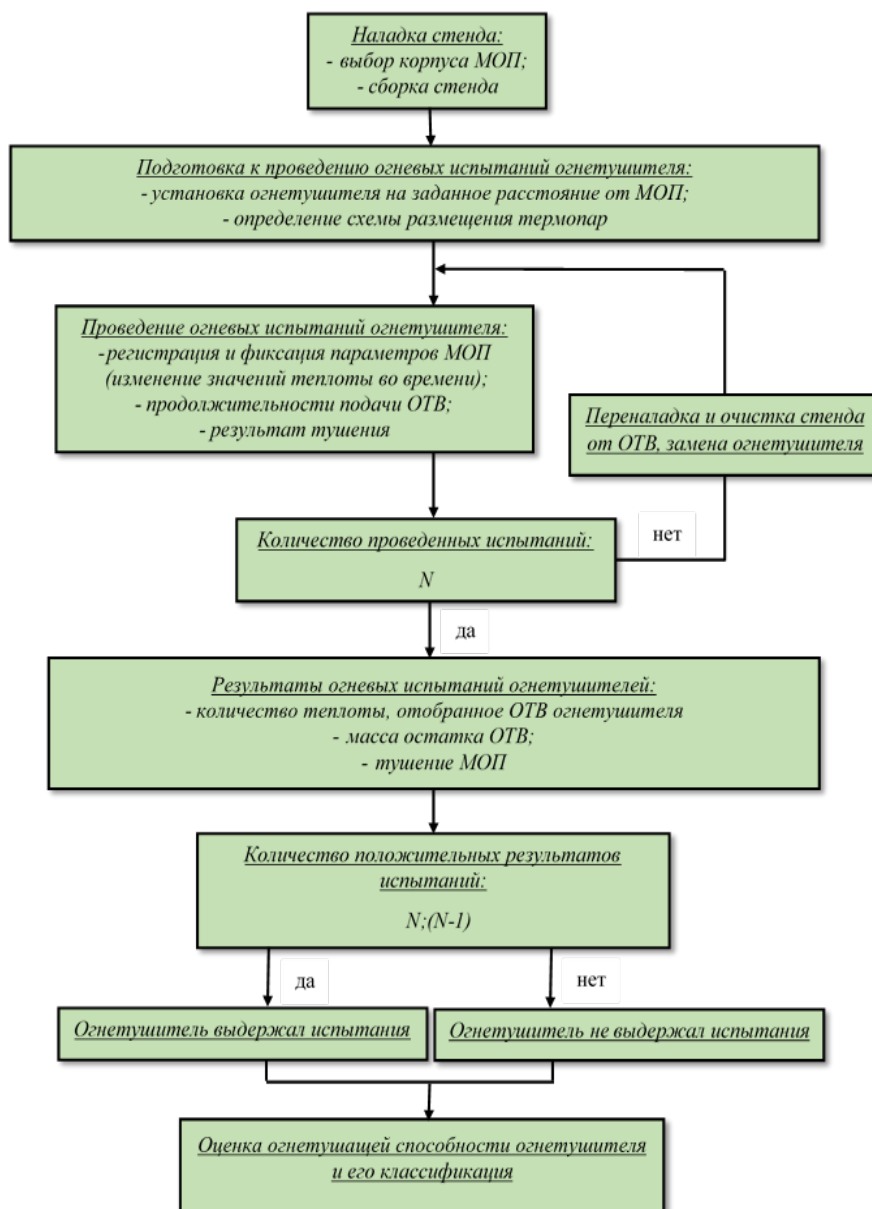


Рис. 3. Алгоритм оценки эффективности огнетушителей:
ОТВ – огнетушащее вещество

В результате анализа и проведенных исследований сделано следующее заключение:

1. Конструкция стенда для испытания порошковых огнетушителей:

– позволяет усовершенствовать МОП в части обеспечения реальных тепловых потоков за счет ее вариативности (способность задавать значения мощности теплового потока от 1,5 кВт до 350,4 кВт за счет регулируемой подачи топлива);

– создает условия для применения единого типа МОП, предназначенного для оценки соответствия характеристик огнетушителей установленным требованиям.

2. Предлагаемая методика оценки эффективности огнетушителей при определении огнетушащей способности усовершенствована в части создания условий для применения единого типа МОП в стенде для испытаний огнетушителя, исключает влияние субъективного фактора и повышает объективность результатов испытаний.

Литература

1. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.05.2021).

2. ГОСТ Р 51017–2001. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.05.2021).

3. Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Единый показатель огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 7. С. 74–79.

4. Поляков А.С., Кожевин Д.Ф., Сорокин И.А. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 2. С. 16–23.

5. Земский Г.Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов. М.: ВНИИПО, 2016. 970 с.

6. Сафонов А.С. Качество автомобильных топлив. Эксплуатационные свойства. Требования к качеству. Методы испытаний СПб.: НПИКЦ, 2006. 400 с.

7. Стенд для исследования процессов горения и тушения пожара: пат. 158135 Рос. Федерация, МПК А62С99/00 (2010.01), 2014152544/12 / М.В. Алешков; заявл. 25.12.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35, 20.12.2015.

8. Устройство для моделирования очага пожара: пат. U9971 Республика Беларусь, МПК F23D 5/00 (2006.01), u20130066 / Д.М. Гороховик; заявл. 2013.01.21; опубл. 28.02.2014.

9. Стенд для испытания огнетушителей: пат. 168399 Рос. Федерация, МПК А62С13/00 (2017.02), № 2016117503 / И.А. Сорокин; заявл. 04.05.2016; опубл. 01.02.2017, Бюл. № 4, 01.02.2017.

10. Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук [и др.]. М.: Воениздат, 1979. 368 с.

УДК 614.841.2.001.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУДЕБНЫХ НОРМАТИВНЫХ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ ПО ДЕЛАМ, СВЯЗАННЫМ С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ КАМИНОВ

С.Ф. Лобова;

М.Ю. Принцева, кандидат технических наук;

Н.В. Петрова, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены возможности использования совокупности результатов компьютерного моделирования и инструментальных методов при производстве судебных нормативных

пожарно-технических экспертиз. Для определения наличия угрозы возникновения пожара при эксплуатации камина заводского изготовления, смонтированного с отступлениями от требований норм, произведен численный расчет сопряженного теплообмена, происходящего при эксплуатации устройства с учетом конструкции изоляции стены здания. Показана возможность использования термического анализа для оценки эффективности применяемой конструкции изоляции. Получены результаты, демонстрирующие изменения эксплуатационных свойств теплоизоляционного материала при неоднократном нагреве.

Ключевые слова: нормативная пожарно-техническая экспертиза, камин, отступка, минеральная вата, требование пожарной безопасности, полевое моделирование, термический анализ, угроза возникновения пожара

THE USE OF NUMERICAL AND INSTRUMENTAL METHODS IN THE PRODUCTION OF JUDICIAL REGULATORY FIRE AND TECHNICAL EXPERTISE IN CASES RELATED TO THE OPERATION OF FIREPLACES

S.F. Lobova; M.Yu. Printseva; N.V. Petrova.

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

The possibilities of using a set of computer simulation results and instrumental methods in the production of judicial normative fire and technical expertise are considered. To determine the presence of a fire risk during operation of a factory-made fireplace mounted with deviations from the requirements of the standards, a numerical calculation of the conjugate heat exchange occurring during operation of the device taking into account the insulation structure of the building wall was made. The possibility of using thermal analysis to evaluate the effectiveness of the applied insulation structure is shown. There were obtained results demonstrating changes in operational properties of heat insulation material with repeated heating.

Keywords: judicial normative fire and technical expertise, fireplace, retreat, mineral wool, fire safety requirement, field simulation, thermal analysis, fire threaten

Введение

В судебно-экспертных учреждениях федеральной противопожарной службы МЧС России (СЭУ ФПС «ИПЛ» МЧС России) в рамках специализации «Анализ нарушений требований в области пожарной безопасности, прогнозирование и экспертное исследование их последствий» осуществляется производство судебных нормативных пожарно-технических экспертиз (СНПТЭ). При рассмотрении дел по пожарам в жилых домах, оборудованных печным отоплением или каминами, сотрудники испытательных пожарных лабораторий проводят исследования по следующим вопросам:

– об имевшихся на объекте на момент возникновения происшествия нарушениях требований пожарной безопасности, допущенных при устройстве и (или) эксплуатации печей или каминов;

– о наличии причинно-следственных связей между данными нарушениями и возникновением пожара.

Также СНПТЭ может проводиться в отношении объектов, оборудованных печами или каминами, на которых пожар еще не произошел.

В соответствии с методикой, изложенной в работе [1], при ответе на подобные вопросы эксперту необходимо обосновать связь нарушения требования пожарной безопасности с одним из условий возникновения горения либо доказать отсутствие данной связи. Любые другие нарушения, не влияющие непосредственно на эти процессы, к возгоранию отношения иметь не будут.

Целью данной статьи является демонстрация возможности использования компьютерного моделирования и инструментальных методов при производстве СНПТЭ для ответа на вопросы о влиянии нарушений требований пожарной безопасности, допускаемых

при монтаже каминов заводского изготовления, на угрозу возникновения пожара либо на причину уже произошедшего происшествия.

Как известно, в настоящее время каминные устройства встречаются довольно часто и представляют собой разновидность печного устройства, отличающегося размерами топки, отсутствием топочной дверки и наличием дымовой камеры [2].

Помимо доставления эстетического удовольствия каминные устройства довольно хорошо справляются с задачей быстрого обогрева помещения. В то же время составляющие элементы камина являются источником теплового воздействия на различные вещества и материалы (материалы строительных конструкций и близко расположенных предметов интерьера) и, значит, на объекте защиты должны быть предприняты меры, направленные на предотвращение появления условий, достаточных для возникновения горения.

Часто на возникновение пожара влияют нарушения требований пожарной безопасности, касающиеся устройств и эксплуатации печей и каминов. В 2019 г. в России количество таких пожаров составило более 27 тыс. [3].

К основным факторам возгораний, связанных с печами и каминами, относятся: нарушение целостности конструкций печи (сломанные дверки, трещины в кладке), нарушения требований пожарной безопасности, допущенные при устройстве печей и каминов, а также при монтаже дымохода (несоблюдение минимальных размеров либо некорректное исполнение отступок, применение в качестве изоляции материалов, характеристики которых не соответствуют требованиям пожарной безопасности и др.), а также использование в зданиях самодельных металлических печей, не отвечающих требованиям нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности.

Большинство подобных пожаров происходит в связи с тем, что при монтаже камина организацией, проводящей данные виды работ, не выполняются требования инструкции завода-изготовителя для отопительного устройства. В качестве примера в данной статье будет рассмотрено использование при устройстве камина вместо кирпичной кладки минеральной ваты и листа стали для предотвращения воздействия теплового потока от конструкций камина на строительные горючие конструкции здания. При проведении исследований использовались расчетный и инструментальный методы.

На основании результатов проведенного компьютерного моделирования, на первый взгляд можно предположить, что несоблюдение требований инструкции по изоляции конструкций камина, а, конкретно в рассмотренном случае, использование в качестве защиты (изоляции) стены вблизи камина листа стали и минеральной ваты не повлияет на вероятность возникновения пожара. Однако результаты проведенного термического анализа свидетельствуют об обратном. Это связано с тем, что при использовании минеральной ваты при постоянном нагреве и охлаждении в процессе эксплуатации камина вата, содержащая в своем составе до 20 масс. % органического связующего для скрепления волокон между собой, начинает постепенно разрушаться и могут образоваться дефекты в виде отверстий.

В настоящее время, в соответствии с требованиями п. 82 Правил противопожарного режима в Российской Федерации [4] для отопления зданий допускается установка металлических печей, а, следовательно, и каминов, только заводского изготовления с условием выполнения всех положений, содержащихся в технической документации (в первую очередь – инструкции изготовителя) для данных отопительных устройств.

Аналогичное по смыслу требование к устройству каминов заводского изготовления содержится в п. 5.27 [5], которое также обязует соблюдать при монтаже положения документации завода-изготовителя.

Выполнение перечисленных выше требований пожарной безопасности входит в систему предотвращения пожаров, которая в соответствии со ст. 5 [6] должна быть предусмотрена на каждом объекте защиты.

Объекты и методы исследования

В статье приведен пример, когда в здании объекта для камина заводского изготовления была смонтирована отступка в виде воздушного пространства размером 60 мм, металлического листа (сталь AISI-430) толщиной 0,45 мм и слоя минеральной ваты толщиной 100 мм. Численный эксперимент, моделирующий теплопередачу от топки камина в стену за камином, был проведен с помощью программы FDS [7]. Программа FDS разработана специально для решения задач в области пожарной безопасности и позволяет осуществлять полевое моделирование динамики пожара и расчет сопряженного теплообмена в ограждающие конструкции.

Для исследования термических свойств материала, применяемого при монтаже камина для изоляции деревянной стены здания, использовалась минеральная вата. Термический анализ минеральной ваты был проведен в соответствии с методическими рекомендациями [8] на приборе синхронного термического анализа (ТГ/ДСК) NETZSCH STA 449 F3 Jupiter при следующих условиях: начальная температура – 40 °С, конечная температура – 1 000 °С, скорость нагрева – 20 °С/мин, атмосфера – воздух, расход воздуха – 20 мл/мин, масса образца – 10,732 мг.

Результаты и их обсуждение

Раздел инструкции завода-изготовителя «Расстояние до воспламеняемой части постройки» к рассматриваемому в примере камину содержит следующее требование: в случае, если печь будет установлена около конструкции из воспламеняемого материала, то ее задняя сторона должна быть закрыта дополнительной стенкой в ½ массивного кирпича или из плиты лека толщиной в 70 мм. Также между этой задней стенкой и деревянной стеной должно быть воздушное пространство не менее 50 мм.

Нетрудно проанализировать качественно, что в случае применения в составе отступки теплоизоляционной плиты минеральной ваты деревянная стена дома является теоретически защищенной, поскольку коэффициент теплопроводности ваты очень низкий и составляет 0,033 Вт/м·К, что будет препятствовать при эксплуатации камина распространению тепла вглубь стенки. Для подтверждения сделанного выше предположения был проведен численный эксперимент с помощью программы FDS.

На рис. 1 изображена расчетная область с помещенной в нее частью деревянной стены дома и отступкой в виде воздушного зазора, листа стали и теплоизоляционной плиты минеральной ваты. Датчики температуры размещались на поверхности листа металла и далее вглубь отступки до границы с деревянной стеной дома.

Для упрощения физической модели вместо топки камина в расчете задавалась плотность теплового потока с ее поверхности.

Поскольку камин предполагался заводского изготовления, для определения теплового потока можно использовать паспортные данные, в соответствии с которыми мощность топки, допустим, составляет $Q=12$ кВт.

Предположим, что со всех поверхностей топки уходит равное количество тепла. Тогда, зная размеры топки, можно найти плотность теплового потока следующим образом:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{12}{1,09} \approx 11 \text{ кВт/м}^2,$$

где S – площадь боковых поверхностей топки.

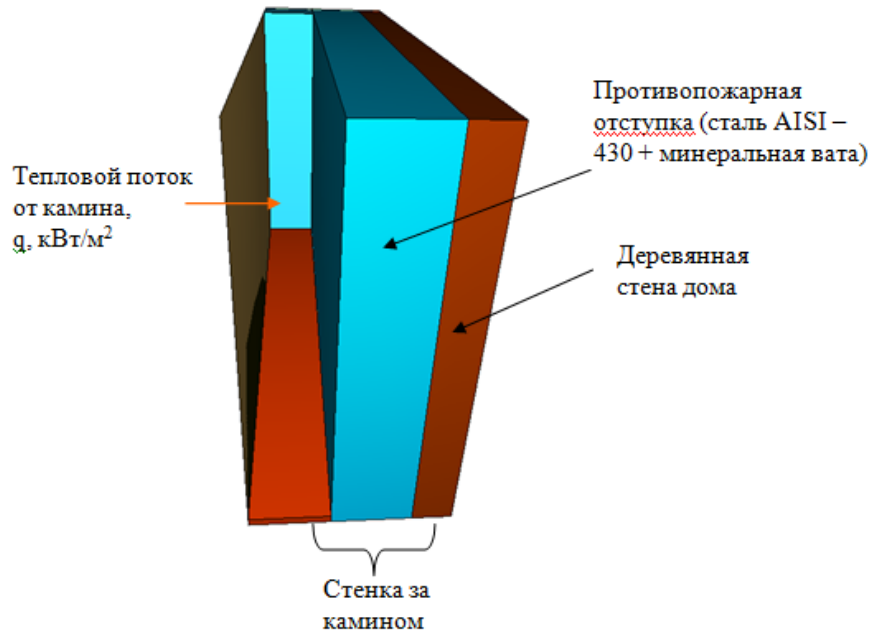


Рис. 1. Расчетная область. Модель отступки и стены за камином

Расчет теплопередачи осуществлялся в течение нескольких часов. Внешние границы деревянной стенки в расчетной модели задавались изолированными.

Результаты расчетов представлены на рис. 2–4.

На рис. 2 представлено распределение температуры внутри плиты теплоизоляционной ваты при воздействии на стенку за камином теплового потока мощностью 11 кВт/м² в течение 4 ч.

Из графика (рис. 2) видно, что температура ваты вблизи стального листа ($x=0$ м) достигает 500 °С. По мере продвижения вглубь изоляции, температура снижается до 40 °С.

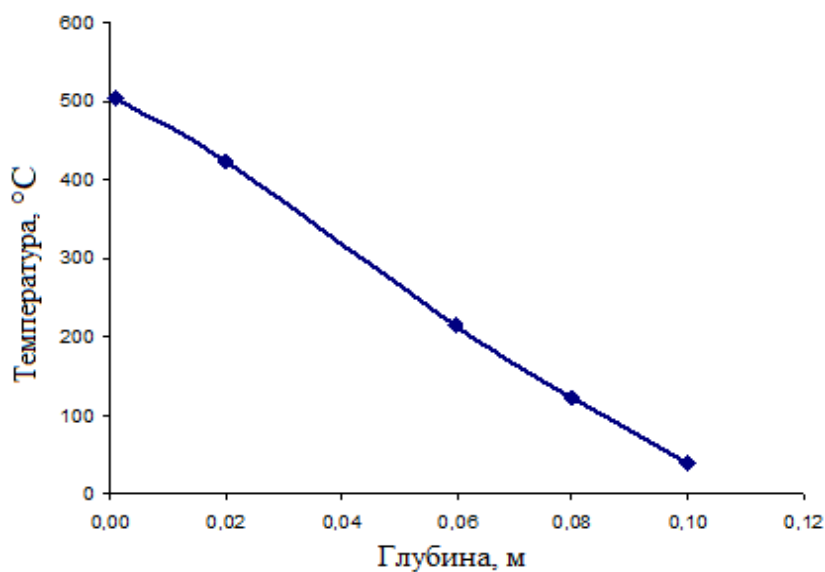


Рис. 2. Распределение температуры внутри плиты теплоизоляционной ваты по истечению нескольких часов воздействия теплового потока

На рис. 3 представлена зависимость температуры от времени в точке, расположенной на границе изоляционной плиты и деревянной стены дома.

Из графика (рис. 3) видно, что температура деревянной стены дома после первого часа прогрева достигает значения $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в дальнейшем практически не меняется, то есть достигается квазистационарное состояние.

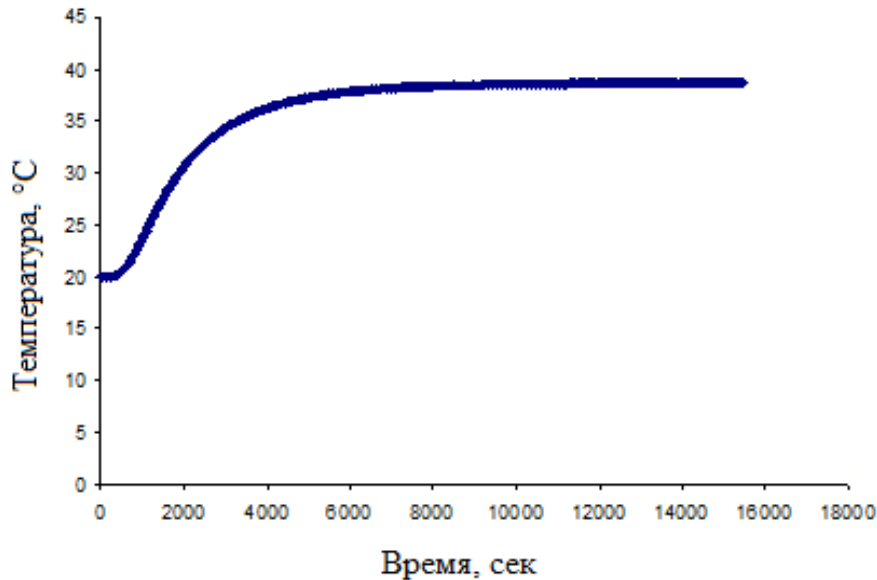


Рис. 3. Изменение температуры на границе плиты теплоизоляционной ваты и деревянной стены дома в зависимости от времени прогрева

Анализируя результаты моделирования, можно заключить, что температура деревянных конструкций за камином, при наличии отступки в виде воздушного пространства 60 мм , листа стали толщиной $0,45\text{ мм}$ и минеральной ваты толщиной 100 мм , при тепловом воздействии от топки камина не превышает $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данная температура является безопасной и не может привести к зажиганию рассматриваемого горючего материала.

Однако проведенный теплофизический расчет учитывает только процесс теплопередачи в рассматриваемой системе веществ и материалов с заранее заданными теплофизическими свойствами и не позволяет учесть возможные изменения эксплуатационных свойств материалов при неоднократном нагреве.

При проведении исследований для ответа на поставленный вопрос в подобной ситуации для уточняющей оценки эффективности применяемой конструкции отступки также могут быть использованы данные термического анализа. Ниже приведены результаты проведения термического анализа минеральной ваты, использовавшейся при монтаже камина с целью изоляции деревянной стены.

На рис. 4 представлены кривые убыли массы (ТГ кривая) и тепловые эффекты (ДСК кривая), происходящие в исследуемом материале при нагревании его до температуры $1\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$. По виду кривых можно увидеть, что наблюдается потеря массы материала в интервале температур $200\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$, с максимумом $490\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также происходит небольшое выделение тепла $151,6\text{ Дж/г}$ в виде экзотермического эффекта на кривой ДСК, которое связано с выгоранием органического связующего [9]. Экзотермический эффект в области температур $650\text{--}850\text{ }^{\circ}\text{C}$ с максимумом при $756\text{ }^{\circ}\text{C}$, сопровождающийся выделением тепла около $302,7\text{ Дж/г}$, связан с кристаллизацией фаз [9, 10]. Общая потеря массы составила $3,35\text{ }\%$.

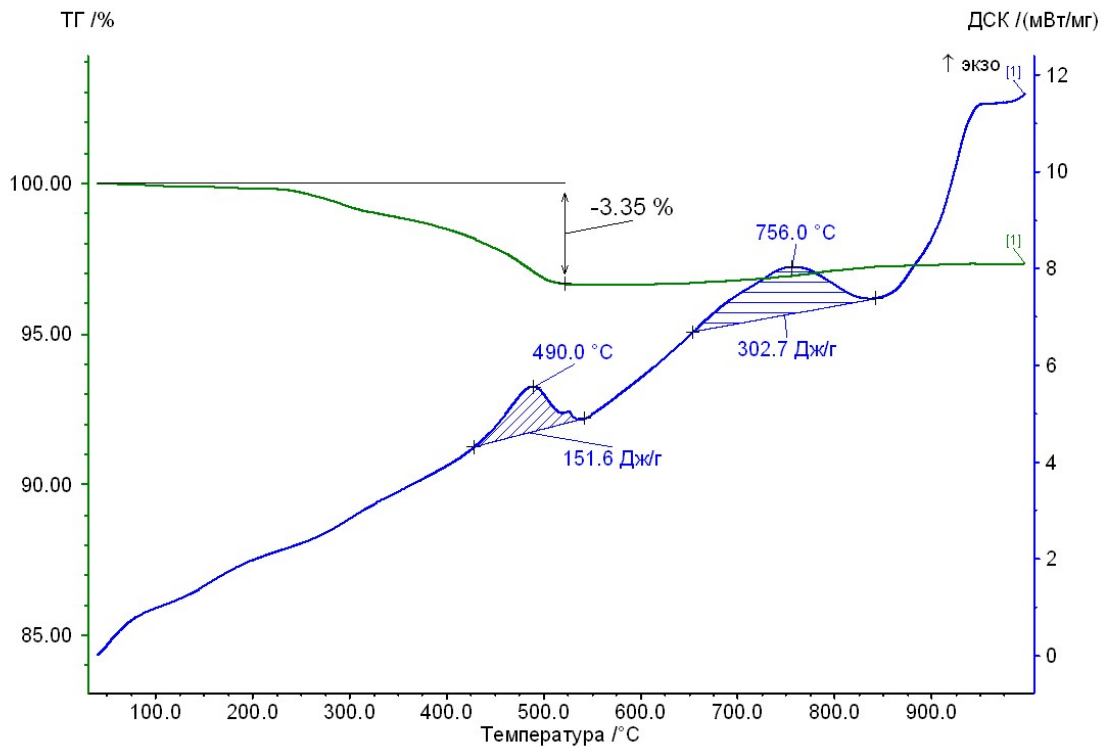


Рис. 4. ТГ и ДСК кривые образца минеральной ваты

Таким образом, проведенные исследования показывают, что рассматриваемая минеральная вата при нагреве теряет свою массу начиная с температуры 200 °С, полное разрушение органического связующего происходит при нагреве до температуры 550 °С. При этом важно отметить, что ввиду термической деструкции органического связующего происходит частичное разрушение слоя минеральной ваты. Следовательно, можно предположить, что при неоднократном нагреве будут разрушаться все более глубокие слои.

Полученные результаты термического анализа позволили прийти к выводу, что при эксплуатации рассматриваемого камина в плите минеральной ваты, используемой в конструкции отступки, с большой вероятностью будут возникать дефекты, в том числе в виде отверстий, оказывающие влияние на ее теплоизоляционные свойства.

На основании полученных результатов, при производстве СНПТЭ, эксперт может сделать вывод, что несоблюдение требований пожарной безопасности при устройстве камина заводского изготовления, содержащихся в [4, 5], создает угрозу возникновения пожара, так как невыполнение рассматриваемых требований может привести к тому, что в процессе эксплуатации камина создадутся условия для взаимодействия горючего вещества (в данном случае – деревянной стены) и источника зажигания (тепла нагретой стенки конструкции камина).

Заключение

Проведенные исследования показали, что замена предусмотренной инструкцией стенки из кирпича или плиты лека на изоляцию деревянной стены, выполненную из металлического листа и слоя теплоизоляционной минеральной ваты, в данном случае не является эквивалентной заменой с точки зрения обеспечения пожарной безопасности. Другими словами, использование при монтаже и эксплуатации рассматриваемой отступки может привести к формированию так называемого треугольника пожара, когда происходит возникновение достаточно мощного для данных условий источника зажигания (теплового потока от топки камина) в системе топливо – кислород, что, соответственно, создает угрозу возникновения пожара в доме.

Представленный выше пример демонстрирует, что комплексное применение расчетных и инструментальных методов позволяет спрогнозировать наличие угрозы возникновения пожара и ответить на вопросы, поставленные при производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз, проводимых в СЭУ ФПС «ИПЛ» МЧС России.

Литература

1. Судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза / С.П. Воронов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС Росси, 2014. 92 с.
2. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПб.: ООО «Типография «Береста», 2010. 705 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сб. М.: ВНИИПО, 2020. 80 с.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. постановления Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479). М.: ЦЕНТРМАГ, 2021. 114 с.
5. СП 7.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1). М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013. 26 с.
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм. на 27 дек. 2018 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
7. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator User's Guide: NIST Special Publication 1019. Sixth Edition / K. McGrattan, R. McDermott, C. Weinschenk and others. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2013. 262 p.
8. Андреева Е.Д., Принцева М.Ю., Кондратьев С.А. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2013. 60 с.
9. Оценка пожарной опасности теплоизоляционных материалов методами термического анализа: методика / Н.В. Смирнов [и др.]. М.: ВНИИПО, 2014. 15 с.
10. Аносова Е.Б., Курников И.Н. Влияние термических характеристик отделочных фасадных материалов на опасность распространения пожара в здании // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 13–17.

УДК 614.842.611

СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОЧАГОВ ПОЖАРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВОГО СОСТАВА В СЕЧЕНИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ГАЗОПОРШКОВОГО ПОТОКА

А.С. Константинова;

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Разработана система экспериментальных очагов пожара, позволяющая определять огнетушащую эффективность порошкового состава в поперечных сечениях нестационарного газопорошкового потока. Путем натуральных огневых испытаний установлены преобладающие механизмы тушения пламени порошком при различных параметрах его подачи.

Ключевые слова: огнетушащий порошок, экспериментальный очаг пожара, механизм тушения, газопорошковый поток

SYSTEM OF EXPERIMENTAL FIRE FOCUSES FOR DETERMINING THE FIRE-EXTINGUISHING EFFICIENCY OF POWDER COMPOSITION IN SECTIONS OF A NON-STATIONARY GAS-POWDER STREAM

A.S. Konstantinova; A.S. Poljakov.

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

A system of experimental fire sites has been developed, which makes it possible to determine the fire extinguishing efficiency of a powder composition in the cross-sections of an unsteady gas-powder flow. The prevailing mechanisms for extinguishing the flame with powder at various parameters of its supply have been established by means of full-scale fire tests.

Keywords: fire extinguishing powder, experimental fire source, extinguishing mechanism, gas-powder stream

Известно, что на эффект тушения пожара влияет дисперсный состав порошка [1–4]. При этом распределение фракций различного размера в разных точках поперечного сечения газопорошкового потока неодинаково [5–7]. Отсюда следует, что огнетушащий эффект в различных точках этого сечения может отличаться.

Известны способы определения распределения огнетушащего порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока, описанные в работах [8, 9]. Однако они не дают информации о фактическом огнетушащем эффекте проб порошка в исследуемых контрольных точках этого сечения.

Для получения такой информации разработана система экспериментальных очагов пожара, представленная на рис. 1.

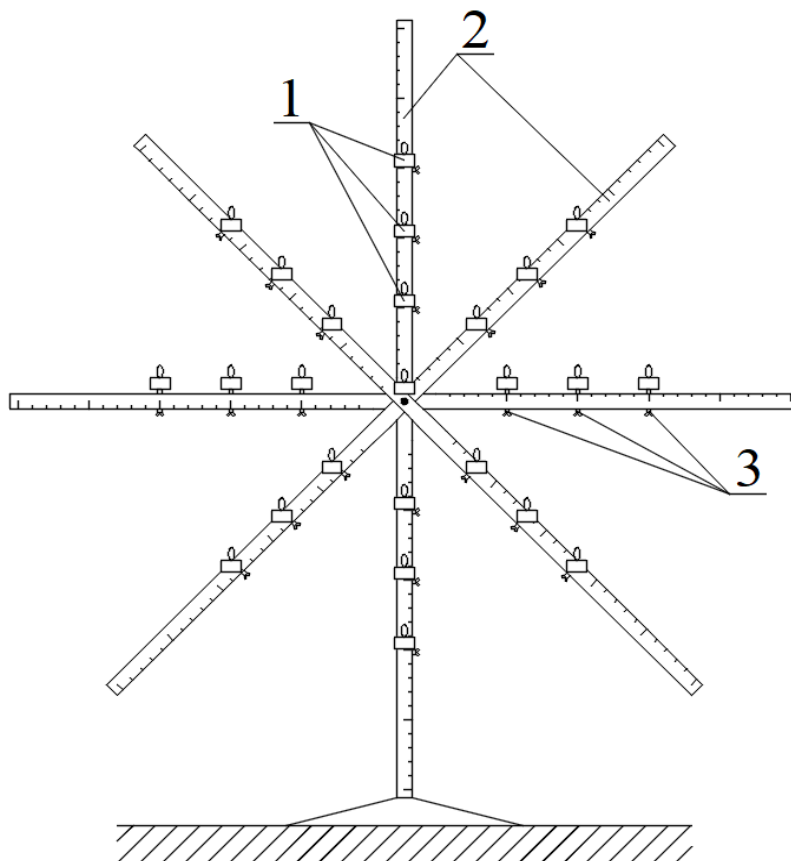


Рис. 1. Система экспериментальных очагов пожара: 1 – емкости для горючей жидкости, 2 – стальные стержни каркаса установки, 3 – зажимы, обеспечивающие возможность изменения расстояния от точки пересечения стержней до очага пожара

Огнетушащую способность порошков определяют методом огневых испытаний по ГОСТ Р 51057–2001 [10]. Представленная установка может быть использована для повышения информативности результатов испытаний, так как позволяет учесть распределение в потоке порошка с разными физическими характеристиками (дисперсный состав, плотность).

Информацию об огнетушащем эффекте порошка в контрольных точках поперечного сечения нестационарного газового потока получали путем визуальной фиксации факта тушения нескольких экспериментальных очагов пожара, расположенных в плоскости поперечного сечения газопорошкового потока.

Экспериментальный очаг пожара (ЭОП) представляет собой металлическую емкость круглой формы диаметром 70 мм; в качестве горючего использован растворитель 646, состоящий из смеси жидких углеводородов (%_{масс}): толуол – 50, бутилацетат – 24, этанол – 10, изобутанол – 10, ацетон – 6 [11]. Площадь поверхности горючей жидкости одного ЭОП составляет 38,5 см². Мощность единичного очага можно варьировать путем изменения горючего вещества и диаметра емкости. Суммарная мощность тепловыделения установки зависит от количества ЭОП.

На стержни нанесена разметка для соблюдения равного расстояния от очагов до центра установки.

Конструкция установки обеспечивает поступление огнетушащего вещества к ЭОП и не препятствует его сквозному проходу по остальной площади сечения.

Установку применяют следующим образом: на стержнях на заданном расстоянии от центра закрепляют ЭОП заданной мощности. Устройство подачи (модель огнетушителя или серийный огнетушитель) снаряжают навеской огнетушащего порошка заданной массы и устанавливают на заданном расстоянии от плоскости расположения ЭОП. Поджигают горючую жидкость в емкостях ЭОП. Осуществляют подачу огнетушащего порошка к установке, после чего визуально фиксируют количество и расположение потушенных очагов на момент полного оседания порошка по сечению потока; по этим данным судят о его эффективности.

Используемое оборудование позволяет изменять расстояние от среза огнетушителя (модели огнетушителя) до исследуемого сечения и расстояние от очагов пожара до центра установки, что позволяет находить их оптимальное расположение в предполагаемой зоне распространения огнетушащего порошка.

На рис. 2 представлена схема расположения оборудования при проведении эксперимента.

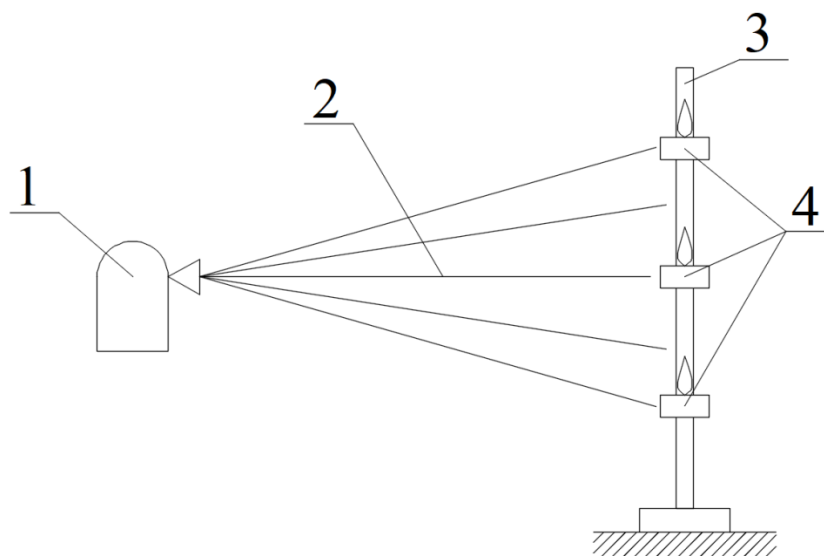


Рис. 2. Расположение оборудования при проведении эксперимента:
1 – огнетушитель (модель огнетушителя); 2 – газопорошковый поток; 3 – стальные стержни каркаса установки; 4 – емкости для горючей жидкости

Разработанная установка позволяет оценить фактический огнетушащий эффект регулирования распределения массы огнетушащего порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока при подаче порошков известного дисперсного состава или при использовании насадков различной конструкции.

Эксперимент по тушению ЭОП при подаче порошка Вексон-АВСЕ с помощью модели огнетушителя

В ходе подготовительной части эксперимента определена минимальная масса навески порошка, с помощью которой достигается тушение ЭОП – она составила 100 г. Для увеличения доли огнетушащего вещества (ОТВ), попадающего в очаги, установка дополнена экранирующим листом, расположенным за плоскостью стержней по направлению движения потока (рис. 3).

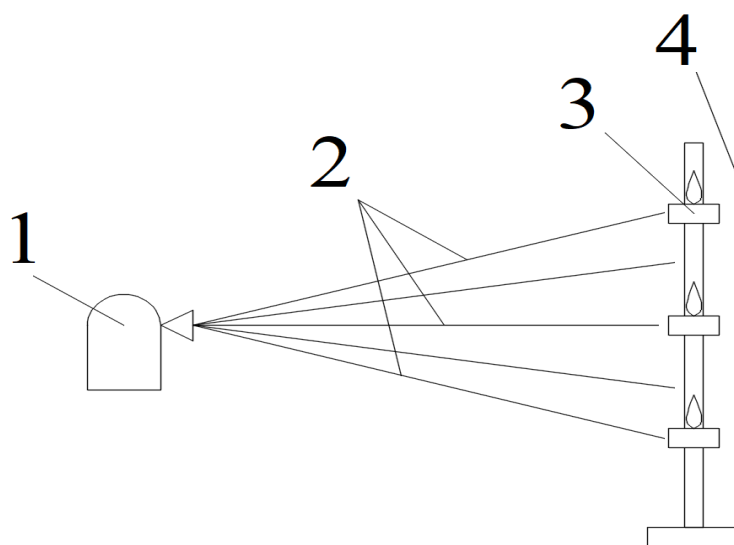


Рис. 3. Схема подачи порошка в ЭОП с экранирующим листом: 1 – модель огнетушителя; 2 – газопорошковый поток; 3 – ЭОП; 4 – металлический экранирующий лист для отражения порошка, прошедшего через плоскость стержней, и направления его в очаги

Сведения о количестве потушенных очагов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты тушения пяти ЭОП при подаче порошка Вексон-АВСЕ с помощью модели огнетушителя (масса навески 100 г)

Расстояние, м	Количество потушенных очагов	Из них повторно воспламенившихся
Без установки экранирующего листа		
1	2	2
	3	0
2	3	1
	0	–
С установленным экранирующим листом		
1	2	0
2	2	1
	1	0

Данные табл. 1 показывают, что использование ЭОП для принятых условий тушения неинформативно, так как очаг имеет слишком высокую мощность. По этой причине далее

в качестве очагов были использованы свечи парафиновые диаметром 5 мм с диаметром фитиля 1 мм (ЭОП-Св). Мощность тепловыделения одной свечи составляет до 50 Вт [12].

Эксперимент по тушению ЭОП-Св различными веществами с помощью модели огнетушителя

В ходе подготовительной части эксперимента проведено тушение девяти ЭОП-Св навеской порошка Вексон-АВСЕ общей массой 60 г. После просмотра видеозаписи подач была выдвинута гипотеза, что тушение достигается, главным образом, за счет эффекта срыва пламени. Для ее проверки проведена серия аналогичных экспериментов с различными веществами в качестве ОТВ: порошка Вексон-АВСЕ; песка строительного, содержащего в составе более крупные по сравнению с порошком фракции, и муки пшеничной, которая сходна с порошком по дисперсному составу, но является горючим веществом. Результаты тушения ЭОП-Св представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты тушения очагов-свечей в количестве 17 единиц различными веществами

Расстояние от среза макета огнетушителя, м	Количество потушенных очагов при подаче навески		
	порошок Вексон-АВСЕ, m = 60 г	мука пшеничная, m = 50 г	песок строительный, m = 100 г
1	5	4	3
2	12	9	4
3	0	0	3

Отличия в количестве потушенных разными веществами очагов на расстоянии 2 м можно объяснить различной площадью поперечного сечения потока ОТВ, которая зависит от его дисперсного состава. В составе песка в отличие от порошка и муки преобладают крупные тяжелые частицы, которые формируют компактную струю с большей дальностью подачи. Это объяснение подтверждается количеством потушенных очагов с расстояния 3 м (три очага, потушенных песком, при отсутствии огнетушащего эффекта у «Вексона-АВСЕ» и муки).

Эксперимент по тушению ЭОП-Св струей воздуха (без ОТВ)

Проведено тушение очагов-свечей в количестве 17 единиц (табл. 3).

Таблица 3. Результаты тушения очагов-свечей струей воздуха

Расстояние от среза модели огнетушителя, м	Давление подачи, МПа	Количество потушенных очагов
1	0,5	1
		0
	0,6	1
1,5	0,5	0
2	0,5	0

Из табл. 2, 3 видно, что прохождение сквозь зону горения облака порошка Вексон с низкой скоростью (при подаче с расстояния 3 м) не дало эффекта, в то время как тушение с расстояния 2 м было достигнуто при подаче обычного строительного песка и пшеничной муки, которая является горючим веществом. При этом поток чистого воздуха без ОТВ имел относительно слабый огнетушащий эффект – потушен всего один очаг при малом расстоянии (1 м) и повышенном давлении подачи (0,6 МПа), в то время как тушение строительным

песком, состоящим из крупных тяжелых частиц, было достигнуто на расстоянии 3 м из-за сохранения высокой скорости струи ОТВ. Таким образом, можно сделать вывод, что тушение очагов-свечей достигается за счет эффекта срыва пламени, но только при условии высокой скорости потока подаваемого вещества.

Выводы

1. Разработанная система очагов пожара позволяет определить характеристики огнетушащего газопорошкового потока, необходимые для оценки его взаимодействия с горящими нефтепродуктами (огнетушащий эффект в поперечных сечениях потока, преобладающий механизм тушения пламени исследуемым ОТВ на заданном расстоянии), и, таким образом, повысить информативность оценки этого взаимодействия.

2. Экспериментально установлено, что при прохождении ОТВ сквозь зону горения преобладает механизм срыва пламени, что подтверждается успешным тушением очагов горения посредством подачи горючего вещества (муки) и вещества, обладающего сравнительно низким охлаждающим эффектом (песка строительного).

Литература

1. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982. 72 с.
2. Huang D., Wang X., Yang J. Influence of Particle Size and Heating Rate on Decomposition of BC Dry Chemical Fire Extinguishing Powders // *Particulate Science and Technology*. 2015. Vol. 33. Issue 5. P. 488–493.
3. Yan Y., Han Z., Zhao L., Du Z., Cong X. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent // *Fire and Materials*. 2018. Vol. 42. Issue 3. P. 336–344.
4. Liu H., Zong R., Lo S., Hu Y., Zhi Y. Fire Extinguishing Efficiency of Magnesium Hydroxide Powders under Different Particle Size // *Procedia Engineering*. 2018. Vol. 211. P. 447–455.
5. Поляков А.С., Кожевин Д.Ф., Константинова А.С. Распределение фракций огнетушащего порошка в моделируемом нестационарном газовом потоке // *Пожаровзрывобезопасность*. Т. 28. № 6. 2019. С. 80–88.
6. Константинова А.С., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Распределение массы частиц огнетушащего порошка в условиях нестационарного газового потока // *Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф.* СПб.: ФГБОУ ВО С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2019. С. 369–373.
7. Polyakov A.S., Kozhevnikov D.F., Konstantinova A.S. Regularities of dry chemical powder particles mass distribution in cross sections of a non-stationary gas stream // *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: materials of the International Conference. Reports in English. Part 2*. May 16–17, 2019. Beijing, PRC.
8. Способ определения распределения огнетушащего порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока: пат. RU 2705914 С1 Рос. Федерация / Д.Ф. Кожевин, А.С. Константинова, А.С. Поляков; заявл. 28.01.19, опубл. 12.11.19, Бюл. № 32.
9. Константинова А.С., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Оценка влияния формы поперечного сечения регулирующего насадка на распределение фракций в газопорошковом потоке // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2020. № 3. С. 38–46.
10. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: docs.cntd.ru/document/1200027410 (дата обращения: 12.03.2021).
11. *Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2-х кн.* / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. Кн. 2. С. 153.
12. Иванов А.В., Штепанович Д.Л. Электростанция на свече // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2015. № 1. С. 16–20.

УДК 504.064

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИГРАЦИОННОГО ВОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВРЕДНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА КОНТАКТЕ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА С ТВЕРДОЙ ФАЗОЙ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

М.И. Ведзижев;

М.А. Галишев, доктор технических наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проведено изучение показателя проточности для почв, загрязненных различными нефтепродуктами. В качестве аналитического метода определения нефтяного загрязнения использован метод молекулярной люминесценции. Обработка спектров проведена с помощью функции Лоренца. На основании значений интенсивности люминесценции в изученных экстрактах рассчитан показатель проточности как отношение интенсивности люминесценции экстрактов почвенного раствора к интенсивности люминесценции экстрактов твердой фазы почв.

Ключевые слова: почва, нефтяное загрязнение, молекулярная люминесценция, показатель проточности

PROCEDURE FOR DETERMINATION OF MIGRATORY WATER INDEX OF OIL PRODUCTS HAZARDS ON CONTACT OF SOIL SOLUTION WITH SOLID PHASE OF SOILS USING SPECTRAL METHODS

M.I. Vedzizhev; M.A. Galishev.

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

In the work, the flow index for soils contaminated with various oil products was studied. Method of molecular luminescence is used as analytical method of oil contamination determination. Spectral processing was performed using the Lorentz function. On the basis of luminescence intensity values in studied extracts, flow rate is calculated as ratio of luminescence intensity of soil solution extracts to luminescence intensity of soil solid phase extracts

Keywords: soil, oil pollution, molecular luminescence, flow rate

При изучении негативного воздействия химических загрязнителей на природную среду помимо оценки влияния загрязнителей на каждый ее элемент, повышенное внимание должно уделяться процессам их взаимных переходов. В частности, в указанных процессах важное значение имеют переходы загрязнителей из почвы в атмосферу, гидросферу, живые организмы. Из всех компонентов природной среды почва наиболее инертна по отношению к загрязнителям. Она способна накапливать загрязняющие вещества и содержать их в ощутимых количествах в течение весьма длительного времени. Соответственно, от состояния почвы зависит состав и количество загрязнителей в наземных и подземных водах, а также в приземном слое атмосферы. Для оценки допустимого содержания нефтяного загрязнения в почве проводят сравнение степени загрязнения почвенной влаги с соответствующими допустимыми концентрациями нефтепродуктов в природных водоемах. Данное сравнение базируется на определении миграционного водного показателя вредности и соответствующего вида предельно допустимых концентраций вредных веществ в почве [1, 2]. В свою очередь, допустимое содержание загрязнителей в природных водоемах лимитируется тремя показателями

вредного воздействия: органолептическим, санитарно-токсикологическим и общесанитарным, а предельно допустимая концентрация устанавливается по наименьшей из этих трех концентраций [3, 4].

Для установления миграционного водного показателя вредности определяют показатель проточности, основывающийся на изучении миграционного переноса химических загрязнителей между твердой фазой почвы и почвенным раствором. Методика, установленная ГОСТом, базируется на проливе в динамическом режиме водного потока через колонку с естественно уплотненным слоем почвы [5]. После этого определяют содержание вредных веществ в твердой фазе почвы и в прошедшем через почву фильтрате. Для количественных определений используют комплекс физико-химических методов.

В настоящей работе проведено изучение показателя проточности для двух типов почв, загрязненных различными нефтепродуктами. В качестве аналитического метода определения нефтяного загрязнения использован метод молекулярной люминесценции [6, 7]. Метод молекулярной люминесцентной спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой областях спектра позволяет определять количественное содержание нефтепродуктов в почвах и природных водах, а также проводить групповую диагностику состава ароматических структур в нефтяном загрязнении [8, 9]. Преимуществом метода является его низкий предел обнаружения по ароматическим углеводородам. Метод характеризуется высокой экспрессностью и простотой пробоподготовки.

В работе изучены спектры люминесценции гексановых экстрактов твердой фазы почв и почвенных фильтратов. Образцами для исследования послужили образцы суглинистой и песчанистой почвы с внесенными в них автомобильным бензином АИ-95, дизельным топливом и мазутом. Спектры люминесценции снимались на приборе флюорат-03-Панорама в спектральном диапазоне длин волн от 240 до 480 нм. На рис. 1–4 показаны спектры люминесценции изученных гексановых экстрактов почв.

Количественное обнаружение компонентов по спектрам люминесценции ограничено верхним пределом, связанным с концентрационным гашением люминесценции [10]. Нефтепродукты представляют собой сложные смеси компонентов с различными способностями люминесцировать. При разных концентрациях нефтепродукта в образце преобладающий вклад в общую люминесценцию раствора вносят различные компоненты, что усложняет количественную калибровку метода. Для количественной оценки содержания нефтепродуктов в изученных экстрактах была проведена калибровка с использованием растворов моторного масла М-8Г в гексане. На рис. 1 приводится градуировочный график. Регрессионная зависимость концентрации нефтепродукта от интенсивности люминесценции не носит линейного характера. С ростом концентрации чувствительность метода, выражаемая как тангенс угла наклона градуировочного графика, снижается. Зависимость концентрации раствора от интенсивности люминесценции имеет вид:

$$C = -74,1 + 71,3 \exp(0,22I),$$

где C – концентрация раствора нефтепродукта, мкг/см^3 ; I – интенсивность люминесценции, мА .

При достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

При относительно низких концентрациях раствора нефтепродукта в гексане зависимость имеет линейный характер (рис. 2):

$$C = 25,95I - 7,81.$$

При достоверности аппроксимации $R^2 = 0,98$.

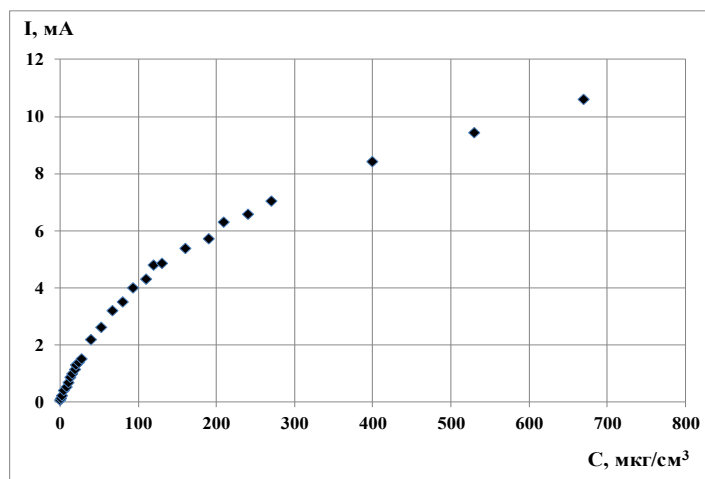


Рис. 1. Градуировочный график зависимости интенсивности люминесценции от концентрации нефтепродукта

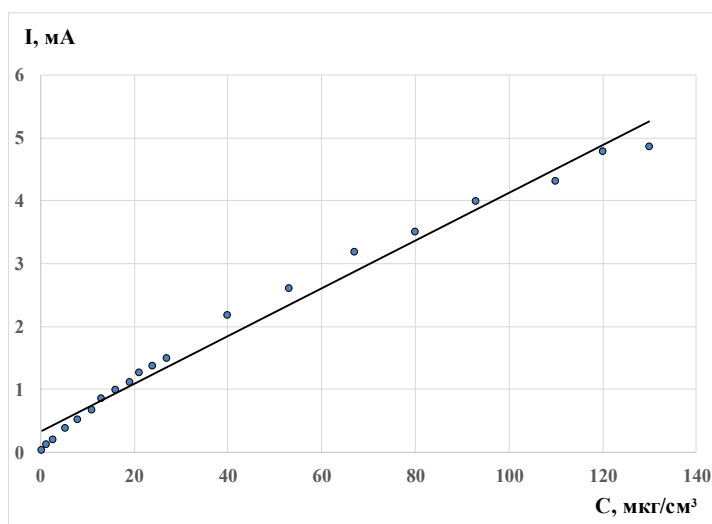


Рис. 2. Градуировочный график зависимости интенсивности люминесценции от концентрации нефтепродукта при низких концентрациях

На рис. 3–6 приводятся спектры люминесценции гексановых экстрактов твердой фазы почв и почвенного раствора образцов почв с нефтепродуктами.

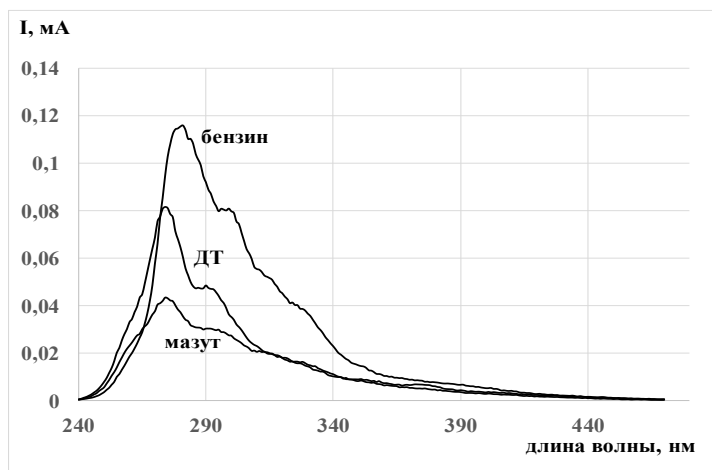


Рис. 3. Спектры люминесценции гексановых экстрактов почвенного раствора образцов суглинка с нефтепродуктами

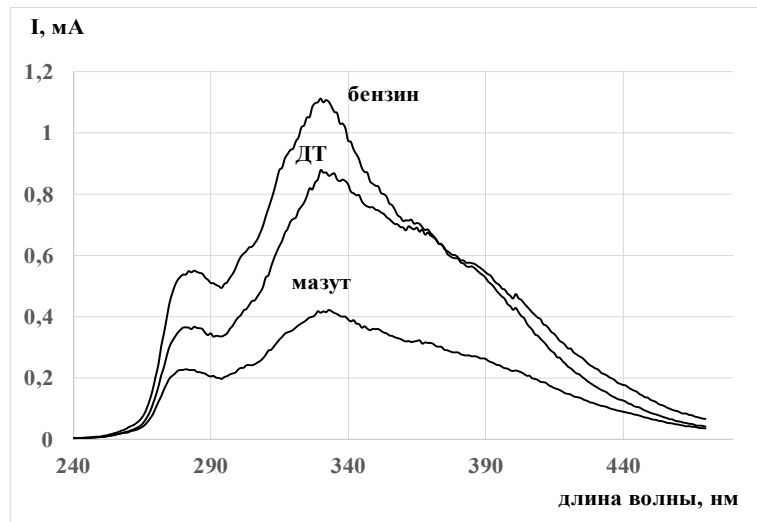


Рис. 4. Спектры люминесценции гексановых экстрактов твердой фазы почвы образцов суглинка с нефтепродуктами

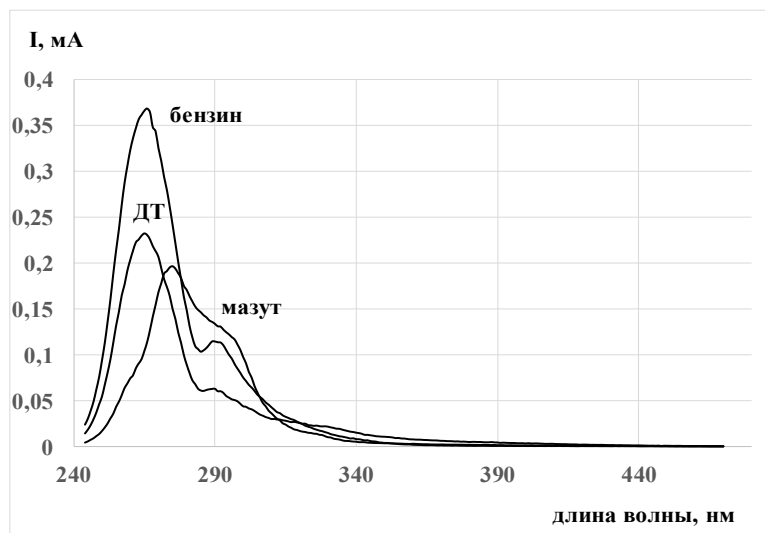


Рис. 5. Спектры люминесценции гексановых экстрактов почвенного раствора образцов песчаника с нефтепродуктами

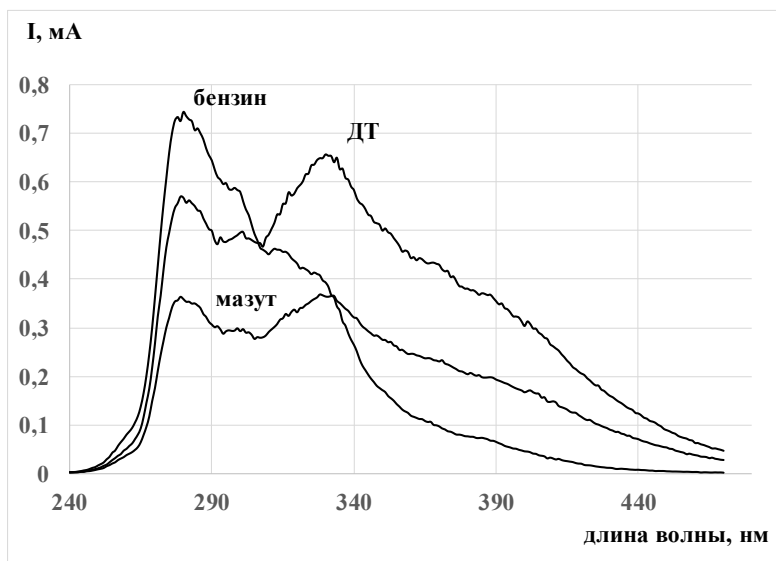


Рис. 6. Спектры люминесценции гексановых экстрактов твердой фазы почвы образцов песчаника с нефтепродуктами

Сравнение спектров люминесценции в диапазоне длин волн от 240 до 480 нм показало, что в экстрактах почвенных растворов преобладают легкие ароматические углеводороды, имеющие максимум люминесценции при длине волны 280÷300 нм. В экстрактах твердой фазы почв преобладают полициклические ароматические структуры с максимумом люминесценции в диапазоне длин волн 320÷380 нм. При этом интенсивность люминесценции в экстрактах образцов твердой фазы почв значительно выше, чем в экстрактах почвенного раствора.

Количественная интерпретация спектров люминесценции проведена путем выделения в суммарных спектрах индивидуальных максимумов, соответствующих различным длинам волн. Обработка спектров проведена с помощью функции Лоренца, позволяющей интерпретировать сложные спектры, состоящие из перекрывающихся максимумов различной интенсивности [11].

Функция Лоренца имеет вид:

$$I = I_0 + \frac{2A}{\pi} \frac{\omega}{4(\lambda - \lambda_c)^2 + \omega^2},$$

где I – значение интенсивности люминесценции в точке максимума (фототок детектора – I , мА); I_0 – смещение; λ_c – длина волны спектрального максимума, нм; ω – полуширина спектрального максимума, нм; A – площадь спектрального максимума.

При $\lambda = \lambda_c$, площадь спектрального максимума равна:

$$A = H\omega\pi/2,$$

где H – высота спектрального максимума, мА.

На рис. 7, 8 приведены примеры обработки спектров функцией Лоренца.

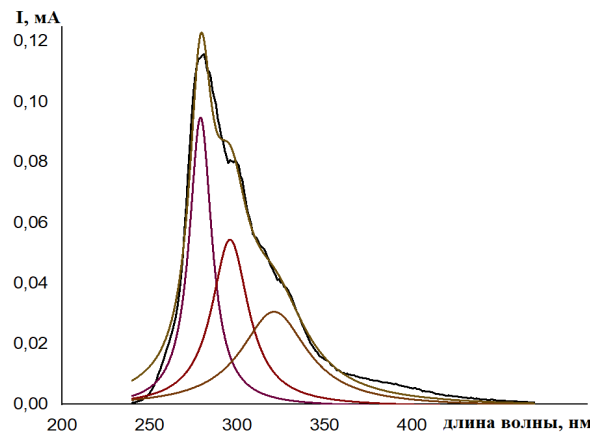


Рис. 7. Разложение на индивидуальные максимумы спектра люминесценции экстракта почвенного раствора суглинистой почвы с внесенным бензином

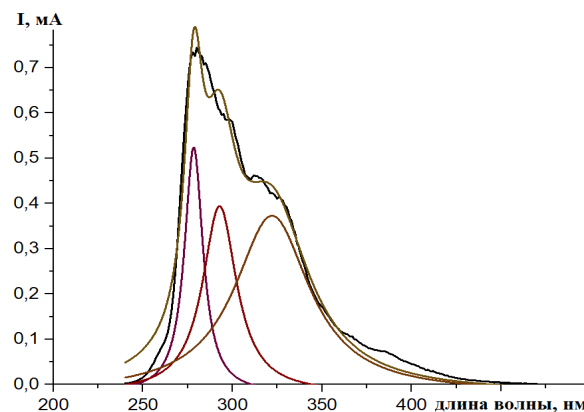


Рис. 8. Разложение на индивидуальные максимумы спектра люминесценции экстракта твердой фазы песчанистой почвы с внесенным бензином

На рис. 9, 10 приводятся столбчатые диаграммы, отражающие значения площадей спектральных максимумов в спектрах экстрактов почвенных растворов (рис. 9) и твердой фазы почв (рис. 10).

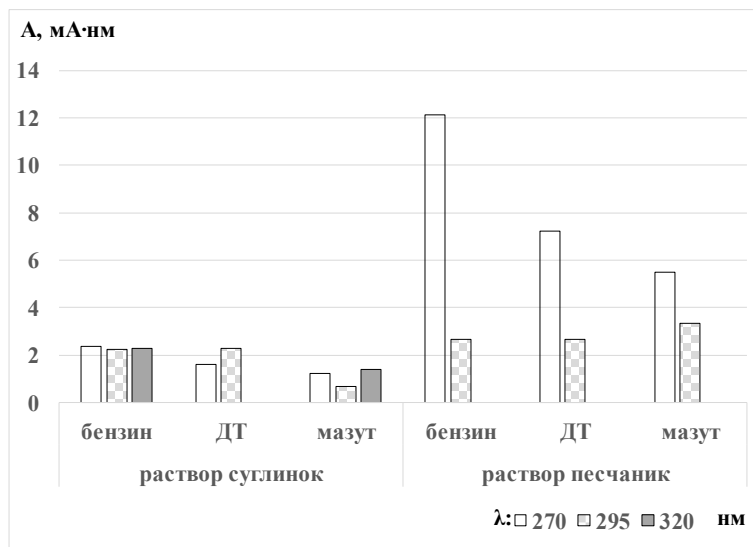


Рис. 9. Значения площадей спектральных максимумов в спектрах экстрактов почвенных растворов

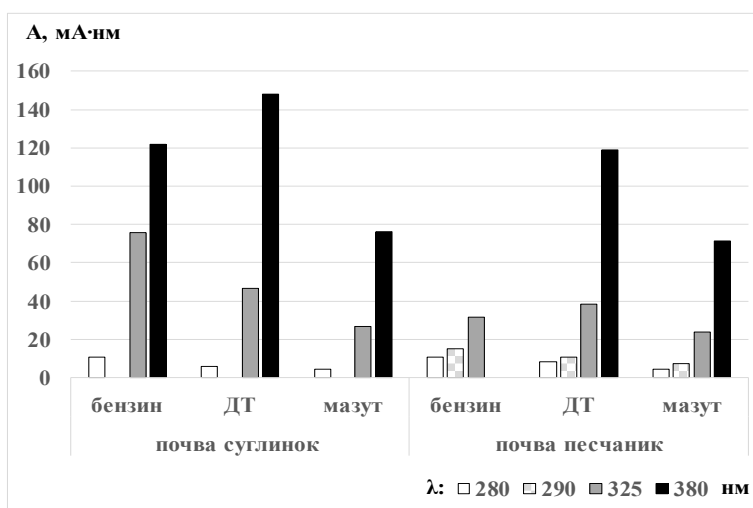


Рис. 10. Значения площадей спектральных максимумов в спектрах экстрактов твердой фазы почв

При определении миграционного водного показателя устанавливают так называемый показатель проточности, показывающий степень миграционного переноса химических веществ из твердой фазы почвы в почвенный раствор.

На основании значений интенсивности люминесценции в изученных экстрактах рассчитан показатель проточности как отношение интенсивности люминесценции экстрактов почвенного раствора к интенсивности люминесценции экстрактов твердой фазы почв:

$$K_{\text{проточн.}} = \frac{I_L}{I_S},$$

где I_L – интенсивность люминесценции экстрактов почвенного раствора, мА; I_S – интенсивность люминесценции экстрактов твердой фазы почв, мА.

Экспериментально определенные значения показателя проточности, рассчитанные по суммарной интенсивности люминесценции экстрактов приведены в табл. 1. Показатель проточности для песчанистой почвы существенно выше, чем для суглинка. При этом по бензину этот показатель для песчаника выше в девять раз, по другим нефтепродуктам – примерно в три раза.

Таблица 1. Значения показателя проточности для различных типов почв, рассчитанные по суммарной интенсивности люминесценции

Тип почвы	Вид нефтепродукта		
	бензин АИ-95	дизельное топливо	мазут
суглинок	0,03	0,02	0,03
песчаник	0,26	0,06	0,08

В табл. 2 приведены значения показателя проточности, рассчитанные по моноароматическим углеводородам. И в этом случае данный показатель в песчанистой почве значительно выше, чем в суглинке, причем по бензину он выше более чем в 20 раз.

Таблица 2. Значения показателя проточности для различных типов почв, рассчитанные по интенсивности люминесценции моноароматических углеводородов

Тип почвы	Вид нефтепродукта		
	бензин АИ-95	дизельное топливо	мазут
суглинок	0,02	0,02	0,02
песчаник	0,47	0,06	0,09

Учитывая тот факт, что в обоих случаях экспериментального определения показатель проточности для песчаника выше, чем для суглинистой почвы, также можно сделать вывод о том, что данные, полученные в соответствии с методикой определения миграционного водного показателя вредности нефтепродуктов на контакте почвенного раствора с твердой фазой почв с использованием спектральных методов, являются подтверждением зависимости степени миграционного переноса химических веществ из твердой фазы почвы в почвенный раствор (показатель проточности) от типа почв.

Литература

1. Валова В.Д. Основы экологии: учеб. для высш. шк. М.: Дашков и Ко, 2001. 211 с.
2. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве (по состоянию на июль 2011 г.). URL: <http://www.bestpravo.ru/sssrf/eh-normy/f3r.htm> (дата обращения: 15.09.2020).
3. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практическое руководство. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 270 с.
4. ГН 2.1.5.1315–03. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». М.: Минздрав России, 2003.
5. ГОСТ 17.4.3.03–85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ сооружений // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200005921 (дата обращения: 15.09.2020).
6. ПНД Ф 16.1:2.21–98. Методика выполнения измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (М 03-03–2012) (изд. 2012 г.). URL: docs.cntd.ru/document/1200079424 (дата обращения: 15.09.2020).
7. ПНД Ф 14.1:2:4.128–98. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе

жидкости «Флюорат-02» (изд. 2017 г.). URL: docs.cntd.ru/document/1200079424 (дата обращения: 15.09.2020).

8. Дементьев Ф.А., Галишев М.А. Количественное перераспределение полиароматических углеводородов в почвах различного механического состава как критерий динамики нефтяных загрязнений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. № 4 (20). С. 11–16.

9. Дементьев Ф.А., Бельшина Ю.Н., Акимов А.Л. Исследование ароматических углеводородов в качестве идентификационных признаков нефтяного загрязнения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2011. № 3. С. 31–37.

10. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения: Молекулярная люминесценция. М.: Изд-во МГУ, 1989. 272 с.

11. Решетов А.А., Галишев М.А., Шарапов С.В. Использование информационных ресурсов спектрального анализа путем представления графической информации в численном виде методом нелинейной аппроксимации функцией Лоренца // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 4. С. 66–73.

УДК 504.06

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Р.Г. Зайкин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

В.А. Ловчиков, доктор химических наук, профессор.

Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. академика С.В. Лебедева

Предложены совокупность и порядок действий, используемых для диагностики качественного состава нефтяного загрязнения почв. Проведено изучение почв городской среды двумя скрининговыми методами. Первый – арбитражный ИК-спектроскопический метод определения содержания нефтепродуктов в почвах. Второй – молекулярной люминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. Для идентификации нефтяного загрязнения в почвах проведена цифровая кодировка ИК-спектров экстрактов почв с использованием метода распознавания образов. Изучение нефтяного загрязнения почв двумя независимыми методами исследования дают весьма сопоставимые результаты. В то же время каждый из этих методов позволяет по-своему интерпретировать качественный состав органических компонентов, содержащихся в почвах.

Ключевые слова: почва, нефтяное загрязнение, молекулярная люминесценция, инфракрасная спектроскопия, криминалистическая диагностика

DIAGNOSTIC TECHNIQUE FOR QUALITATIVE COMPOSITION OF OIL CONTAMINATION OF SOILS BASED ON RESULTS OF INFRARED SPECTROSCOPY AND MOLECULAR LUMINESCENCE

R.G. Zaykin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

V.A. Lovchikov. Scientific research institute of synthetic rubber named after academician S.V. Lebedev

The paper proposes the set and procedure of actions used to diagnose the qualitative composition of oil contamination of soils. The soil of the urban environment was studied by two

screening methods. The first is an arbitration IR spectroscopic method for determining the content of petroleum products in soils. The second is molecular luminescence in the ultraviolet and visible regions of the spectrum. To identify oil contamination in soils, digital coding of infrared spectra of soil extracts was carried out using the pattern recognition method. The study of oil contamination of soils by two independent methods of research yields very comparable results. At the same time, each of these methods allows us to interpret the qualitative composition of organic components contained in soils in its own way.

Keywords: soil, oil pollution, molecular luminescence, infrared spectroscopy, forensic diagnostics

Под криминалистической диагностикой принято понимать установление природы, состояния или свойств изучаемых объектов при сравнительном исследовании их признаков с соответствующими признаками диагностирующих объектов. Диагностика осуществляется путем выявления природы и свойств объектов в ходе их непосредственного изучения, в тоже время диагностирующие объекты могут существовать как в материальном, так и идеальном виде, например, в виде комплекса свойств, зафиксированных в справочниках, каталогах. В отличие от диагностики, криминалистическая идентификация заключается в установлении факта индивидуально конкретного тождества путем взаимного сопоставления объекта и его отображения или части объекта, отделившегося от целого. Поэтому обязательным условием идентификации является изучение двух или нескольких материальных объектов для установления их общих, объединяющих или различающих признаков [1].

Трудно разрешимыми задачами следует считать идентификацию нефтепродуктов, в частности, нефтяного загрязнения в природных средах. Однотипность продуктов, выпускаемых различными производителями, а также особенности физико-химических свойств этих веществ, такие как непостоянство и изменчивость состава, под влиянием внешних факторов делает их весьма сложными объектами криминалистического изучения [2]. При проведении массовых анализов задачи идентификации, как правило, не ставятся. При этом важно лишь определить принадлежности диагностируемого объекта к определенной группе, классу, типу.

В настоящей работе было проведено изучение почв городской среды, отобранных в различных локациях Красносельского района Санкт-Петербурга. Места отбора проб показаны на схеме (рис. 1). Перечень образцов почвы с указанием места ее отбора и описанием внешнего вида приведен в таблице.

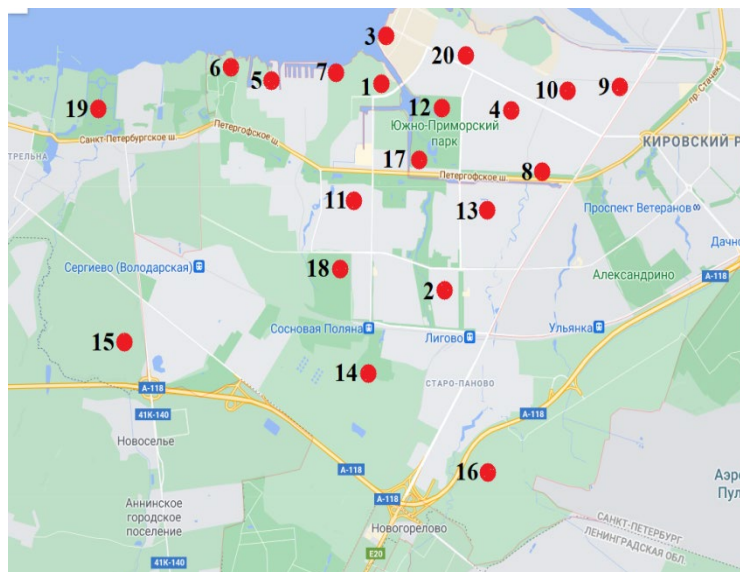


Рис. 1. Карта отбора образцов почвы в различных локациях городской среды Красносельского района Санкт-Петербурга

Таблица. Местность отбора и описание внешнего вида образцов почвы

№ образца	Местность отбора	Внешний вид
1	Стройка дома № 1	Почва бурого оттенка с элементами травы
2	Автомобильная парковка	Почва черно-серого оттенка с вкраплениями песка
3	Берег Финского залива (рядом с погашенным костром)	Песок желтого оттенка
4	Придомовая территория	Почва светло-серого оттенка
5	Берег Финского залива (вблизи воды)	Песок светло-желтого оттенка
6	Берег Финского залива (вблизи насыпи камней)	Песок с вкраплениями мелких камней
7	Пляжная территория Финского залива	Песок желтого цвета
8	Территория мастерской шиномонтажа	Почва черного цвета
9	Стоянка автомобилей	Почва светло-серого оттенка
10	Территория автозаправочной станции	Почва черного цвета
11	Территория автосервиса	Почва черно-серого оттенка с вкраплениями песка
12	Лесопарковая зона	Почва коричневого цвета с листьями
13	Стройка дома № 2	Почва бурого оттенка с элементами травы и строительных обломков
14	Лесополоса № 1	Черная почва с вкраплениями камней и листьев
15	Лесополоса № 2	Песок с элементами земли и листьев
16	Лесополоса № 3	Светло-коричневая почва
17	Берег пруда	Песок светло-желтого оттенка
18	Вблизи лесных насаждений	Почва с вкраплениями иголок хвойных деревьев
19	Вблизи кустарников	Почва бежевого оттенка
20	Вблизи заведения общественного питания	Почва коричневого оттенка

Арбитражным методом определения нефтепродуктов в почвах и водных пробах принят метод инфракрасной спектроскопии [3]. Метод основан на измерении колебательных спектров углеводородных молекул в спектральной области от 2 700 до 3 100 см^{-1} . Экстракцию нефтепродуктов проводят четыреххлористым углеродом. В последнее время, ввиду высокой токсичности четыреххлористого углерода, его заменяют на тетрахлорэтилен.

Согласно данной методике содержание нефтепродуктов фиксируется по полосам поглощения функциональных групп предельных и ароматических углеводородов (УВ), наблюдаемым в области волновых чисел 2 800–3 000 см^{-1} . Основные из них [4]:

- CH_3 (концевые) – ассиметричные – 2 950–2 975 см^{-1} , симметричные – 2 865–2 885 см^{-1} ;
- CH_2 – ациклические – ассиметричные 2 915–2 940 см^{-1} , симметричные – 2 840–2 870 см^{-1} ;
- Ar-CH_3 2965 – 2985 см^{-1} .

При обработке результатов, полученных в настоящей работе, для сравнительного анализа был выбран интервал волновых чисел от 2 800 см^{-1} до 3 050 см^{-1} .

Полученные результаты позволили все изученные образцы подразделить на несколько групп. Наиболее интенсивное поглощение и, соответственно, максимальное содержание нефтепродуктов наблюдается в образцах № 3 и № 11. В образце почвы № 13 общая интенсивность полос поглощения примерно в два раза ниже, чем в образцах 3 и 11. Следующая группа объединяет образцы с содержанием нефтепродуктов от 0,2 до 0,3

от максимального. Это образцы № 4, 6, 8, 9, 12, 14, 15, 16. Наконец, образцы № 1, 2, 5, 7, 10, 17, 18, 19, 20 составляют группу «чистых» образцов по содержанию нефтепродуктов.

Качественная расшифровка ИК-спектров экстрактов образцов почв проводилась с использованием функции Лоренца, позволяющей выделять в суммарном спектре единичные полосы поглощения [5].

Функция Лоренца имеет вид:

$$y = y_0 + \frac{2A}{\pi} \frac{\omega}{4(\nu - \nu_c)^2 + \omega^2},$$

где y – максимальное значение полосы поглощения, отн. ед.; y_0 – смещение; $H = y - y_0$ – интенсивность полосы поглощения, отн. ед.; ν – волновое число, см^{-1} ; ν_c – волновое число в точке спектрального максимума, см^{-1} ; ω – полуширина спектрального максимума, см^{-1} ; A – площадь полосы поглощения, отн. ед.

Основными характеристиками единичной полосы поглощения являются волновое число в точке максимума и площадь. Легко показать, что при $\nu = \nu_c$ площадь полосы поглощения:

$$A = H\omega\pi/2.$$

При качественной расшифровке спектров экстрактов образцов почв экспериментально получены полосы поглощения 2 875, 2 920–2 960, 2 970 см^{-1} . При данных волновых числах происходят валентные колебания метильной группы CH_3 и метиленовой группы CH_2 . Полоса поглощения 2 970 см^{-1} возможно частично обусловлена колебаниями CH_2 группы ароматического характера.

Волновое распределение полос поглощения в спектрах наиболее загрязненных образцов 3 и 11 имеет идентичный характер с интенсивными полосами поглощения и ИК-спектрах 2 875, 2 937, 2 970 см^{-1} (рис. 2).

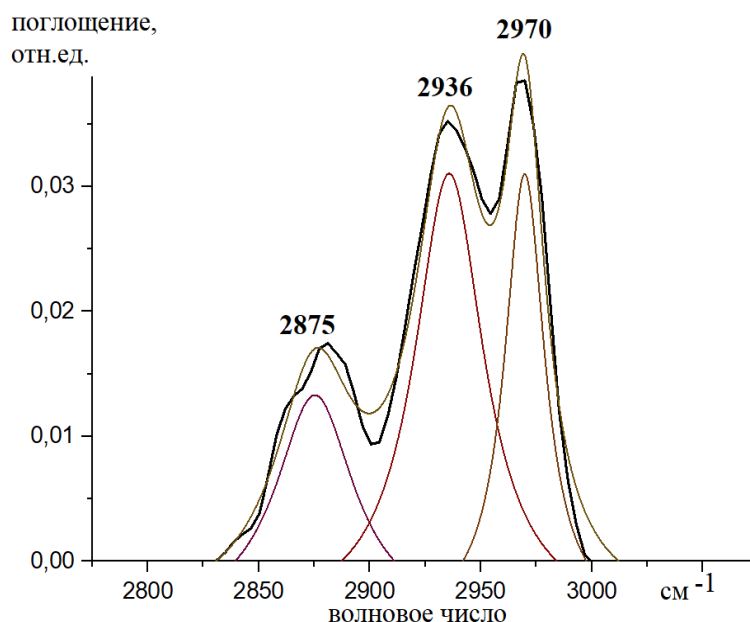


Рис. 2. ИК-спектр экстракта образца почвы № 3 с разделением на индивидуальные полосы поглощения функцией Лоренца

Волновое распределение полос поглощения в спектре образца 13 иное, чем в спектрах образцов 3 и 11 (рис. 3). В диапазоне волновых чисел 2 920–2 960 см^{-1} здесь наблюдается дуплет, состоящий из полос поглощения 2 931, 2 953 см^{-1} .

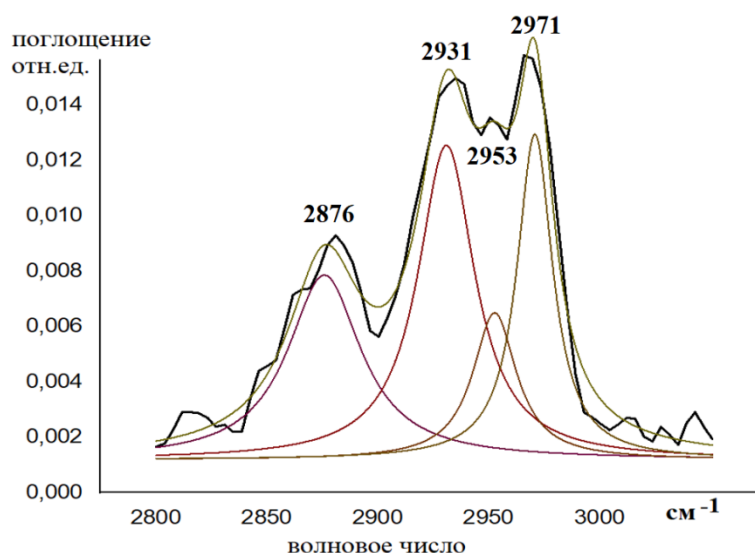


Рис. 3. ИК-спектр экстракта образца почвы № 13 с разделением на индивидуальные полосы поглощения функцией Лоренца

У образцов с относительно невысоким уровнем нефтяного загрязнения в ИК-спектре в диапазоне волновых чисел $2\,920\text{--}2\,940\text{ см}^{-1}$ часто появляется дуплет, состоящий из полос поглощения $2\,920, 2\,939\text{ см}^{-1}$ (рис. 4). На настоящем этапе исследования не представилось возможным полностью идентифицировать все слабые полосы в спектрах. По-видимому, наиболее продуктивным способом идентификации таких спектров можно считать фингерпринтный анализ, в том виде как его используют для идентификации спектров в области $600\text{--}1\,000\text{ см}^{-1}$.

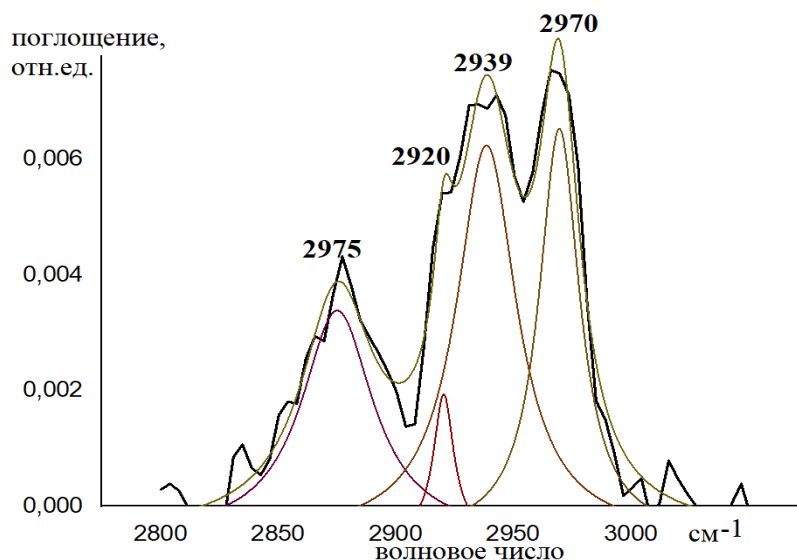


Рис. 4. ИК-спектр экстракта образца почвы № 16 с разделением на индивидуальные полосы поглощения функцией Лоренца

Для решения задач идентификации нефтяного загрязнения в почвах в работе проведена цифровая кодировка ИК-спектров экстрактов почв с использованием метода распознавания образов [6]. Координатами при формализации ИК-спектров послужили волновые числа и площади индивидуальных спектральных полос поглощения. По этим данным построены столбчатые диаграммы наиболее распространенных типов полученных в работе ИК-спектров (рис. 5–7).

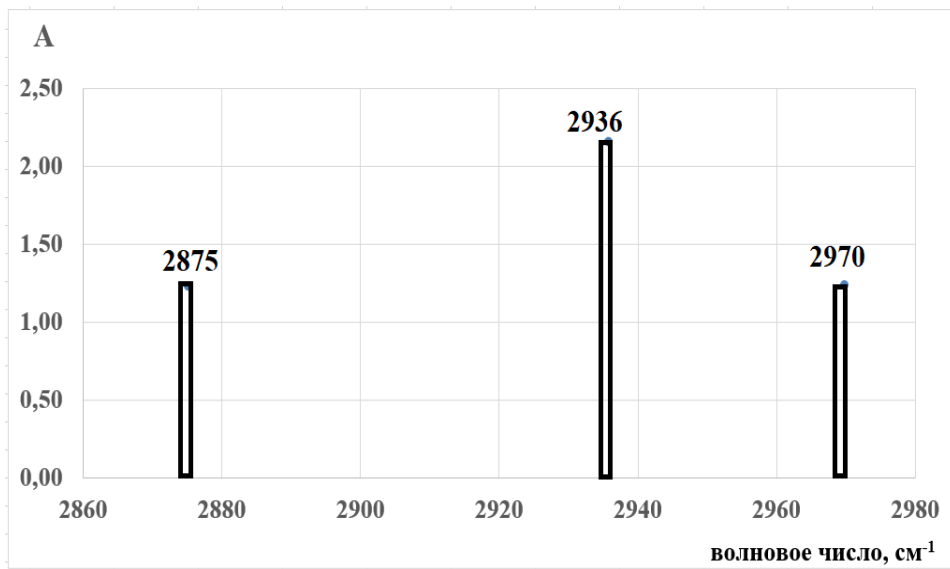


Рис. 5. Формализованный ИК-спектр образца почвы № 3

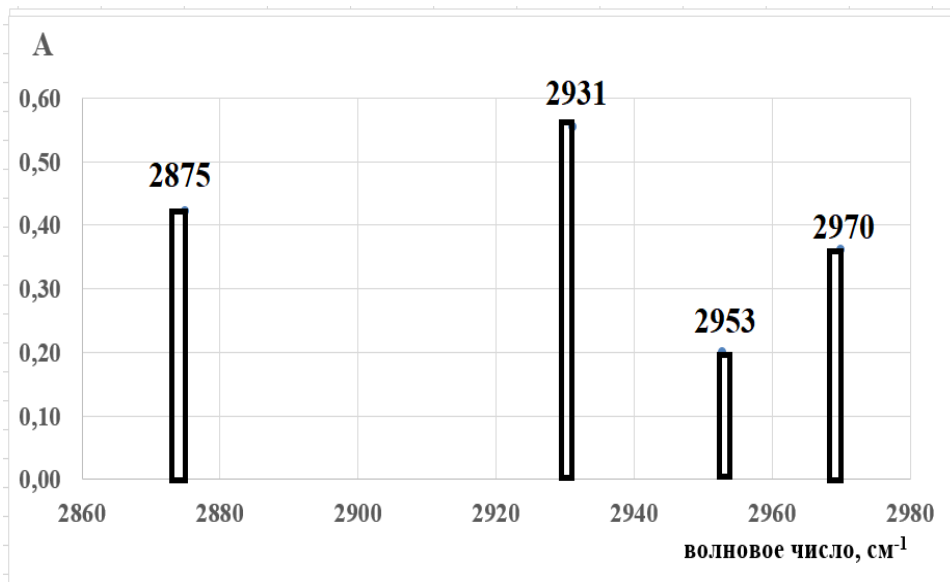


Рис. 6 . Формализованный ИК-спектр образца почвы № 13

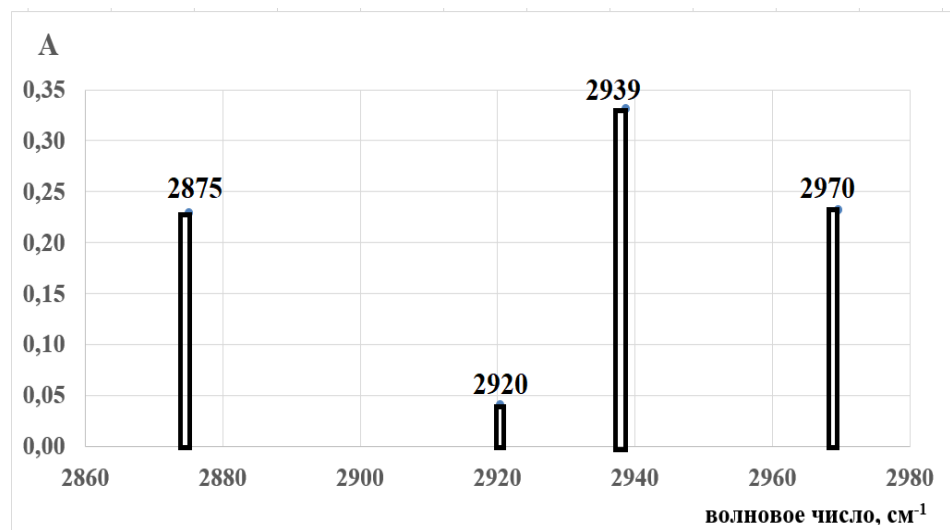


Рис. 7. Формализованный ИК-спектр образца почвы № 16

Вторым методом, использованным в работе, был метод, основанный на экстракции из почв органических соединений гексаном и исследовании гексановых экстрактов методом молекулярной люминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях спектра [7].

Общее содержание органических компонентов ароматического ряда в изученных почвах определялось как суммарная интенсивность люминесценции в диапазоне от 290 до 450 нм. При изучении вида спектров люминесценции выделяются две зоны максимумов люминесценции. Первая охватывает интервал от 290 до 340 нм и согласно ранее полученным данным связана с люминесценцией моноароматических структур [8]. Вторая зона максимума охватывает интервал длин волн от 340 до 430 нм и связана с люминесценцией полиароматических углеводородов (ПАУ) и смолистых компонентов, которые не составляют нефтяного загрязнения, а являются природным фоном органических соединений. Соответственно, была рассчитана суммарная интенсивность люминесценции в указанных интервалах длин волн. Рассчитан коэффициент, отражающий отношение содержания моноароматических и полиароматических структур – $K_{\text{ЛАР/ПАУ}}$. По полученным данным построена столбчатая диаграмма (рис. 8), отражающая количественное соотношение люминесцирующих компонентов в изученных образцах почв.

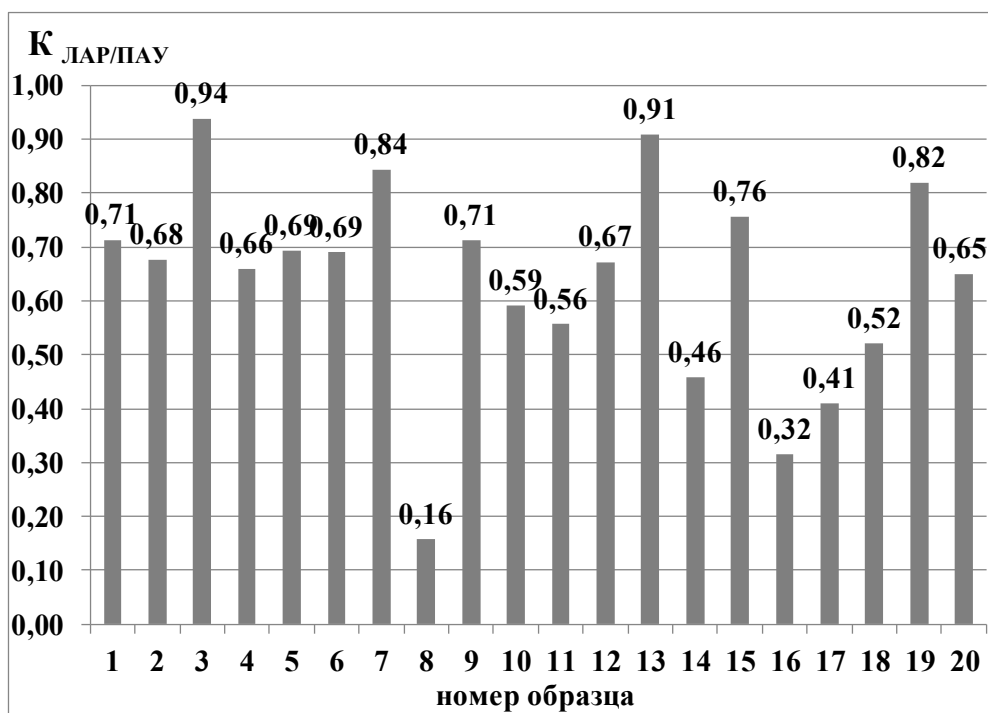


Рис. 8. Соотношение между моноароматическими и полиароматическими УВ в экстрактах органического вещества почв городской среды

Рассматривая качественный характер люминесценции изученных образцов, можно выделить три группы образцов почв.

В образцах 8, 14, 16, 17 наблюдается преобладание ПАУ над моноциклическими ароматическими УВ. Это характеризует природный тип органического вещества почв (рис. 9).

В образцах 2, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 18, 20 наблюдается примерно равное соотношение между моноциклическими ароматическими УВ и ПАУ. Это характеризует смешанный тип органического вещества почв с относительно высокой долей нефтяного загрязнения. $K_{\text{ЛАУ/ПАУ}}$ в этих образцах от 0,5 до 0,75 (рис. 10).

Образцы 3, 7, 13, 15, 19 по типу органического вещества почв можно отнести к нефтяному загрязнению, доминирующему над природным фоном органических веществ (рис. 11).

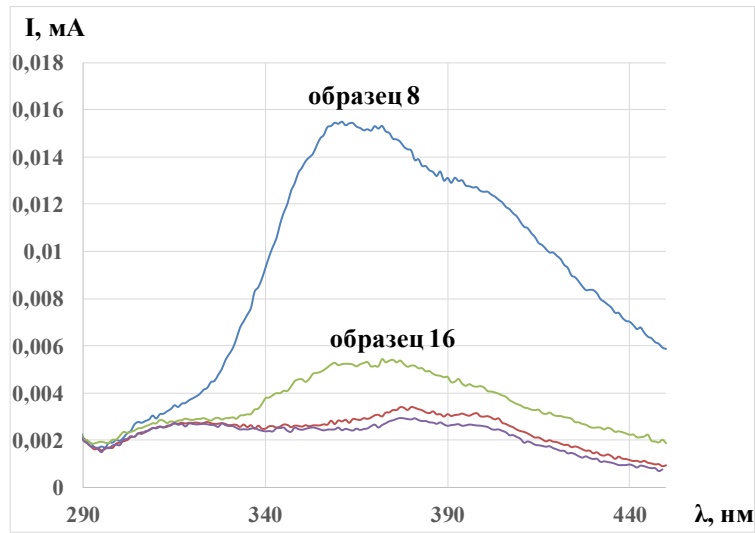


Рис. 9. Спектры люминесценции экстрактов образцов почв, содержащих природный тип органического вещества

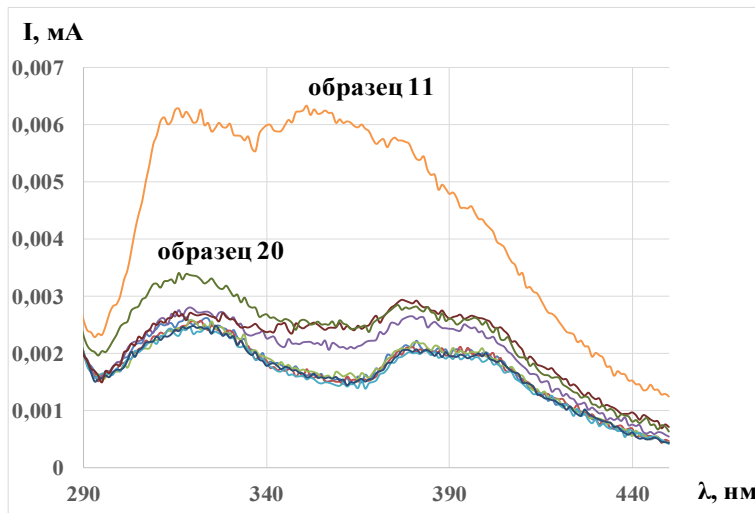


Рис. 10. Спектры люминесценции экстрактов образцов почв, содержащих смешанный тип органического вещества

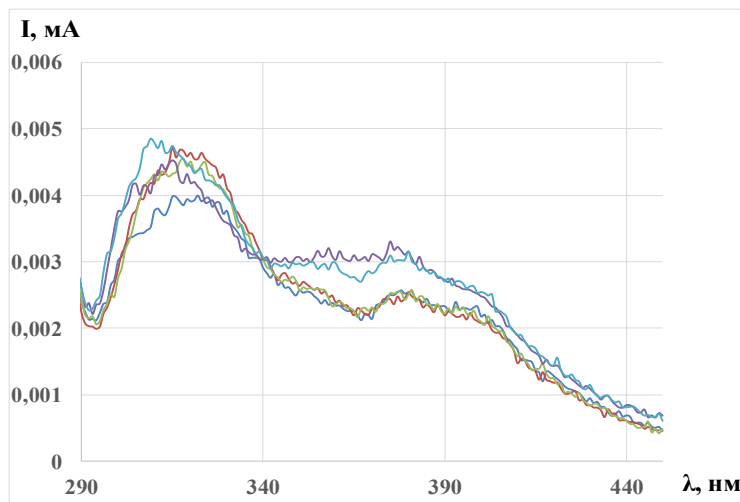


Рис. 11. Спектры люминесценции экстрактов образцов почв, содержащих нефтяной тип органического вещества

В работе проведен корреляционный анализ силы (тесноты) связи между результатами, получаемыми при изучении нефтяного загрязнения почв двумя методами анализа нефтепродуктов в почвах. Два выбранных метода взаимно дополняют друг друга, давая независимые результаты, основанные на изучение различных классов нефтяных углеводородов. Первый в основном фиксирует содержание алифатических углеводородов и легких ароматических углеводородов бензольного ряда, второй – содержание нефтепродуктов по всему спектру ароматических структур.

В качестве переменных, взаимосвязь которых устанавливалась в исследовании, были выбраны содержание нефтепродуктов, определяемое методом ИК-спектроскопии, и содержание ароматических УВ, определяемой методом молекулярной люминесценции. Эта взаимосвязь проявляется в совместной вариации: при изменении одного показателя имеет место тенденция изменения другого. Для получения стандартизированной величины силы (тесноты) взаимосвязи использовался линейный коэффициент корреляции Пирсона [9]:

$$r = \frac{\sum(X_i - X_{cp})(Y_i - Y_{cp})}{\sqrt{\sum(X_i - X_{cp})^2 \sum(Y_i - Y_{cp})^2}}$$

где r – коэффициент корреляции Пирсона; X_i и Y_i – значения показателей; X_{cp} и Y_{cp} – средние значения показателей.

В качестве объекта изучения послужили 20 образцов почв городской среды, изученные в настоящей работе. Линейный коэффициент корреляции между содержанием нефтепродуктов в почвах, полученным методом ИК-спектроскопии и суммарным содержанием ароматических УВ, полученным методом молекулярной люминесценции составляет величину 0,30, что свидетельствует о слабой корреляции между этими двумя массивами данных.

При интерпретации спектров люминесценции была выделена группа моноароматических соединений, которая, по существу, и отражает содержание нефтяных УВ. Проведен корреляционный анализ тесноты связи между содержанием нефтепродуктов, определяемым методом ИК-спектроскопии и содержанием моноароматических УВ, определяемым методом молекулярной люминесценции. В этом случае коэффициент корреляции Пирсона имеет значение 0,67, что показывает достаточно высокую тесноту связи между этими двумя массивами данных.

Таким образом, установлено, что изучение нефтяного загрязнения почв двумя независимыми методами исследования дают весьма сопоставимые результаты. В то же время каждый из этих методов позволяет по-своему интерпретировать качественный состав органических компонентов, содержащихся в почвах.

Литература

1. Криминалистика: учеб. для вузов / Т.В. Аверьянова [и др.]; под ред. Р.С. Белкина. М.: НОРМА (НОРМА–ИНФРА М), 2001. 990 с.
2. Егорилов П.Н., Решетов А.А., Галишев М.А. Методическая система криминалистического исследования нефтепродуктов в судебной экспертизе // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. 2012. № 4. С. 140–146.
3. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. ПНД Ф 16.1:2.2.22–98 (изд. 2005 г.). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
4. Определение строения органических соединений: таблицы спектральных данных / Э. Преч [и др.]; пер. с англ. Б.Н. Тарасевича. М.: Мир: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 439 с.
5. Решетов А.А., Галишев М.А., Шарапов С.В. Использование информационных ресурсов спектрального анализа путем представления графической информации в численном

виде методом нелинейной аппроксимации функцией Лоренца / Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 4. С. 66–73.

6. Закономерности перераспределения нефтяного загрязнения в почвах различных типов и механических фракций / М.А. Галишев [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018. № 6. С. 13–17.

7. Методика выполнения измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (М 03-03–2012). ПНД Ф 16.1:2.21–98 (изд. 2012 г.). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

8. Дементьев Ф.А., Галишев М.А. Количественное перераспределение полиароматических углеводородов в почвах различного механического состава как критерий динамики нефтяных загрязнений // Проблемы управления риском в техносфере. 2011. № 4 (20). С. 11–16.

9. Математическая статистика: учеб. пособие / Д.К. Агишева [и др.]. Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2010. 159 с.

УДК 614.841.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ БЕТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

О.В. Абразумов;

А.Ю. Лебедев, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Работа посвящена анализу результатов исследования скорости прохождения ультразвука в бетонных материалах, в том числе, подвергнутых заморозке при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ после обжига до температуры $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведенные исследования подтверждают, что метод ультразвуковой дефектоскопии позволяет проводить качественную оценку степени термического разрушения исследуемых образцов.

Ключевые слова: степень термической деструкции, метод акустического анализа, метод ультразвуковой дефектоскопии

DETERMINATION OF THE DEGREE OF THERMAL DESTRUCTION OF CONCRETE MATERIALS BY ACOUSTIC ANALYSIS

O.V. Abrazumov; A.Yu. Lebedev.

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

The work is devoted to the analysis of the results of the study of the speed of ultrasound transmission in concrete materials subjected to freezing and subsequent thermal exposure. The conducted studies confirm that the method of ultrasonic flaw detection allows for a qualitative assessment of the degree of thermal destruction of the studied samples.

Keywords: degree of thermal destruction, acoustic analysis method, ultrasonic flaw detection method

Регионы, входящие в Арктическую зону, занимают пятую часть территории нашей страны. Сюда можно отнести территории Камчатского края, Чукотского автономного округа, Республики Саха и др. В этих районах проживает треть населения России. Именно здесь

размещается большая часть ресурсных запасов полезных ископаемых, критически необходимых для нормального функционирования промышленности и экономики в целом.

Для Арктической зоны, как и для всех регионов, находящихся в холодных климатических районах России, характерны суровые метеорологические условия, особенно в зимний период года. Зона экстремально низких температур для холодных климатических районов России имеет довольно широкую область, температура в них может достигать $-64,4$ °С.

Условия низких температур усложняют работу не только по локализации пожара, но также и по поиску очага пожара и причинам его возникновения. Это напрямую влияет на деятельность дознавателей и пожарно-технических экспертов [1]. Экстремально низкие температуры не позволяют использовать в должном объеме методы пожарно-технической экспертизы: отключение оборудования из-за разрядки аккумуляторных батарей, предоставление неверных данных приборами ввиду образования корки льда после тушения пожара на исследуемых объектах и др. [2].

На сегодняшний день наблюдается острый недостаток технической и аналитической литературы, посвященной вопросам организации и проведения экспертных исследований пожаров в условиях пониженных температур. Эта проблема требует более детального рассмотрения и поисков ее решения [3].

Целью данной работы стало изучение влияния низких температур на результаты исследования бетонных конструкций, подвергнутых обжигу. За основу была взята классическая методика пожарно-технической экспертизы, основанная на измерении скорости прохождения по материалу поверхностных ультразвуковых волн.

Объектом исследования был выбран бетонный блок ФБС (фундаментный блок сплошной) с исходными размерами $400 \times 200 \times 200$ мм. Подобные блоки применяются при устройстве ленточных фундаментов и стен подвалов в зданиях всех типов [4]. Блок представляет собой кладочный элемент прямоугольной формы. Производится в заводских условиях. Страна-производитель – Россия. Бетон, из которого состоит блок, имеет класс прочности на сжатие В7,5 и маркировку М100 [5]. В качестве твердого наполнителя был использован щебень марки М600. Прочность данного бетона – 98 кг/см^2 , водостойкость – W2–W4, морозостойкость – F50–F100, подвижность – П2–П4. Масса блока – 36 кг [6, 7].

При проведении исследования использовалось следующее оборудование:

1. Муфельная печь «SNOL 30/1100», диапазон рабочих температур до 1100 °С.
2. Ультразвуковой тестер «UK1401», диапазон измерений времени распространения продольных ультразвуковых волн от 25 до 100 мкс.
3. Морозильная камера холодильника «ATLANT XM 4023-000»; температура камеры -15 °С.

Бетонные образцы, выбранные в качестве объектов исследования, были подвергнуты термическому воздействию в муфельной печи «SNOL 30/1100».

Для всех образцов был выбран температурный диапазон нагрева от 300 до 900 °С с шагом в 100 °С [8, 9].

Образцы проходили следующие процедуры предварительной подготовки:

Первая часть образцов обжигалась в муфельной печи в течение 30 мин, после чего бетонные блоки извлекались и охлаждались в комнатных условиях.

Вторая часть образцов после тридцатиминутной термической обработки извлекалась из печи. Спустя 2–3 мин образцы подносились под струю холодной воды на 2 мин, после чего выкладывались на противень и остывали до комнатной температуры. Затем их помещали в холодильную камеру, где они подвергались низкотемпературному воздействию при -15 °С. Время выдержки образцов в холодильной камере составляло 60 мин. После этого образцы извлекались, размораживались до комнатной температуры и высушивались в течение суток без дополнительного термического воздействия.

После обжига проводилось визуальное исследование образцов. При температурах от 700 до 900 °С наблюдалось яркое свечение желто-красного цвета, которое исходило

от образцов сразу же после извлечения из муфельной печи. Свечение постепенно затухало на протяжении 2 мин и окончательно исчезало спустя 3 мин после извлечения из печи [10, 11].

После того, как образцы полностью остыли, можно было наблюдать, как изменилась их структура и цвет после высокотемпературного воздействия.

У данного образца после обжига при температуре 900 °С наблюдаются многочисленные сколы внешней облицовки (рис. 1). Один из углов образца рассыпался сразу после извлечения из печи. Наполнитель в виде щебня разных фракций и размеров изменил свой цвет с темно-серого на светло-красный. Имеются многочисленные трещины шириной 0,1–0,15 мм.



Рис. 1. Изменения на поверхности образца после обжига при температуре 900 °С

У образца, обожженного при температуре 800 °С, наблюдается скол на одном из углов, а также на его торцах (рис. 2). Цвет бетона и наполнителя имеет светло-розовый оттенок. Также имеются трещины толщиной 0,05–0,1 мм на всей поверхности образца. Внешняя бетонная облицовка не изменила свой цвет.



Рис. 2. Изменения на поверхности образца после обжига при температуре 800 °С

У образца, обожженного при температуре 700 °С, наблюдается плавный переход цвета поверхности от светло-серого к светло-коричневому (рис. 3). Цвет наполнителя – темно-серый. На одном из углов имеется скол. На поверхности образца наблюдается множество микротрещин с шириной менее 0,1 мм.



Рис. 3. Изменения на поверхности образца после обжига при температуре 700 °С

У образцов, обожженных при температурах 500–600 °С, наблюдается гладкая поверхность облицовки без трещин (рис. 4). Цвет бетона – светло-серый, а наполнителя – темно-серый и светло-красный. Имеются небольшие сколы на верхней кромке образца. Также на верхней поверхности имеются волнообразные разводы белого цвета, образованные испаренной водой. При температуре 400 °С структура образца, по сравнению с исходным, практически не изменилась.



Рис. 4. Изменения на поверхности образца после обжига при температуре 600 °С

Образцы были исследованы с помощью ультразвукового тестера, полученные значения обрабатывались методами математической статистики [12].

На первом этапе была получена линейная зависимость скорости прохождения ультразвуковой волны от температуры обжига образцов (рис. 5). Нужно отметить, что при температуре выше 700 °С из-за сильного разрушения образцов ультразвуковым тестером не удалось провести измерения скорости прохождения ультразвуковой волны.

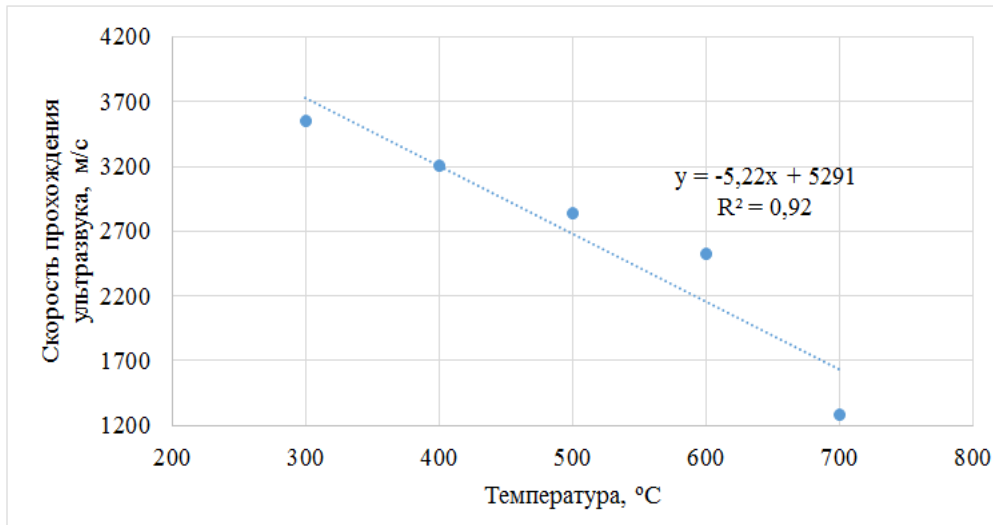


Рис. 5. Линейная зависимость скорости распространения ультразвука от температуры прогрева бетонных образцов (обожженные образцы)

При исследовании образцов, подвергнутых водяному охлаждению, заморозке при -15 °С и последующей разморозке при комнатной температуре, предполагали, что криоразрушение приведет к существенному изменению результатов измерения скорости прохождения ультразвуковых волн [13].

Однако зависимость, полученная для этих образцов, практически полностью соответствует данным, полученным в результате исследования просто обожженных бетонных блоков (рис. 6). Зависимость также имеет линейный характер, коэффициент достоверности аппроксимации составляет 0,95. Полученные результаты справедливы для образцов, которые после охлаждения разморожены и полностью высушены.

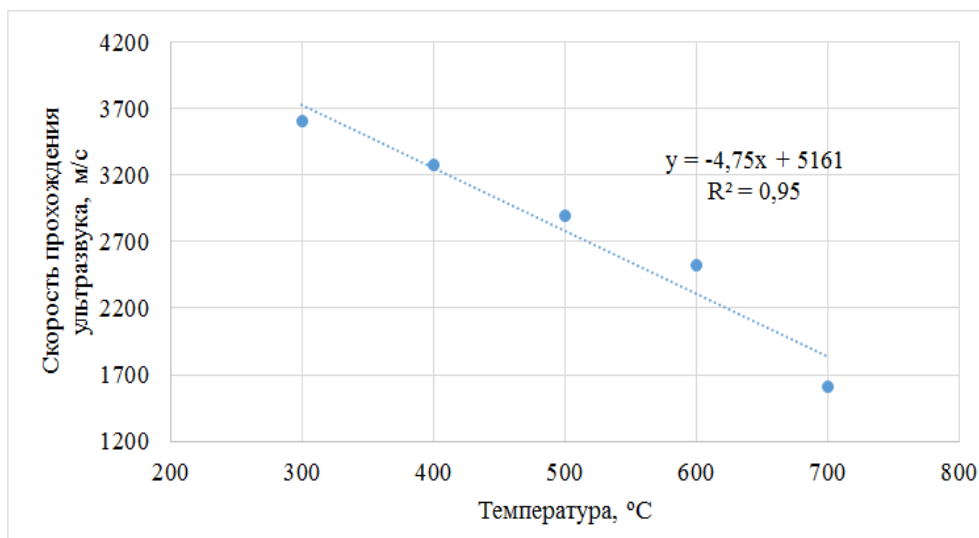


Рис. 6. Линейная зависимость температуры прогрева бетонных образцов от скорости распространения ультразвука (образцы, подвергнутые после обжига низкотемпературной обработке)

Для проверки полученных выборок на равномерность был рассчитан критерий Кохрена [14]. С учетом количества образцов и параллельных измерений в качестве критического значения критерия Кохрена принято значение, равное 0,403, для доверительной вероятности $P=0,95$. Все полученные в работе значения критерия Кохрена не превысили критического значения, что говорит о равномерности полученных результатов. Затем был рассчитан t-критерий (критерий Стьюдента), необходимый для выяснения целесообразности сравнения образцов, подвергнутых разным внешним воздействиям, между собой. При расчете t-критерия за критическое значение принималось значение 2,26.

Критерий Стьюдента для всех обожженных образцов превышает свое критическое значение (табл. 1). Это говорит о том, что разница между сравниваемыми величинами достаточна для проведения сравнительной оценки степени термического разрушения образцов.

Таблица 1. Результаты расчета t-критерия по массиву данных измерения скорости УЗ-волны (для обожженных образцов)

	2	3	4	5	6
1	21,41	18,41	32,04	29,73	132,63
2	–	4,98	12,51	14,83	55,99
3	–	–	4,92	8,02	30,23
4	–	–	–	4,11	31,04
5	–	–	–	–	19,64

Таблица 2. Результаты расчета t-критерия по массиву данных измерения скорости УЗ-волны для образцов, подвергнутых низкотемпературной обработке

	2	3	4	5	6
1	13,19	19,32	40,69	23,53	41,45
2	–	4,34	11,34	11,68	23,76
3	–	–	6,20	8,17	19,91
4	–	–	–	4,41	17,48
5	–	–	–	–	9,12

На основании анализа полученных данных был сделан вывод о том, что метод ультразвуковой дефектоскопии позволяет проводить качественную оценку степени термического разрушения исследуемых образцов. При этом, вопреки ожиданиям, на полученные данные практически не влияет принудительное охлаждение водой и низкотемпературное воздействие. Стоит отметить, что данный метод может использоваться для выбранных в работе бетонных блоков лишь в тех случаях, когда высокотемпературное воздействие не превышает $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ – последующий нагрев приводит к разрушениям, не позволяющим зафиксировать значение скорости прохождения ультразвуковой волны выбранным в работе тестером. Таким образом, установлено, что метод акустического анализа достаточно эффективен для исследования бетонных блоков, подвергнутых сначала высокотемпературному (до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$), а затем низкотемпературному (до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) воздействию. Данные результаты относятся только к выбранным в работе блокам, для других аналогичных материалов требуется проведение дополнительных исследований.

Литература

1. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической экспертизы: учеб.пособие / Г.А. Сикорова [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 160 с.

2. Пожарно-техническая экспертиза / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014. 453 с.
3. Шамаев Г.П. Проблемы методического обеспечения судебной пожарно-технической экспертизы // Актуальные проблемы российского права. 2007. № 2 (5). С. 435–441.
4. Огнестойкость элементов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве / Р.Ш. Еналеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2010. № 5. С. 48–53.
5. Критерии огнестойкости элементов строительных конструкций на пожаровзрывоопасных объектах / Р.Ш. Еналеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2011. № 1. С. 33–41.
6. Милешина Е.В. Исследование естественных каменных материалов в пожарной экспертизе // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2020. С. 67–70.
7. Боганчикова Е.А. Применение травертина в современном строительстве // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. С. 78–83.
8. О возможностях пожарно-технической экспертизы при анализе строительных материалов / Л.В. Долгушина [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2017. № 2 (5). С. 9–13.
9. Исследование отделочных материалов при производстве пожарно-технической экспертизы / О.О. Погодаева [и др.] // Деятельность правоохранительных органов в современных условиях: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию образования института. Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2013. С. 271–275.
10. Соколова А.Н., Чешко И.Д. Инструментальные методы исследования места пожара // Пожарная безопасность. 2012. № 4. С. 86–89.
11. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2002. 330 с.
12. Тацки Л.Н., Кучерова Э.А. Современные физико-химические методы исследования строительных материалов: учеб. пособие. Новосибирск: НГАСУ, 2005. 80 с.
13. Савенко В.Г. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий: учеб. пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 1993. 208 с.
14. Дерффель К. Статистика в аналитической химии: пер. с нем. М.: Мир, 1994. 268 с.



ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

УДК 340.113; 342.6

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ХАРАКТЕРА: ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ

**В.А. Винокуров, доктор юридических наук, заслуженный юрист
Российской Федерации.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

И.С. Новохатка.

Главное управление МЧС России по Псковской области

Рассмотрены нормативные правовые акты, касающиеся понятия антропогенного фактора в контексте чрезвычайных ситуаций, выделены его особенности, проведены параллели со смежными по смысловому значению терминами, разобраны различные подходы к их толкованию.

В результате проведенного анализа сформулированы определения понятиям «чрезвычайная ситуация антропогенного характера (антропогенная чрезвычайная ситуация)» и «антропогенный фактор». Авторами также сформулированы предложения по закреплению в законодательстве указанных терминов.

Ключевые слова: Конституция Российской Федерации, чрезвычайное положение, чрезвычайная ситуация, авария, антропогенный фактор, человеческий фактор, техногенный фактор, чрезвычайная ситуация антропогенного характера

EMERGENCIES OF ANTHROPOGENIC NATURE: CONCEPT AND CONTENT

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

I.S. Novokhatka. Main department of EMERCOM of Russia in the Pskov region

The article considers the normative legal acts concerning the concept of the anthropogenic factor in the context of emergency situations, highlights its features, draws parallels with related terms, analyzes various approaches to their interpretation. As a result of the analysis, the definitions of the concepts «anthropogenic emergency (anthropogenic emergency)» and «anthropogenic factor» are formulated. The authors also formulated proposals for the consolidation of these terms in the legislation.

Keywords: Constitution of the Russian Federation, state of emergency, emergency situation, accident, anthropogenic factor, human factor, technogenic factor, anthropogenic emergency

Современный мир невозможно представить без человека, его влияния на окружающую среду, различные процессы или явления без использования достижений научно-технического прогресса и изобретаемых им новых сложных устройств и технологий. Обратной стороной

повсеместного использования техники, новых технологий, усложнения производства и быта является возросший риск возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с людьми.

Конституция Российской Федерации¹, ее часть 2 статьи 56 предусматривает возможность введения в стране чрезвычайного положения «при наличии обстоятельств и в порядке, установленных федеральным конституционным законом». Исходя из данной конституционной нормы, федеральный законодатель, во-первых, определил обстоятельства, при которых возможно введение чрезвычайного положения, отнеся к одной из таких групп чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, возникшие в результате аварий, опасных природных явлений, катастроф, стихийных и иных бедствий²; во-вторых, дал определение чрезвычайной ситуации, установив, что это «обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей»³.

Официальное понятие термину «авария» дается в двух федеральных законах. В статье 1 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» под аварией понимается «разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ»⁴. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в статье 2 фиксирует следующее определение: «авария – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению или повреждению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, нанесению ущерба окружающей среде»⁵. Последнее определение было повторено в национальном стандарте 2020 г. для целей, связанных с пониманием техногенных чрезвычайных ситуаций⁶.

Аварии как техногенные происшествия всегда связаны с действиями (в том числе неграмотными или неумелыми) или бездействиями людей. Постоянное влияние человека на окружающую среду в первую очередь при применении наработок технического прогресса, создает сложные конструкции, которые при неграмотном или легкомысленном использовании могут приводить к авариям.

Влияние человека на окружающую среду обозначают термином «антропогенный»⁷. Этот термин в словарях также растолковывается как «созданный человеком, возникший в результате его деятельности»⁸.

¹ Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru>. 2020. 4 июля. № 0001202007040001.

² См.: пункт «б» статьи 3 Федерального конституционного закона «О чрезвычайном положении» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2001. № 23. Ст. 2277.

³ См.: статью 1 Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1994. № 35. Ст. 3648.

⁴ Собрание законодательства Российской Федерации. 1997. № 30. Ст. 3588.

⁵ Собрание законодательства Российской Федерации. 2010. № 1. Ст. 5.

⁶ См.: подпункт 1 пункта 2 национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 22.0.05–2020. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения», утвержденного постановлением Росстандарта от 11 сентября 2020 года № 644-ст «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации». М.: Стандартинформ, 2020.

⁷ См.: Большой словарь иностранных слов / сост. А.Ю. Москвин. М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. С. 51.

Таким образом, чрезвычайные ситуации, возникающие по вине человека или в результате его действий (бездействия), получили наименование антропогенных. Специалисты в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера выделили чрезвычайные ситуации антропогенного характера как дополнительный вид чрезвычайных ситуаций, которые возникают вследствие ошибочных действий людей (ошибки диспетчеров поездов, самолетов, случаи взрыва боеприпасов вследствие нарушений правил их эксплуатации, подтопления в городах, вызванные ливневыми осадками, в совокупности с ошибками при проектировании канализационных стоков и жизнеобеспечения населения и др.)⁹.

В Энциклопедическом словаре по гражданской защите антропогенная чрезвычайная ситуация также выделяется в качестве отдельного вида, но при определении понятия «перегрузка». Перегрузки, как указано в данном словаре, могут быть причинами возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и антропогенного характера, когда у человека и объектов инфраструктур исчерпывается возможность противостоять действию повышенных экстремальных нагрузок¹⁰.

Таким образом, несмотря на отсутствие законодательно закрепленного понятия «чрезвычайная ситуация антропогенного характера» или «антропогенная чрезвычайная ситуация», представители научного сообщества и практические работники выделяют данный вид в качестве самостоятельного элемента в системе классификации чрезвычайных ситуаций.

Пунктом 22 Стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 16 октября 2019 года № 501¹¹, предусмотрено, что на первом этапе реализации данной Стратегии осуществляется, в том числе издание нормативных правовых актов, методических рекомендаций в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Принимая во внимание требование указанной Стратегии, а также установленную МЧС России в ежегодном государственном докладе необходимость нормирования и конкретизации понятийного аппарата в области предупреждения чрезвычайных ситуаций¹², учитывая изложенные выше дефиниции, предложим следующее определение чрезвычайной ситуации антропогенного характера (антропогенной чрезвычайной ситуации):

«Чрезвычайная ситуация антропогенного характера (антропогенная чрезвычайная ситуация) – это обстановка, сложившаяся на объекте, определенной территории или акватории в результате аварии или иного бедствия, вызванного человеком (антропогенным фактором), которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей».

При этом необходимо дополнительно пояснить, что понимается под антропогенным фактором. Так, специалисты в области экологии определяют антропогенные факторы, в частности, как совокупность воздействий человека и его хозяйственной деятельности

⁸ См., например: Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный: в 2-х т. М.: Русский язык, 2000. Т. I. С. 86.

⁹ Защита в чрезвычайных ситуациях: учеб. для слушателей, курсантов и студентов вузов МЧС России / В.С. Артамонов [и др.]; под общ. ред. В.А. Пучкова. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2015. С. 46.

¹⁰ Гражданская защита: Энциклопедический словарь. 3-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. В.А. Пучкова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. С. 361.

¹¹ Собрание законодательства Российской Федерации. 2019. № 42 (ч. III). Ст. 5892.

¹² См.: О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 году: Государственный доклад. М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. С. 253.

на окружающий органический и неорганический мир¹³. Для специалистов по оценке опасных событий, инцидентов и аварий национальный стандарт фиксирует, что антропогенные факторы связаны с деятельностью человека, что их подразделяют на хозяйственные, связанные с непосредственным удовлетворением потребностей жизнеобеспечения человека, и техногенные, связанные с применением машин и оборудования для достижения определенных целей¹⁴.

Следует отметить, что существует ряд терминов, смежных по значению с понятием «антропогенный фактор», которые могли бы исключить надобность внедрения данного понятия в законодательство, в частности: «человеческий фактор» или «техногенный фактор». На первый взгляд, может действительно показаться, что данные понятия тождественны, однако эти понятия имеют существенные различия.

В перечне терминов МЧС России человеческий фактор рассматривается в двух значениях: 1) психологические и другие характеристики человека, его возможности и ограничения, определяемые в конкретных условиях его деятельности; 2) причина несчастного случая, аварии, происшествия в результате неправильных действий человека¹⁵. Как видим, ключевым смысловым элементом понятия «человеческий фактор» является совокупность психологических аспектов личности, которые в той или иной ситуации могут спровоцировать сбой в работе различных систем, что не равнозначно по смыслу с понятием «антропогенного фактора», под которым (в отношении аварийной ситуации) понимаются ошибочные, несанкционированные, террористические или военные действия людей¹⁶. В этой ситуации понятие «человеческий фактор» является одной из составляющих понятия «антропогенный фактор».

С понятием «человеческого фактора», как причины возникновения чрезвычайных ситуаций антропогенного характера, неразрывно связано понятие «халатность», которое в словарях русского языка растолковывается как халатное, то есть небрежно-безразличное и недобросовестное отношение к делу, к выполнению обязанностей¹⁷. Необходимо иметь в виду, что халатность как уголовно наказуемое деяние рассматривается как «неисполнение или ненадлежащее исполнение должностным лицом своих обязанностей вследствие недобросовестного или небрежного отношения к службе либо обязанностей по должности, если это повлекло причинение крупного ущерба или существенное нарушение прав и законных интересов граждан или организаций либо охраняемых законом интересов общества или государства»¹⁸.

Ввиду того, что халатность является довольно частой причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, включая пожары, необходимо уделять большое внимание методам профилактики халатного отношения к выполнению своих обязанностей работников, их своевременного выявления и пресечения.

¹³ См., например: Шадже А.Е., Сиротюк Э.А., Шадже А.И. Словарь терминов по экологии. 2-е изд., перераб. и доп. Майкоп: Изд-во ФГБОУ ВО «МГТУ», 2016. С. 7.

¹⁴ Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 51901.22–2012. «Менеджмент риска. Реестр риска. Правила построения» (утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 29 ноября 2012 года № 1285-ст «Об утверждении национальных стандартов»). М.: Стандартинформ, 2014.

¹⁵ Термины МЧС России. Официальный сайт МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 08.01.2021).

¹⁶ Гражданская защита: Энциклопедический словарь / под общ. ред. В.А. Пучкова. 3-е изд., перераб. и доп.; М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. С. 12.

¹⁷ См., например: Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушакова. М.: ООО «Изд-во Астрель», ООО «Изд-во АСТ», 2000. Т. IV. С. 1130.

¹⁸ См.: статью 293 Уголовного кодекса Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. № 25. Ст. 2954; 2008. № 15. Ст. 1444; 2015. № 29 (ч. I). Ст. 4391.

Смежным по значению с понятием «антропогенного фактора» является также понятие «техногенный фактор». Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, по сути, признала тождественными указанные понятия¹⁹. При этом перечень терминов МЧС России дает следующее определение техногенному фактору (фактору техногенному): это причина, движущая сила техносферы, определяющая возможность как повышения, так и понижения техногенной безопасности²⁰. Как видим, техногенный фактор обуславливает вероятность возникновения техногенных аварий и катастроф, а приняв во внимание тот факт, что на объектах техносферы в подавляющем большинстве случаев используется труд человека, вероятность возникновения чрезвычайной ситуации повышается, особенно учитывая человеческий фактор. Следовательно, понятие «техногенный фактор» также является составляющей антропогенного фактора.

В результате можно выделить три составляющие антропогенного фактора:

1) антропогенное воздействие, то есть влияние производственной и непроизводственной деятельности людей на структуру и функционирование природной сферы и объектов техносферы;

2) техногенный фактор, то есть вероятность возникновения техногенных аварий и катастроф;

3) человеческий фактор, то есть совокупность психологических аспектов личности, которые в той или иной ситуации создают вероятность допущения ошибки.

Рассмотрев и проанализировав определенный массив теоретической и нормативной информации, касающейся понятия антропогенного фактора в контексте чрезвычайных ситуаций, выделив ряд его особенностей, а также проведя параллели со смежными по смысловому значению терминами, можно сформулировать комплексное определение антропогенного фактора, как причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

«Антропогенный фактор представляет собой совокупность воздействий производственной и непроизводственной деятельности людей на структуру и функционирование природной сферы и объектов техносферы, несущих потенциальный риск возникновения чрезвычайной ситуации, обусловленный совокупностью психологических характеристик и ошибочных действий человека».

Предложенный вариант выделения (обособления) чрезвычайной ситуации антропогенного характера в качестве отдельного вида неизбежно приведет к изменению системы классификации чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации, поскольку практически все причины возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера так или иначе связаны с антропогенным воздействием, и любая катастрофа или авария должна быть отнесена к антропогенной чрезвычайной ситуации. Однако внедрение понятия «антропогенного фактора», на взгляд авторов, будет способствовать снижению вероятности неправильного восприятия нормативных правовых актов, а также повышению эффективности правоприменения, поскольку антропогенный фактор всегда будет играть ключевую роль в качестве причины возникновения чрезвычайных ситуаций. По своей сущности, данное явление невозможно полностью искоренить из общественной жизни, однако его можно уменьшить путем повышения культуры безопасности населения, усилением пропаганды соблюдения требований техники безопасности на рабочих местах, а также созданием благоприятных условий труда и постоянным повышением квалификации персонала и должностных лиц на всех уровнях.

¹⁹ См.: федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» (утв. приказом Ростехнадзора от 30 ноября 2017 года № 514) // Официальный интернет-портал правовой информации (<http://www.pravo.gov.ru>). 2017. 27 декабря. № 0001201712270048.

²⁰ Термины МЧС России. Официальный сайт МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 08.01.2021).

Литература

1. Большой словарь иностранных слов / сост. А.Ю. Москвин. М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. 816 с.
2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 году: Государственный доклад. М.: МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. 344 с.
3. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный: в 2-х т. М.: Русский язык, 2000. Т. I (А–О). 1211 с.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: учеб. для слушателей, курсантов и студентов вузов МЧС России / В.С. Артамонов [и др.]; под общ. ред. В.А. Пучкова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2015. 387 с.
5. Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушакова. М.: ООО «Изд-во Астрель», ООО «Изд-во АСТ», 2000. Т. IV. 752 с.
6. Шадже А.Е., Сиротюк Э.А., Шадже А.И. Словарь терминов по экологии. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: Изд-во ФГБОУ ВО «МГТУ», 2016. 92 с.

УДК 343.132

НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИЕ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ КАК СУБЪЕКТЫ УГОЛОВНОГО СУДОПРОИЗВОДСТВА

**О.Г. Часовникова, кандидат юридических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены актуальные вопросы, связанные с несовершеннолетними, страдающими таким аутоиммунным заболеванием, как сахарный диабет, в качестве субъектов в уголовном процессе. В статье приведены практические примеры влияния сахарного диабета на психику человека в момент совершения преступления. Сформулированы медицинские рекомендации при проведении следственных действий с данными субъектами.

Ключевые слова: субъект, несовершеннолетний, сахарный диабет, агрессия, судебно-психиатрическая экспертиза

MINORS WITH DISEASES OF THE ENDOCRINE SYSTEM AS SUBJECTS OF CRIMINAL PROCEEDINGS

O.G. Chasovnikova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article deals with topical issues related to minors suffering from autoimmune disease, such as diabetes mellitus as subjects in criminal proceedings. The article presents statistics of occurrence of this disease in adolescents, as well as practical examples of the impact of diabetes on the human psyche at the time of the crime. Medical recommendations are given when carrying out investigative actions with these subjects.

Keywords: subject, minor, diabetes mellitus, aggression, forensic psychiatric examination

Уголовное судопроизводство является неотъемлемой частью современного цивилизованного государства. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации (УПК РФ) регламентирует, что главной задачей уголовного судопроизводства является защита

прав и законных интересов своих граждан, а также защита личности от незаконного обвинения в ее адрес [1].

Каждое преступление, которое рассматривается на различных стадиях уголовного процесса, имеет свой состав. В состав преступления входят: объективная сторона, субъективная сторона, объект и субъект. На субъекте преступления остановимся чуть подробнее и рассмотрим различные его характеристики и нюансы.

Субъект – лицо, обладающее общими признаками, установленными законодателем (физическое лицо, вменяемость, возраст достижение возраста уголовной ответственности), совершающее воздействие на объект (ст. 19 Уголовного Кодекса Российской Федерации (УК РФ) [2].

Лицо не может нести уголовную ответственность за общественно опасное деяние, на момент совершения которого оно не осознавало общественную опасность своим действиям и его фактический характер (ст. 21 УК РФ) [2].

Несовершеннолетние как привилегированные субъекты уголовного судопроизводства обладают специфической характеристикой личности и особой ролью при рассмотрении дела на различных стадиях. Это обуславливается незрелостью мышления лиц, отсутствием опыта, неустойчивостью психики и неуравновешенностью эмоционального фона.

Исходя из вышеперечисленных характеристик, были разработаны стандартизированные правила, затрагивающие актуальные вопросы правосудия в отношении несовершеннолетних, известные как «Пекинские правила».

Что касается несовершеннолетней или детской преступности, на момент 2018 г. в воспитательных колониях содержалось следующее количество заключенных (рис.) [3].



Рис. Количество заключенных несовершеннолетних в воспитательных колониях за период 2018 г.

За 2019 г. общее количество преступлений, совершенных несовершеннолетними, составило 30 тыс. 576 эпизодов [4].

Среди часто встречаемых преступлений подростков можно выделить следующие составы: преступления, имеющие хулиганский характер (ст. 213 УК РФ); насильственные действия физического воздействия (побои) (ст. 116 УК РФ); публичное оскорбление представителя власти (ст. 319 УК РФ); причинение вреда здоровью различной тяжести.

На первых этапах рассмотрения дела, в которых фигурирует хоть один несовершеннолетний, органами следствия или дознания должно быть установлено в первую очередь: квалификация преступления; возраст лица (число, месяц, год рождения); роль его в совершении преступления; условия жизни и его окружение; уровень его психического развития на момент рассмотрения дела [5].

При невозможности определения фактического возраста несовершеннолетнего следственными органами назначается судебно-медицинская экспертиза (ст. 196 п. 5 УПК РФ) [5].

Для ювенильного (подросткового) возраста характерны соматические заболевания, в которых отмечаются вспышки агрессии и гнева [6, 7]. Данное временное психическое расстройство может спровоцировать различные виды преступлений со стороны несовершеннолетнего. Это обуславливается незрелостью личностного сознания и психики ребенка. Агрессивность и гнев может ярко выжаться в оскорблении представителя власти или в хулиганстве. Каждая болезнь, исключая клинические и циклические вирусные заболевания, сопровождается небольшими изменениями психики.

В последнее время наибольшее распространение среди соматических заболеваний у подростков имеет сахарный диабет. Риск развития психических и эмоциональных нарушений при сахарном диабете коррелирует с различными комплексными синдромами и их встречаемость варьируется в пределах от 17 до 84 % от населения [8].

За последние годы наблюдается значительный рост заболеваемости эндокринной системы на международном уровне. По последним подсчетам насчитывается более четырехсот миллионов человек с сахарным диабетом. Более одного миллиона заболевших – это лица, находящиеся в подростковом и малолетнем возрасте. Заболеваемость сахарным диабетом среди детей и подростков возрастает ежегодно примерно на 3–4 %. Основными причинами инвалидизации и смертности пациентов с заболеваниями эндокринной системы являются микро- и макро- сосудистые осложнения [8].

Сахарный диабет – совокупность хронических заболеваний эндокринной системы, которая характеризуется повышением глюкозы (далее гипергликемия) в крови вследствие нарушения эффективности действия гормона инсулина. Хроническое увеличение глюкозы сопровождается развитием различных осложнений в первую очередь со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем. От сахарного диабета в общей сложности страдают 5–6 % населения [9].

При нарушении обмена сахара в крови у пациента наблюдаются неконтролируемая агрессия, вспышки гнева. Сахарный диабет сильнее всего влияет на психику заболевшего лица. У больного прослеживается повышенная возбудимость и агрессивность.

На сегодняшний день общественная важность и значимость данного заболевания обширна, так как заболевания эндокринной системы распространены среди лиц разной возрастной категории.

Агрессивное поведение лиц, страдающих сахарным диабетом, может проявляться как в ювенальном возрасте, исходя из их психологической характеристики личности и неустойчивости психоэмоционального фона, так и у лиц старшего возраста может наблюдаться склонность к физическому насилию и побоям.

Так, приведем пример: пациент А., находясь в терапевтическом отделении одной из городских больниц, вел себя агрессивно по отношению к медицинскому персоналу (физическое воздействие), нецензурно выражался. В агрессивной манере требовал от лечащего врача назначения ему снотворных и успокоительных лекарственных средств. При отказе в назначении наблюдалось проявление агрессии в отношении врача, такое как нецензурная брань и физическое воздействие (толкание и попытки вступить в драку).

Как было отмечено в анамнезе, у пациента отсутствует критика к собственному здоровью, а также нарушена грань между персоналом отделения и пациентами. Сахарный диабет был выявлен давно. В последние годы, как отмечала жена пациента А., диета не соблюдалась и самоконтроль был неадекватный.

В начальный период формирования диабетической комы, которая не возникает в одно мгновение, лицо не имеет возможности осознать фактический характер своего поведения и общественную опасность совершающегося противоправного деяния. У коматозного состояния и алкогольного опьянения прослеживаются схожие признаки.

К признакам диабета относятся: сухость во рту, незаживающие раны и ссадины, частое мочеиспускание, онемение верхних и нижних конечностей, голод, замедленная речь, головная боль, может наблюдаться повышенная возбужденность, агрессия, неадекватность поведения.

При задержании лиц с агрессивным поведением или причинившим вред здоровью разной тяжести могут наблюдаться признаки алкогольного или наркотического опьянения. Сотрудникам правоохранительных органов следует обратить внимание на различные специфические признаки диабетического приступа, которые впоследствии помогут принять верное решение и способствовать своевременной квалифицированной помощи.

Не оказанная вовремя квалифицированная помощь такому лицу в момент приступа может привести к тяжелым последствиям и даже летальному исходу [10].

При подозрении лица в алкогольном или наркотическом опьянении во время совершения противоправного деяния производится забор мочи на наличие в ней токсичных продуктов разложения, контроль рН мочи, а также забор крови на креатинин (CREA) [4].

Если у лица, совершившего преступление, присутствуют первичные физиологические признаки сахарного диабета, перед проведением следственных действий следует сбалансировать уровень сахара в крови, например, дать сладкий чай или кондитерское изделие. После употребления сахара у лица наблюдается снижение агрессии и появление осознанности происходящего.

При допросе несовершеннолетнего, страдающего сахарным диабетом, следует не только следовать требованиям закона, который предусматривает уголовно-процессуальный порядок проведения данного следственного действия, но и медицинским рекомендациям, характерным для подростков с данным аутоиммунным заболеванием.

Проведение таких следственных действий, как допрос несовершеннолетнего, должно проводиться не только согласно процессуальному законодательству, но и с учетом медицинских рекомендаций.

Допрос несовершеннолетнего, в том числе страдающего заболеванием эндокринной системы, не только не должен превышать 4 ч в день и 2 ч непрерывно по общему правилу к данному привилегированному субъекту, но и должны делаться более продолжительные перерывы (более 1 ч) для проверки сахара в крови и отдыха несовершеннолетнего от эмоциональных нагрузок.

Помимо педагога или психолога, присутствующих при допросе несовершеннолетнего, не достигшего возраста 16 лет либо достигшего этого возраста, страдающим заболеванием эндокринной системы, целесообразно присутствие врача скорой помощи или врача эндокринолога.

При возникновении первичных признаков диабетической комы врач обязан сообщить следователю или дознавателю о невозможности проведения данного следственного действия и направить несовершеннолетнего в учреждение медицинского характера для дальнейшего контроля состояния уровня глюкозы в крови.

Исследования субъектов, у которых выявлен сахарный диабет, были рассмотрены в диссертации О.Г. Михайловской. Кроме того, рассмотрение проблем и особенностей работы с участием несовершеннолетних производилось и рядом других авторов [11, 12].

В судебной практике нередко участвуют лица, страдающие сахарным диабетом. Определенной сложностью при проведении судебно-психиатрической экспертизы является диагностика расстройств психического характера. Особой важностью при рассмотрении дел в суде является экспертная оценка. А именно, при проведении посмертной судебно-психиатрической экспертизы для выявления способности лица осознавать фактический характер происходящего, понимать значение своих действий при составлении процессуальных актов (доверенности, завещание) [13].

Вопросы производства судебно-психиатрической экспертизы во время проведения следственных мероприятий в уголовном процессе мало изучены. Сахарный диабет может показывать клиническую картину, схожую с шизофренией. Основным отличием сахарного

диабета является то, что лицо не осознает опасность своего деяния только в момент диабетического приступа, а в повседневной жизни является вменяемым лицом, отдающим отчет своим действиям. Данное психическое состояние можно сравнить с преступлениями, совершенными в состоянии аффекта [14].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что несовершеннолетние лица, страдающие заболеванием эндокринной системы, являются субъектами уголовно-процессуальных отношений, которые нуждаются в деликатном подходе по охране прав и защите интересов на всех стадиях уголовного судопроизводства.

Литература

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1996. 17 июня. № 25. Ст. 2954.
2. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 174-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2001. 24 дек. № 52 (Ч. I). Ст. 4921.
3. Статистика МВД ФКУ. URL: <https://xn--b1aew.xn--plai/reports/item/19655871/> (дата обращения: 12.06.2021).
4. О порядке проведения медицинского освидетельствования на состояние опьянения (алкогольного, наркотического или иного токсического): приказ Минздрава России от 18 дек. 2015 г. № 933н (зарег. в Минюсте России 11 марта 2016 г. № 41390). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Фадеев В.В. Эндокринология: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. Группа «ГЭОТАР-Медиа», 2014.
6. Пуляева Е.В. Аффект: уголовно-правовая криминологическая характеристика: дис. ... канд. юрид. наук. Тамбов, 2007.
7. Михайловская О.Г. Психические нарушения при сахарном диабете и их судебно-психиатрическая оценка при посмертных экспертизах в гражданском процессе: дис. ... канд. мед. наук. М., 2005.
8. Лаптев Д.Н. Кардиоваскулярная форма автономной нейропатии у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа: клинико-диагностические маркеры, ассоциированные сердечно-сосудистые факторы риска и современные возможности профилактики: дис. ... д-ра мед. наук. М., 2018.
9. Агаев Г.А., Зорина Е.А., Баженов А.В. К вопросу о детерминации подростковой преступности в условиях социальной реальности // Социология и право. 2018. № 2. С. 75–81.
10. Агаев Г.А., Баженов А.В., Зорина Е.А. Трудности антиалкогольного воспитания и проблемы антинаркотической профилактики у несовершеннолетних делинквентов в воспитательных колониях // Социология и право. 2018. № 4. С. 116–129.
11. Mental disorders and diabetes mellitus. Abrahamian H1, Kautzky-Willer A2, Rießland-Seifert A3, Fasching P4, Ebenbichler C5, Hofmann P6, Toplak H7.
12. Проболезни. URL: <https://med.vesti.ru/articles/zabolevaniya/saharnyj-diabet-1-tipa/> <https://xn--b1aew.xn--plai/reports/item/19655871/> (дата обращения: 12.06.2021).
13. Влияние сахарного диабета на психику: агрессия, депрессия и другие расстройства // Сахарный диабет. URL: <https://diabet24.guru/oslozhneniya/psixicheskie-rasstrojstva.html> <https://xn--b1aew.xn--plai/reports/item/19655871/> (дата обращения: 03.06.2021).
14. Сахарный диабет. URL: <https://diabet24.guru/oslozhneniya/psixicheskie-rasstrojstva.html> <https://xn--b1aew.xn--plai/reports/item/19655871/> (дата обращения: 12.06.2021).
15. Статистика и показатели. URL: <https://rosinfostat.ru/prestupnost/#i-9> Ростат. Статистика и показатели. URL: <https://xn--b1aew.xn--plai/reports/item/19655871/> (дата обращения: 12.06.2021).

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 614.849

МОДЕЛЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДА ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОРОШКОВЫХ ОГNETУШИТЕЛЕЙ

И.А. Сорокин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены вопросы, относящиеся к способам определения работоспособности огнетушителей (экспериментальные, натурные, огневые) и порядку проведения испытаний огнетушителей. Предложен вариант конструкции стенда для испытаний порошковых огнетушителей с модельным очагом пожара, позволяющий осуществлять оценку их эффективности по огнетушащей способности и исключаящий влияние субъективного фактора (навыки испытателя-специалиста), а также повышающий объективность результатов испытаний. Представлены результаты испытаний огнетушащей способности порошковых огнетушителей испытателем-специалистом, волонтером (не обладающим навыками) и с использованием разработанного испытательного стенда.

Ключевые слова: модель, испытательный стенд, порошковый огнетушитель, модельный очаг пожара, огневые испытания

MODEL AND CHARACTERISTICS OF THE FIRE TESTING STAND FOR POWDER FIRE EXTINGUISHERS

I.A. Sorokin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The issues related to the methods of determining the operability of fire extinguishers (experimental, full-scale, fire) and the procedure for testing fire extinguishers are considered. A design variant of a stand for testing powder fire extinguishers with a model fire source is proposed, which allows evaluating their effectiveness by fire extinguishing ability and eliminating the influence of a subjective factor, as well as increasing the objectivity of test results. The results of tests of powder fire extinguishers according to the definition of fire extinguishing capacity by various groups of employees are presented.

Keywords: model, test bench, powder fire extinguisher, model fire, fire test

Важнейшей составной частью работоспособности таких первичных средств пожаротушения, как огнетушители, является их способность справиться с возникшим возгоранием на начальной стадии [1]. К огнетушителям вообще и порошковым в частности предъявляется ряд требований, одним из которых является огнетушащая способность [2, 3]. Этот показатель является одним из важнейших показателей его работоспособности.

Существуют различные способы определения работоспособности огнетушителей. Требования к показателям можно условно разделить на «эксплуатационные» и «технические». «Эксплуатационные» показатели имеют важное, но все же второстепенное значение, а вот «технические» непосредственно влияют на предназначение огнетушителя – огнетушащую способность. Для определения данного показателя необходимо проведение огневых испытаний по тушению модельного очага пожара (МОП).

На текущий момент нормами определены МОП двух классов: А и В. МОП класса А имитирует собирательный образ пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих материалов, класса В – горючих жидкостей. Огнетушители в соответствии с заявляемыми для них рангами должны тушить МОП класса А, класса В или оба варианта. На практике часто происходит горение не какого-то конкретного одного вида горючего материала, а нескольких, причем в различных агрегатных состояниях.

При этом нормативными документами [2, 3] для подтверждения эффективности огнетушителя допускается тушение двух МОП из трех. Таким образом, изначально допускается возможность получения одного отрицательного результата, а, следовательно, заложен допуск на неспособность потушить возникшее возгорание.

Проведение испытаний огнетушителей осуществляет специалист, прошедший обучение и имеющий практический опыт в их проведении. Действия его при тушении модельных очагов – выверенные и точные. Благодаря своим знаниям и умениям, он может выбрать оптимальное расстояние до МОП, направление и интенсивность подачи огнетушащего вещества. При возгорании в реальных условиях обычный человек будет действовать более спонтанно и менее эффективно.

Анализ существующих методов и стендов (табл. 1) для испытаний огнетушителей по определению огнетушащей способности показал, что их проведение сопровождается некоторыми недостатками и особенностями, которые могут повлиять на конечный результат [2, 4, 5].

Таблица 1. Устройства и стенды для испытаний

№ п/п	Наименование устройства/стенда	Недостатки
1	Устройство для моделирования очага пожара (патент на полезную модель ВУ 9971 U 2014.02.28, МПК F 23D 5/00)	<ul style="list-style-type: none"> – предназначено для использования в совокупности с элементами мебели и интерьера (возгорание бытовых электроприборов, мебели, пищи на плите и т.п.), что влечет за собой необходимость постоянного подбора элементов мебели и замену сгоревшей горючей нагрузки в модельном очаге пожара; – существует необходимость в специализированном помещении (сооружении) для размещения горелки, элементов мебели и интерьера
2	Устройства для моделирования очагов пожара классов А и В (ГОСТ Р 51057–2001)	<ul style="list-style-type: none"> – необходимость использования крупногабаритных и тяжелых сопутствующих принадлежностей: металлических подставок, поддонов, противней диаметром до 3 м, а также большого количества горючей нагрузки в виде древесины и бензина с регламентированными характеристиками; – не исключен субъективный подход оператора по определению огнетушащей способности при испытаниях огнетушителя
3	Стенд для исследования процессов горения и тушения пожара (патент на полезную модель RU 158135 U1, 2015 г.)	очаг пожара стенда не предназначен для реагирования (ориентация в пространстве, направление ветра, подача огнетушащего вещества и т.п.) на условия, возникающие при исследовании процессов горения и (или) тушении пожара

Для исключения таких факторов разработан стенд [6] для оценки эффективности порошковых огнетушителей (ОП), учитывающий особенности проведения испытаний (единый МОП [7]) и исключая вышеперечисленные недостатки. Модель стенда представлена на рис. 1, 2.

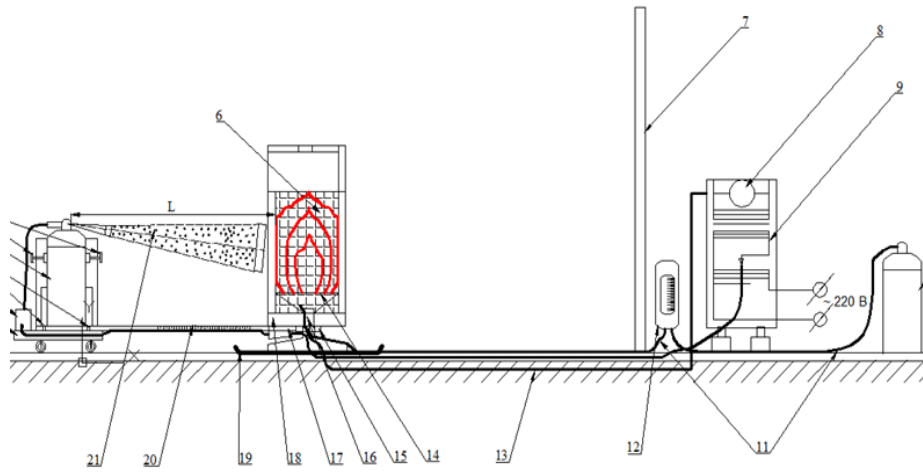


Рис. 1. Модель стенда для испытания огнетушителей (вид сбоку)

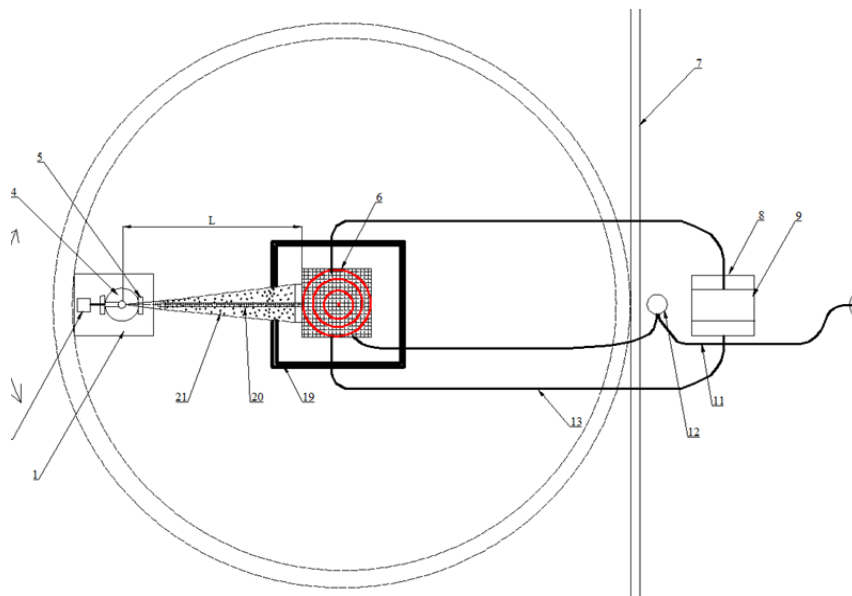


Рис. 2. Модель стенда для испытания огнетушителей (вид сверху)

1 – перемещаемое устройство для крепления огнетушителя; 2 – устройство запуска огнетушителя; 3, 5 – система креплений; 4 – огнетушитель; 6 – корпус МОП; 7 – экран; 8 – устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей; 9 – блок управления поворотным кронштейном; 10 - газовый баллон с редуктором; 11 – соединительный газовый трубопровод; 12 – ротаметр; 13 - термоэлектрические преобразователи; 14 – рассекатель пламени и газовых потоков; 15 – механизм вращения устройства с огнетушителем; 16 – газовая горелка; 17 – поворотный кронштейн; 18 – основание-платформа МОП; 19 – емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества; 20 – измерительная линейка; 21 – струя огнетушащего вещества

Разработанный стенд для испытаний ОП и его характеристики отвечают предъявляемым требованиям к проводимым по нормативным документам испытаниям и позволяют провести оценку эффективности огнетушителей [8].

Для подтверждения работоспособности разработанного стенда для испытаний ОП и соответствия его предъявляемым к испытаниям требованиям проведены три серии испытаний огнетушителей (определение огнетушащей способности) с использованием поверенных средств измерений [9]:

- 1 серия испытаний проводилась испытателем, имеющим соответствующие знания и навыки по тушению стандартных МОП;
- 2 серия испытаний проводилась сотрудником сторонней организации, не имеющим специальных навыков;
- 3 серия испытаний проводилась на стенде для испытаний ОП.

Все серии испытаний проведены с использованием порошковых огнетушителей одного производителя, имеющих действующий сертификат соответствия, единую партию и дату производства [10]. Для проведения испытаний выбран огнетушитель марки ОП-2(з)-АВСЕ МИГ, с использованием которого в предварительных испытаниях по тушению МОП ранга 21В было потушено три очага из трех. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний ОП по определению огнетушащей способности

№ серии испытаний	Марка ОП	Заявляемый ранг/мощность МОП	Результат тушения
1	ОП-2(з)-АВСЕ МИГ	МОП ранга 21В / 31,5 кВт	МОП потушен в трех попытках из трех, самовоспламенения не произошло
2		МОП ранга 21В / 31,5 кВт	МОП потушен в двух попытках из трех, самовоспламенения не произошло
3		МОП стенда для испытаний ОП / 31,5 кВт	МОП стенда для испытаний ОП потушен в двух попытках из трех, самовоспламенения не произошло

При проведении испытаний по тушению МОП испытателем, имеющим навыки тушения, и сотрудником сторонней организации, не имеющим таковых, наблюдались различные алгоритмы использования ОП.

Действия испытателя четкие, уверенные и точные:

- потушены три МОП из трех;
- в МОП попало максимальное количество огнетушащего порошкового состава (ОПС);
- оптимально выбраны расстояние до МОП и угол подачи ОПС.

Действия сотрудника без навыков тушения иные:

- потушены два МОП из трех;
- выбрано неоптимальное расстояние до МОП – большее, чем у испытателя (опасение получить ожог, боязнь открытого пламени);
- угол подачи спонтанно менялся (по сравнению с испытателем большее количество ОПС не попало в МОП).

Результаты огневых испытаний свидетельствуют о том, что человек без навыков (или имеющий минимальные знания) и испытатель, применяющие работоспособные огнетушители одного и того же типа, тушат МОП с различной эффективностью.

При проведении 3 серии натуральных экспериментов на стенде для испытаний ОП установлено положение огнетушителя и задан алгоритм его работы, как при использовании его человеком, не имеющим навыков тушения (2 серия испытаний) – расстояние до МОП, угол и время подачи ОПС. В результате испытаний подтвержден результат 2 серии испытаний.

Результаты испытаний на стенде подтвердили возможность тушения МОП, аналогичных по мощности и соответствующих установленным в нормативных документах требованиям, а также вариативность моделирования положений ОП, характерных для реальных условий использования. При этом испытания на стенде исключают влияние субъективного человеческого фактора.

Учитывая допускаемую нормативными документами [2, 3] возможность получения отрицательных результатов по тушению (один из трех), использование стенда для испытаний ОП представляется актуальным за счет того, что стенд:

- 1) Позволяет, благодаря автоматизации процесса тушения, исключить субъективный фактор влияния навыков испытателя на результат.
- 2) При определении огнетушащей способности позволяет использовать единый МОП с задаваемой мощностью теплового потока.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 № 123-ФЗ // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 28.06.2021).
2. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.06.2021).
3. ГОСТ Р 51017–2001. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.06.2021).
4. Стенд для исследования процессов горения и тушения пожара: пат. 158135 Рос. Федерация: МПК А62С99/00, 2014152544/12 / М.В. Алешков; заявл. 25.12.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35, 20.12.2015.
5. Устройство для моделирования очага пожара: пат. U9971 Республика Беларусь: МПК F23D 5/00, u20130066 / Д.М. Гороховик; заявл. 21.01.2013; опубл. 28.02.2014.
6. Стенд для испытания огнетушителей: пат. 168399 Рос. Федерация: МПК А62С13/00 (№ 2016117503 / И.А. Сорокин; заявл. 04.05.2016; опубл. 01.02.2017, Бюл. № 4, 01.02.2017.
7. Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Единый показатель огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 7. С. 74–79.
8. Поляков А.С., Кожевин Д.Ф., Сорокин И.А. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 2. С. 16–23.
9. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
10. Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация). URL: <https://pub.fsa.gov.ru/rss/certificate> (дата обращения: 28.06.2021).

УДК 656.13(1-21): 621.43.06:504.3.064.36:338.14

ПОСТАНОВКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПАСНОГО ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

И.А. Онищенко.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Описаны результаты экспериментально-расчетных исследований качественно-количественного состава отработавших газов дизельных и бензиновых моторных установок современных легковых автотранспортных средств экологических классов Евро 3, Евро 4 и Евро 5 в условиях экстремально низких температур. Определено, что концентрации поллютантов CO, C_nH_m и NO_x в отработавших газах в момент пуска и прогрева двигателя

и каталитического нейтрализатора автомобиля (вне зависимости от экологического класса транспортного средства) имеют высокие значения и тем выше, чем ниже температуры окружающей среды.

Ключевые слова: экстремальные климатические условия, опасное загрязнение воздуха, автотранспорт, пуск и прогрев двигателя и каталитического нейтрализатора

EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF DANGEROUS LOCAL AIR POLLUTION BY VEHICLE EMISSIONS AT EXTREMELY LOW AMBIENT TEMPERATURE

I.A. Onischenko. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article describes the results of experimental and computational studies of the qualitative and quantitative composition of exhaust gases of diesel and gasoline engine installations of modern passenger vehicles of environmental classes Euro 3, Euro 4 and Euro 5 in extremely low temperatures. It is determined that the concentrations of pollutants CO, C_nH_m and NO_x in the exhaust gases at the time of starting and warming up the engine and the catalytic converter of the car (regardless of the environmental class of the vehicle) have high values and the higher the lower the ambient temperature.

Keywords: extreme climatic conditions, dangerous air pollution, motor transport, starting and warming up of the engine and catalytic converter

Введение

Географической особенностью Российской Федерации является нахождение значительной части территории страны в Арктической зоне, характеризующейся суровым и холодным климатом, хрупкой экосистемой, уязвимой к внешним воздействиям. Вследствие крайне холодного климата и низкой инсоляции («световой голод») регион обладает низкой ассимиляционной способностью флоры и фауны, не успевая самоочищаться от всех выбросов загрязняющих веществ активно развивающейся промышленности и транспортной деятельности [1–5].

В последние 25–30 лет существенно выросла роль автотранспорта как источника химического загрязнения атмосферы урбанизированных территорий Крайнего Севера, о чем свидетельствуют количественные показатели качества воздуха по уровню загрязнения основными поллютантами в городах Арктической зоны [6].

Значительные запасы энергетических и минеральных ресурсов, сосредоточенных в Арктической зоне, неизбежно создают геополитический интерес к этой территории, увеличение экономической активности и развитие региона. Важными причинами образования чрезвычайно высокого уровня загрязнения природной среды являются черный углерод (сажа) и кислотообразующие оксиды, образующиеся при горении органического топлива. Продукты неполного сгорания топлива, твердые частицы сажи, оседая на снежные арктические покровы, изменяют их отражательные характеристики, а NO_x и SO₂ приводят к закислению атмосферных осадков, что в целом способствует преждевременному таянию снежного покрова и ледников.

Анализ данных мониторинга свидетельствует о том, что уровень загрязнения воздуха зимой значительно выше, чем летом. Это связано с деятельностью предприятий теплоэнергетики и возрастанием автотранспортных выбросов в условиях низких температур [7, 8].

Все перечисленные факторы говорят об актуальности изучения вопросов влияния автотранспорта с двигательными установками, работающими на органических энергоносителях, на экосистему Арктической зоны и определения способов прогнозирования возникновения локальных опасных факторов для населения.

Объекты испытаний, условия и методы экспериментального исследования

В рамках данного исследования был осуществлен анализ качественно-количественного состава отработавших газов современных легковых автомобилей, оборудованных системами нейтрализации выхлопных газов – нейтрализаторами, а именно тринадцати легковых бензиновых автотранспортных средств (АТС) экологических классов Евро 3, Евро 4 и Евро 5 и трех легковых дизельных АТС экологических классов Евро 3 и Евро 4. Их основные характеристики приведены в табл. 1.

Для измерения концентрационного состава отработавших газов по ключевым поллютантам – CO, C_nH_m и NO_x – использовались сертифицированные и поверенные газоанализаторы.

Для непосредственного измерения CO, C_nH_m и NO_x в выпускной системе двигателя автомобиля использовались газоанализаторы Testo 300 XXL (Testo/Германия) и Инфракар 10.02 (ООО «Альфа-динамика»/Россия). Для количественного измерения содержания углеводородов и угарного газа в атмосферном воздухе – газоанализаторы Колион-1А (ЗАО «Хромдет-экология»/Россия) и ПГА-200 (ЗАО «НПП «Электронстандарт» / Россия). Характеристики измерительного оборудования подробно описаны в соответствующих инструкциях на официальных сайтах их производителей.

Измерения проводили на автомобилях, находившихся длительное время в состоянии покоя (не менее 6 ч), при температурах наружного воздуха -20 °С, -7 °С, 0 °С, +10 °С, +23 °С.

Таблица 1. Основные характеристики легковых автомобилей, участвовавших в экспериментально-расчетном исследовании

№	Марка АТС	Год выпуска	Объем двигателя, см ³	Тип трансмис.	Пробег, км	Тип двигателя	Тип топлива	Эколог. класс
1	Subaru Forester	2006	1 994	Автомат.	65 000	Бенз. инж.	92	Евро 3
2	Chevrolet Lacetti	2009	1 598	Мех.	150 000	Бенз. инж.	92	Евро 3
3	Nissan Almera	2006	1 769	Автомат.	174 000	Бенз. инж.	95	Евро 3
4	Ford Mondeo	2008	1 998	Автомат.	194 000	Бенз. инж.	95	Евро 3
5	Volkswagen Tiguan	2009	1 984	Автомат.	108 000	Бенз. инж.	95	Евро 3
6	Nissan Qashqai	2010	1 997	Автомат.	36 780	Бенз. инж.	95	Евро 4
7	Subaru Forester	2011	1 994	Автомат.	58 146	Бенз. инж.	95	Евро 4
8	Nissan Qashqai+2	2012	1 997	Автомат.	22 657	Бенз. инж.	95	Евро 4
9	Suzuki SX4	2013	1 586	Автомат.	30 000	Бенз. инж.	98	Евро 4
10	Mazda 3	2014	1 598	Автомат.	69 000	Бенз. инж.	98	Евро 4
11	Ford Focus	2017	1 596	Роботизированная	59 860	Бенз. инж.	95	Евро 5
12	BMW X3	2013	1 999	Автомат.	29 756	Бенз. инж.	98	Евро 5
13	Mercedes-Benz GLA 250	2014	1 997	Автомат.	6 230	Бенз. инж.	98	Евро 5
14	Land Rover Discovery 3 (1)	2008	2 720	Автомат.	69 837	Дизель	Диз. топл.	Евро 3
15	Land Rover Discovery 3 (2)	2008	2 720	Автомат.	72 184	Дизель	Диз. топл.	Евро 3
16	Volkswagen Touareg	2008	2 461	Автомат.	112 563	Дизель	Диз. топл.	Евро 4

На рисунке отражен процесс полевого экспериментального исследования концентрационного состава отработавших газов двигателя легкового бензинового автомобиля Mercedes-Benz GLA 250.



Рис. Экспериментальное исследование количественно-качественного состава отработавших газов легкового бензинового автомобиля Mercedes-Benz GLA 250 в реальных условиях эксплуатации (21 ноября 2015 г., температура воздуха – 0 °С)

Результаты исследования

Обобщенные результаты экспериментально-расчетных исследований количественно-качественного состава отработавших газов легковых автомобилей на режиме пуска и прогрева в зависимости от температуры окружающей среды представлены в табл. 2–4.

Таблица 2. Эмиссия CO в атмосферный воздух, г/прогрев, легковыми автотранспортными средствами Евро 3 – Евро 5 на режиме пуска и прогрева в зависимости от температуры окружающей среды

Температура окружающей среды	~ -20 °С	~ -7 °С	~ 0 °С	~ +10 °С	~ +23 °С
Эмиссия CO бензиновыми легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	78,3±23,4	46,2±13,3	17,9±3,6	13,6±3,8	6,1±1,6
Евро 4	67,2±18,8	34,8±10,1	16,8±2,7	13,1±2,9	4,5±1,1
Евро 5	51,8±9,2	29,3±7,8	14,5±2,9	8,2±2,5	1,5±0,3
Эмиссия CO дизельными легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	7,2±1,3	3,8±0,8	2,9±0,4	1,8±0,3	1,3±0,2
Евро 4	6,3±0,6	3,5±0,4	2,7±0,3	1,6±0,2	0,9±0,2

Таблица 3. Эмиссия C_nH_m в атмосферный воздух, г/прогрев, легковыми автотранспортными средствами Евро 3 – Евро 5 на режиме пуска и прогрева в зависимости от температуры окружающей среды

Температура окружающей среды	~ -20 °C	~ -7 °C	~ 0 °C	~ +10 °C	~ +23 °C
Эмиссия C_nH_m бензиновыми легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	10,62±2,81	4,67±1,39	2,15±0,55	1,07±0,23	0,71±0,16
Евро 4	8,44±2,31	4,26±1,31	2,13±0,73	0,63±0,18	0,26±0,08
Евро 5	8,05±2,33	3,71±1,03	1,34±0,37	0,26±0,05	0,23±0,05
Эмиссия C_nH_m дизельными легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	1,52±0,27	1,17±0,18	0,63±0,08	0,38±0,04	0,21±0,02
Евро 4	1,23±0,09	1,07±0,06	0,48±0,03	0,32±0,01	0,19±0,01

Таблица 4. Эмиссия NO_x в атмосферный воздух, г/прогрев, легковыми автотранспортными средствами Евро 3 – Евро 5 на режиме пуска и прогрева в зависимости от температуры окружающей среды

Температура наружного воздуха	~ -20 °C	~ -7 °C	~ 0 °C	~ +10 °C	~ +23 °C
Выброс NO_x бензиновыми легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	1,42±0,44	1,15±0,23	0,62±0,21	0,52±0,11	0,45±0,09
Евро 4	1,17±0,39	1,03±0,29	0,69±0,22	0,41±0,14	0,34±0,11
Евро 5	1,26±0,36	1,32±0,42	1,07±0,31	0,69±0,18	0,43±0,13
Выброс NO_x дизельными легковыми автомобилями, г/прогрев					
Евро 3	2,49±0,52	1,47±0,26	1,08±0,21	0,64±0,18	0,55±0,16
Евро 4	2,08±0,11	1,19±0,06	0,84±0,05	0,55±0,03	0,43±0,02

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что для легковых транспортных средств Евро 3 – Евро 5 с бензиновыми моторными силовыми установками экологических классов Евро 3, Евро 4 и Евро 5 при температуре -20 °C количество угарного газа, выбрасываемого в атмосферу за время прогрева двигателя, соответственно в 12,8, 14,9 и 34,5 раза выше, чем при температуре +23 °C; а количество C_nH_m – выше соответственно в 14,9, 32,3 и 35,0 раз. В свою очередь, показатели выбросов NO_x в режиме работы холодного двигателя и выпускной системы имели гораздо меньшие различия для поколений автомобилей Евро 3 – Евро 5 и менее выраженную зависимость от температуры окружающей среды.

Для транспортных средств Евро 3 и Евро 4 с дизельными моторными силовыми установками, ожидаемо, прослеживался менее значительный рост выбросов CO, C_nH_m и NO_x по мере понижения наружных температурных показателей. Отношение суммарных за период прогрева выбросов CO, C_nH_m и NO_x при -20 °C и +23 °C составили соответственно 5,5–7,1, 6,5–7,2 и 4,5–4,8 раз.

Заключение

Результаты проведенных экспериментально-расчетных исследований показали, что для всех современных легковых автомобилей Евро 3 – Евро 5, оборудованных системой каталитического превращения опасных примесей отработавших газов, на режиме пуска и прогрева двигателя и катализатора характерны кратковременные высокие выбросы загрязняющих веществ CO, C_nH_m и NO_x , а их количество зависит от температуры окружающей среды. Чем ниже температура воздуха, тем выше расход топлива, продолжительней период прогрева двигателя и нейтрализатора и выше выбросы.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами ряда авторитетных зарубежных исследователей, занимающихся исследованием аналогичных проблем [9, 10].

Результаты работы могут быть использованы для разработки методик прогнозирования опасного воздействия выбросов автотранспорта на качество среды обитания и здоровье населения в городах и на урбанизированных территориях Арктической зоны Российской Федерации, где климатическая зима с отрицательными температурами воздуха длится больше полугода, и для которых также характерны длительные периоды неблагоприятных метеоусловий, инверсионные явления, штилевая погода, образование туманов, приводящие в совокупности к аккумулярованию опасных примесей в приземной атмосфере.

Литература

1. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Гавкалюк Б.В. Методические подходы контроля промышленной санитарно-гигиенической безопасности транспортных и стационарных дизельных установок в Арктике // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 58–64.
2. Российский и международный опыт разработки планов действий по защите здоровья населения от климатических рисков / Б.А. Ревич [и др.] // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 2. С. 176–181.
3. Ревич Б.А. Риски здоровью населения в «горячих точках» от химического загрязнения арктического макрорегиона // Проблемы прогнозирования. 2020. № 2 (179). С. 148–157.
4. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 225 с.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году: гос. доклад // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: <https://gosedoklad-ecology.ru/2017/arkticheskaya-zona-rossiyskoy-federatsii/sostoyanie-okruzhayushchey-sredy/> (дата обращения: 16.05.2021).
6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2013 году: гос. доклад. Мурманск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области, 2014. 191 с.
7. Ложкина О.В., Онищенко И.А. Анализ опасного загрязнения атмосферного воздуха крупных городов Арктической зоны отработавшими газами транспортных средств // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 3 (55). С. 20–26.
8. Ложкина О.В., Онищенко И.А. Методика оценки выбросов опасных компонентов отработавших газов при пуске и прогреве двигателей автотранспортных средств в климатических условиях Арктики // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 30–37.
9. Weilenmann M., Favez J.-Y., Alvarez R. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories // Atmospheric Environment. 2009. V. 43. P. 2419–2429.
10. Weilenmann M. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold-start emissions at different temperatures // Atmospheric Environment. 2005. V. 39. P. 2433–2441.

УДК 351.814.28

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНФОРМИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ВЫСОТНОГО ПОЛЕТА

Н.А. Марков.

АО «Научно-производственное предприятие «Топаз»

Представлена архитектура и логика функционирования комплекса технических средств, предназначенного для индивидуального (персонифицированного) и коллективного информирования пассажиров и экипажа воздушного судна о потенциальной опасности чрезвычайной ситуации высотного полета. При разгерметизации салона воздушного судна в реальном времени осуществляется расчет величины резервного времени сохранения сознания человеком с последующим предъявлением этой величины пассажирам и экипажу, сопровождающимся аудио- и цветовыми сигналами, а также передачей информации наземным службам авиационной безопасности.

Ключевые слова: транспортная безопасность, разгерметизация салона воздушного судна, комплекс технических средств информирования, резервное время сохранения сознания

THE COMPLEX OF TECHNICAL MEANS OF INFORMING PASSENGERS OF AIRCRAFT IN EMERGENCY SITUATIONS OF HIGH-ALTITUDE FLIGHT

N.A. Markov. JSC «Scientific and Production Enterprise «Topaz»

The architecture and logic of the functioning of a complex of technical means intended for individual (personified) and collective informing of passengers and aircraft crew about the potential danger of an emergency situation of high-altitude flight is presented. When the aircraft cabin is depressurized in real time, the amount of the reserve time of preservation of consciousness by a person is calculated, with the subsequent presentation of this value to passengers and the crew, accompanied by audio and color signals, as well as the transmission of information to ground aviation security services.

Keywords: transport safety, depressurization of the aircraft cabin, a set of technical means of information, reserve time for preserving consciousness

Активное развитие гражданской и государственной авиации было и остается сопряженным с обеспечением безопасности полетов [1–5]. В связи с уменьшением сопротивления воздуха при увеличении высоты полета и, следовательно, с меньшим расходом топлива в высотном полете, полеты воздушных судов гражданской авиации выполняются на высотах порядка 10 000 м. Кроме того, при полете на таких высотах минимальна вероятность столкновения с птицами, обеспечивается стабильность полета (с увеличением высоты реже встречаются потенциально опасные погодные явления), минимизируются риски столкновения с препятствиями и т.д.

Статистика авиационных происшествий и авиационных инцидентов свидетельствует об имеющихся рисках возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в высотных полетах, обусловленных разгерметизацией кабин и/или салонов воздушного судна [6–8]. Быстрое развитие таких ЧС, недооценка экипажем и пассажирами потенциальных опасностей, сопровождающихся психоэмоциональным стрессом, обуславливает необходимость совершенствования средств, методов и технологий обеспечения безопасности пассажиров воздушных судов в ЧС высотного полета [9, 10].

Основными факторами внешней среды, влияющими на человека в высотном полете, являются [4, 11]: перепады атмосферного давления, низкая температура воздуха, солнечная радиация, пониженное парциальное давление кислорода.

Согласно результатам исследования эффективности мероприятий по обеспечению безопасности в ЧС высотных полетов, по результатам анкетирования и интервьюирования экипажа и пассажиров, побывавших в ЧС высотного полета, повысить безопасность в таких ситуациях возможно за счет информирования о потенциальной опасности ЧС в реальном времени [11, 12]. Реализовать такое информирование возможно с помощью расчета и предъявления в реальном времени оценки резервного времени сохранения сознания человеком в ЧС высотного полета с учетом динамики развития такой ЧС [13]. Научно-технический прогресс обусловил создание технических средств, позволяющих рассчитывать и предъявлять пассажирам воздушного судна оценки резервного времени сохранения сознания в ЧС высотных полетов.

В интересах обеспечения информирования пассажиров воздушных судов (ВС) о потенциальной опасности ЧС целесообразно использовать величины резервного времени сохранения сознания, поскольку величины барометрического давления, содержания кислорода в окружающем воздухе являются малоинформативными для большинства пассажиров [14, 15].

Задача структурной и параметрической идентификации зависимости величины резервного времени сохранения сознания от высоты полета ВС решена с помощью метода наименьших квадратов на основе массива статистических данных о величинах сохранения сознания испытателями-добровольцами в условиях гипоксической гипоксии [16–18]. На основании эмпирических данных с применением модуля регрессионного анализа, реализованного в пакете программ статистического анализа Statistika ver. 10.0, была синтезирована степенная функция:

$$T = 7 \times 10^{-21} P^{4,8429} - 11,$$

которая позволяет рассчитать оценки резервного времени сохранения сознания пассажиров ВС в зависимости от высоты полета с качеством, достаточным для информирования пассажиров ВС об опасности ЧС высотного полета [19–21].

Комплекс технических средств коллективного информирования о величине предельного резервного времени сохранения сознания при ЧС в высотных полетах предназначен для информирования пассажиров и экипажа ВС о величине предельного резервного времени сохранения сознания в случае разгерметизации салона.

Под средствами коллективного информирования понимаются средства, отображаемая информация на которых актуальна для всех пассажиров, находящихся внутри салона.

В случае разгерметизации салона автоматически или принудительно (по решению командира воздушного судна (КВС) из контейнеров над сиденьями пассажиров выпадают кислородные маски (КМ), подключенные к системе кислородного питания. Пассажир должен подтянуть и надеть КМ, прижать к носу и рту, закрепить маску на голове с помощью резиновых креплений, затем помочь надеть КМ другим пассажирам и ждать указаний КВС.

Для обеспечения безопасности человека в ЧС, сопряженных с воздействием гипоксической гипоксии, например, при разгерметизации салона (кабины), отказе кислородного оборудования, предлагается использовать индикатор резервного времени сохранения сознания (рис. 1).

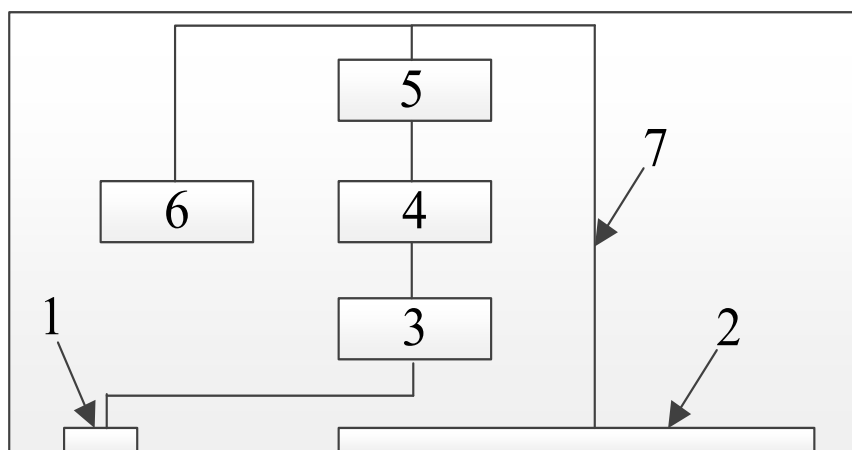


Рис. 1. Структурная схема индикатора резервного времени

Индикатор включает корпус, в стенки которого заподлицо внешней поверхности встроены датчик барометрического давления (1) и табло (2) для отображения резервного времени сохранения сознания человека. Внешняя стенка корпуса, противоположная стенке со встроенным табло, оборудована креплением, внешний вид которого зависит от вариантов размещения индикатора.

Выход датчика барометрического давления индикатора подключен к накопителю информации (3), соединенному с вычислителем (4), выход которого подключен к компаратору (5), соединенному с табло (2) и с блоком беспроводного интерфейса (6) с помощью шины (7) (рис. 1).

Функционирование индикатора резервного времени сохранения сознания человеком в условиях гипоксической гипоксии заключается в следующем:

1. Индикатор с помощью крепления размещается таким образом, чтобы его показания были видны как можно большему числу людей, а входящий в состав индикатора датчик барометрического давления в окружающей газовой среде не был закрыт посторонними предметами, способными исказить измеряемые показатели барометрического давления.

2. После включения индикатора осуществляют съем показаний с датчика барометрического давления с частотой 1 Гц (1 раз в секунду), одновременно аккумулятор автоматически подзаряжается от сети электропитания через разъем сопряжения, а составные части индикатора запитаны через общую шину электропитания.

3. Значения барометрического давления в окружающей среде с датчика по информационно-управляющей шине поступают:

- в накопитель информации, который представляет из себя сдвиговый регистр из 300 ячеек. То есть в накопителе одновременно может храниться не более 300 измерений барометрического давления (что соответствует измерениям каждую секунду в течение 5 мин) – 301 измерение записывается вместо первого, 302 измерение – вместо второго и т.д.;
- в модуль беспроводного интерфейса для передачи на рабочее место экипажа и на рабочее место специалистов наземных служб.

4. В вычислителе производится динамический расчет оценки резервного времени сохранения сознания человека T , с.

5. Рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания по информационно-управляющей шине поступает в компаратор, где ее сравнивают с величиной 300 с. Если рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания меньше 300 с, то выдается сигнал на включение табло. В цифровых разрядах табло индикатора отображается оценка резервного времени сохранения сознания человека, которая измеряется в реальном времени

с дискретностью, равной частоте измерения барометрического давления в окружающей среде (1 Гц).

С той же дискретностью рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания человека передается в модуль беспроводного интерфейса для передачи на рабочее место экипажа и на рабочее место специалистов наземных диспетчерских служб. Если при включенном табло индикатора рассчитанная оценка резервного времени сохранения сознания становится большей или равной 300 с, то выдается сигнал на выключение табло индикатора. Как вариант, для более рационального использования индикатора в случае резервного времени более 300 с возможно выводить на экран астрономическое время или текущую высоту полета.

Корпус индикатора резервного времени должен быть выполнен в защищенном исполнении. По международному стандарту защиты устройства от пыли и влаги степень защиты должна быть не ниже IP 65.

Элементная база и корпус индикатора должны быть выполнены из современных качественных материалов, обеспечивающих минимальные массогабаритные показатели и необходимую прочность для работы в условиях перегрузок при перелетах.

Размер экрана цифрового индикатора определялся в зависимости от размещения в салоне ВС, показания цифрового индикатора должны быть видны всем пассажирам.

Емкость аккумулятора должна обеспечивать функционирование индикатора в течение восьми часов после отключения от сети электропитания.

Исходя из анализа возможных вариантов размещения индикатора резервного времени сохранения сознания человека, в целях коллективного информирования определены следующие наиболее рациональные варианты размещения: в салоне самолета под табло Exit, над рядами кресел пассажиров вместо индикации о запрете курения, в кабине экипажа на панели приборов.

Достоинствами средств коллективного информирования является небольшое количество размещаемых на борту индикаторов и меньшее число изменений в конструкции салона ВС. Недостатком указанного комплекса является то, что резервное время сохранения сознания, отображаемое на индикаторе, измеряется без учета индивидуальных особенностей человека, например, частоты дыхания, массы тела и т.д.

В комплексах индивидуального информирования отображаемая информация актуальна только для одного пассажира.

В случае разгерметизации салона и выпадении кислородных масок предлагается использовать индивидуальные индикаторы резервного времени сохранения сознания, встраиваемые в кислородные маски.

Цифровой индикатор встраивают в каркас маски так, чтобы его показания были видны пользователю, а датчик барометрического давления в окружающей газовой среде встраивают таким образом, чтобы обеспечить объективную регистрацию измеряемых величин барометрического давления (чтобы минимизировать риски «перекрытия» датчика шлангом подачи кислорода и т.п.). Информация о величине резервного времени сохранения сознания может отображаться на цифровом табло или многорежимном светодиоде (таблица), доводиться с помощью встроенного динамика или комбинированным способом.

Таблица. Цвет светодиодного индикатора в зависимости от величины резервного времени

Величина резервного времени	Режим светодиода
менее 30 с	красный мигающий
от 30 до 120 с	красный
от 120 до 300 с	желтый
более 300 с	зеленый

Следующим возможным вариантом расположения индикатора сохранения сознания может служить спинка кресла впереди сидящего пассажира.

Предлагаемая система индикации обеспечивает индивидуальное оповещение пассажира ВС о резервном времени сохранения сознания в условиях гипоксической гипоксии с учетом его индивидуальных антропометрических характеристик (рис. 2).

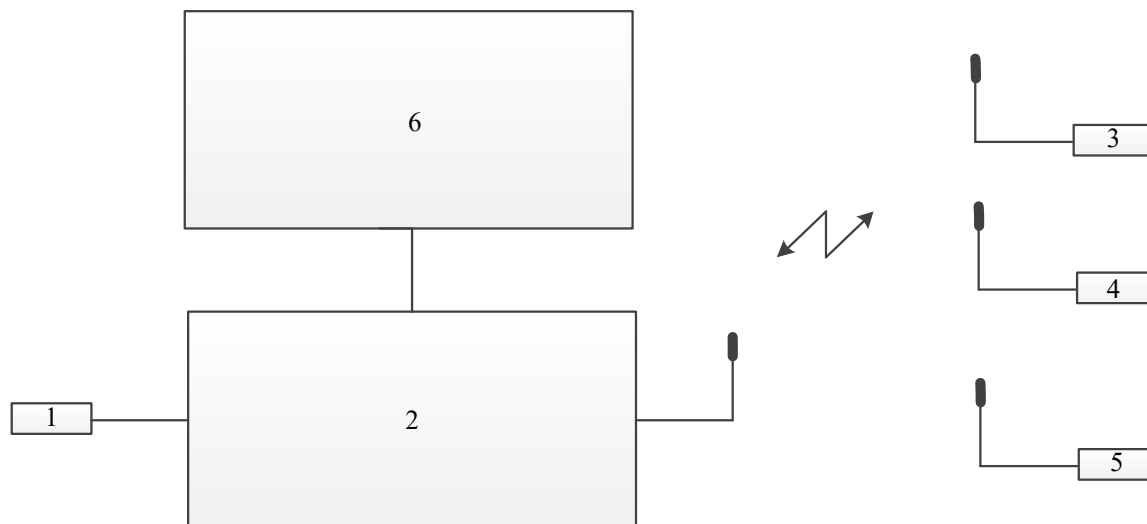


Рис. 2. Структурная схема индикатора резервного времени сохранения сознания с датчиком измерения массы пассажира

Вариант сохраняет в себе элементы ранее описанной схемы (рис. 1) – датчик измерения давления (1) и блок вычисления (2), с учетом того, что в блоке вычисления происходит динамический расчет времени сохранения сознания с учетом роста, массы тела и ширины спины.

Оценка роста определяется как разность показаний лазерного дальномера (3) при отсутствии и присутствии пассажира в кресле с последующим пересчетом в рост стоя:

$$y = 1,52 x,$$

где x – рост сидя; y – рост стоя.

Расчет массы тела пассажира производится с помощью встроенного в сиденье кресла тензорезисторного датчика (4). Сила воздействия тела на сиденье вызывает деформацию встроенной пружины или балочного тензодатчика, и степень такой деформации дает информацию о массе тела.

Оценка ширины спины пассажира производится с помощью набора пироэлектрических инфракрасных датчиков (5), дискретно встроенных в спинку кресла пассажира – ширина спины соответствует ширине полосы одновременно сработавших датчиков.

Рассчитанная с учетом роста, массы тела и ширины спины оценка резервного времени сохранения сознания отображается на табло индикатора (6).

Результаты экспертного опроса группы 15 специалистов в области авиационной безопасности (4 инженера по эксплуатации авиационного оборудования, 3 авиационных врача, 3 парашютиста-инструктора, 2 летчика, 2 альпиниста-инструктора, 1 водолаз-инструктор) показали, что разработанные технические средства индивидуального и коллективного информирования пассажиров ВС в ЧС высотного полета обеспечивают существенное повышение безопасности пассажиров в этих условиях.

Приоритетными направлениями совершенствования комплекса технических средств информирования пассажиров ВС в ЧС высотного полета являются обеспечение возможности учета индивидуальных особенностей здоровья пассажиров (антропометрические характеристики, наличие хронических заболеваний, тренированность к переносимости кислородного голодания) в интересах оптимизации планирования и реализации спасательных мероприятий.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2553.2020.8).

Литература

1. Дашков И.Д., Зубков Б.В. Определение и оценка состояний функциональных систем воздушных судов в системе управления безопасностью полетов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 205. С. 32–36.
2. Filimonyuk L.Yu. The problem of critical events' combinations in air transportation systems // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 573. Pp. 384–392.
3. Серегин С.Ф., Харитонов В.В. Ключевые проблемы совершенствования системы безопасности полетов государственной авиации // *Транспортный вестник*. 2016. № 1. С. 1–22.
4. Шишов А.А., Богомоллов А.В. Физиологическое обоснование адекватного выхода из аварийной ситуации в высотном полете // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2020. Т. 54. № 2. С. 65–71.
5. Continuous flight safety management information system for a group of converging aircraft / V.I. Goncharenko [et al] // *Russian Aeronautics*. 2018. Vol. 61. № 2. Pp. 271–278.
6. Markov N.A., Bogomolov A.V., Dvornikov M.V. Technology of informing passengers of civil aviation in an emergency of high-altitude flight // *IOP Conference, Series: Earth and environmental science*. 2021. Vol. 666. No. 6. Paper no. 062031. 7 p.
7. Дворников М.В., Меденков А.А., Шишов А.А. Развитие методологии обеспечения высотных полетов в авиации и космонавтике // *Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики*. 2017. № 3-1 (84). С. 52–58.
8. Кучевский С.В., Зыков М.О. Метод определения утечки воздуха из герметической кабины и ее компенсации // *Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации*. 2016. № 6-1. С. 382–385.
9. Information technology concept of integration of computing resources and physical processes in cyber-physical systems for personalized information about the potential danger of an emergency situation in high-altitude flight / N.A. Markov [et al] // *Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 338 «Cyber-physical systems: Modelling and intelligent control». Springer, 2021. Pp. 205–215.
10. Методология количественного оценивания риска для безопасности полетов в самолетном сегменте коммерческой авиации / А.Г. Гузий [и др.] // *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2019. Т. 22. № 4. С. 33–42.
11. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Лушкин А.М. Компьютерная технология прогностического оценивания функциональной надежности пилота // *Программные системы и вычислительные методы*. 2018. № 2. С. 84–93.
12. Облик автоматизированных информационных систем персонифицированного оповещения пассажиров воздушных судов в чрезвычайных ситуациях высотного полета / Ю.А. Кукушкин [и др.] // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2020. № 4. С. 44–50.
13. Ermachenko N.V., Evdokimov A.O. Existing flight safety systems of multi-rotor unmanned aerial vehicles // *Modern Science*. 2017. № 6-1. Pp. 27–29.
14. Методологические и теоретические аспекты создания и развития информационных технологий в авиационной медицине / Ю.А. Кукушкин [и др.] // *Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018): сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. Белгород, 2018. С. 95–98.*

15. Способ оптимизации регулирования давления воздуха в герметической кабине воздушного судна / С.В. Кучевский [и др.] // Труды МАИ. 2017. № 92. С. 14.
16. Кучевский С.В., Тимофеев Л.С. Способ компенсации утечки воздуха из герметической кабины воздушного судна при ее частичной разгерметизации // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2020. № 8. С. 260–266.
17. Марков Н.А., Филатов В.Н. Комплекс технических средств автоматизированного оповещения об опасностях чрезвычайных ситуаций высотных полетов // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 7. С. 42–48.
18. Kotlovanov K.Yu., Bychkov E.V., Bogomolov A.V. Optimal control in the mathematical model of internal waves // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2020. Т. 7. № 1. С. 62–71.
19. Professionally important skills of air traffic controllers / S.K. Soldatov [et al] // Human Physiology. 2018. Vol. 44. № 7. Pp. 775–778.
20. Information-logical modeling of information collection and processing at the evaluation of the functional reliability of the aviation ergate control system operator / A.V. Bogomolov [et al] // Proceedings of the 3rd International Conference Ergo-2018: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments, Ergo 2018. 3. 2018. С. 106–110.
21. Филимонюк Л.Ю. Метод построения правил выбора исходных данных для математических моделей управления человеко-машинными системами по критерию безопасности // Естественные и технические науки. 2019. № 9 (135). С. 141–143.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абразумов Олег Владиславович – ст. препод. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: abrazumov.o@igps.ru;

Актерский Юрий Евгеньевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: akterskij.y@igps.ru, д-р воен. наук, проф.;

Андрюшкин Александр Юрьевич – зав. каф. технол. конструкц. материалов и пр-ва ракетно-косм. техн. Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), e-mail: saschala@ya.ru, канд. техн. наук, доц.;

Бабиков Игорь Александрович – аспирант Высш. шк. техносф. безопасн. СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: babikovia@gmail.com;

Веджижев Магомед Иссаевич – аспирант заоч. формы обучения каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Винокуров Владимир Анатольевич – проф. каф. теор. и истории гос-ва и права СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: pravov.kaf_tigr@mail.ru, д-р юрид. наук, доц., засл. юрист Российской Федерации;

Галишев Михаил Алексеевич – проф. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: galishev.m@igps.ru, проф., д-р техн. наук, засл. работник высш. шк. РФ;

Джафаров Элхан Адилевич – препод. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ognez.ipl@mail.ru;

Дорошенко Станислав Иванович – доц. каф. горноспасат. дела и взрывобезопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: stasdoroshenko@mail.ru, канд. техн. наук, засл. воен. специалист РФ, Лауреат Государственной премии им. Г.К. Жукова;

Зайкин Руслан Григорьевич – соискатель каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kiite@igps.ru;

Иванов Андрей Сергеевич – зам. дир. НПК СС по сист. проектированию АО «НПП «Радар ммс» (197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А), e-mail: ivanov_as@radar-mms.com;

Иванов Константин Серафимович – зав. каф. механики и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ksiva1957@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

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), e-mail: vf10@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Константинова Алина Станиславовна – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалиф. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ak090695@yandex.ru;

Лебедев Андрей Юрьевич – доц. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: lebedev@igps.ru, канд. техн. наук;

Лобова Софья Федоровна – ст. науч. сотр. 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), e-mail: sonmel1984@yandex.ru;

Ловчиков Владимир Александрович – гл. науч. сотр. ФГУП Ордена Ленина и Ордена Трудового Красного Знамени Науч.-исслед. ин-та синт. каучука им. акад. С.В. Лебедева (198035, Санкт-Петербург, ул. Гапсальская, д. 1), тел. 8 (812) 388-86-28, e-mail: kiite@igps.ru, д-р хим. наук, проф.;

Ложкина Ольга Владимировна – проф. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: olojkina@yandex.ru, канд. хим. наук, д-р техн. наук, проф.;

Мальчиков Константин Борисович – препод. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: malchikov87@mail.ru;

Марков Николай Александрович – науч. сотр. АО «Науч.-произв. предприятие «Топаз» (129626, Москва, 3-я Мытищинская, д. 16), e-mail: nikolya.markov.1987@mail.ru;

Медведева Людмила Владимировна – зав. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: luvlmed@mail.ru, д-р пед. наук, проф., заслуж. работник высш. шк. РФ;

Мещеряков Станислав Андреевич – аспирант каф. А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, д. 1), e-mail: mail4games2012@yandex.ru;

Минкин Денис Юрьевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротуш. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), дир. СПб ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), e-mail: dunkel@mail.ru, д-р техн. наук, проф.;

Новохатка Илья Сергеевич – ст. инспектор отд. организации надз. и профилактик. мероприятий упр. надз. деят. и профилактик. работы ГУ МЧС России по Псковской обл. (180019, г. Псков, Инженерная ул., д. 92), e-mail: pravo.kaf_tigr@mail.ru;

Онищенко Игорь Анатольевич – нач. ин-та проф. подгот. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 001-@list.ru;

Петрова Наталья Вячеславовна – зам. нач. отд. инновац. и информ. технологий 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: n-youun@mail.ru, канд. техн. наук;

Поляков Александр Степанович – проф. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: poljakov_as@mail.ru, канд. техн. наук, проф., засл. деят. науки 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;

Реснянский Сергей Геннадьевич – доц. каф. механики и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: resy_1976@mail.ru, канд. техн. наук;

Самигуллин Гафур Халафович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: samigullin.g@igps.ru, д-р техн. наук, доц.;

Седнев Анатолий Владимирович – студент Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана (нац. исслед. ун-та) (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), техник лаб. динам. проц. Ин-та машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, ул. Бардина, д. 4), e-mail: stolya2000@mail.ru;

Седнев Владимир Анатольевич – проф. каф. защ. нас. и тер. Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: sednev70@yandex.ru, д-р техн. наук;

проф., засл. работник высш. шк. РФ, почет. работник науки и техн. РФ, лауреат премии Прав-ва РФ в обл. науки и техн., лауреат премии Прав-ва РФ в обл. образования РФ;

Сорокин Игорь Александрович – ст. препод. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: igor_40in@mail.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;

Танклевский Леонид Тимофеевич – зав. каф. «Пожарная безопасность» СПб политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru, д-р техн. наук, проф.;

Хазов Алексей Николаевич – вед. специалист ООО «Промстройвзрыв» (190031, Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, д. 117, офис 389), тел/факс 8 (812) 314-20-468, (812) 570-67-38, e-mail: mail@promstroyvzryv.ru;

Часовникова Ольга Георгиевна – доц. каф. трудового права СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: chasovnikova-og@mail.ru, канд. юрид. наук;

Широухов Александр Валерьевич – доц. каф. механики и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shiroukhov@igps.ru, канд. техн. наук.



ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы, кандидат технических наук, доцент Гавкалюк Богдан Васильевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых

академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации, факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА), факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности научно-исследовательского института: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск,

Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны, Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты

диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

1. Материалы для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

3. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: УДК (универсальная десятичная классификация); название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии **авторов (не более трех)**; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

4. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

5. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

6. Оформление библиографии (списка литературы):

Список литературы должен содержать не менее 10 источников. При этом в него не следует включать ссылки на учебники, учебные пособия, патенты, ГОСТы, приказы, распоряжения и другие нормативные документы, сайты компаний и т.п. Информация о них должна быть дана непосредственно по тексту или в сносках. Если статья рассматривает проблемы нормирования, то нормативные документы допускается включать в Список литературы.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 70 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное – другие первоисточники на русском языке.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных (в поиске DOI поможет сайт <http://www.crossref.org/>).

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 7 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

Правила оформления списка литературы:

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневых процессов: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

7. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал

Проблемы управления рисками в техносфере
№ 3 (59) – 2021

Подписной индекс № ПА482 в электронном каталоге «Почта России»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 30.09.2021. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 19,25 Тираж 1000 экз. Зак. № 99

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149