

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 2 (58) – 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, доцент **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

Астанков А.М., Мироненков О.В., Вагин А.В. Способ оптимального комплексирования методов неразрушающего контроля технического состояния насосных агрегатов стартовых комплексов	6
Михайлова В.И., Ивахнюк Г.К. Разработка системы тепловой защиты резервуаров с использованием гидрогелей на основании моделирования и экспериментальных данных	15
Ударцева О.В., Захарова Е.В., Илюсизова А.С. Исследование системы предотвращения пожаров в резервуарных парках предприятий нефтегазодобычи	22
Смирнова А.М., Мазур А.С., Савонин С.В. Оценка пожаровзрывоопасности газовой среды канализационных коллекторов и смежных с ними сооружений	27
Маевский А.М., Печайко И.А., Турсенев С.А. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов	32
Седнев В.А., Седнев А.В. Проблемные вопросы обеспечения электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации	39

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Королева Л.А., Хайдаров А.Г. Оценка пожарной опасности в системе учета твердых коммунальных отходов при их накоплении и перевозке	53
Аникеев А.А., Клейманов П.А., Марков В.Е. Причина пожара – аварийные процессы на слаботочных электрических проводниках, вызванные наведенным напряжением	60

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

Савчук О.Н., Сильников М.В. Способ оперативной локализации проливов нефтепродуктов при перевозке железнодорожным транспортом	70
Брод А.Л., Дворников С.В. Предложения по предполетной и постполетной коррекции формы позвоночника космонавтов	76
Копейкин Н.Н., Мельник А.А., Агеев П.М. Разработка правил надзора за спасательными судами МЧС России в части обеспечения эксплуатационной безопасности механических установок	83
Николашин С.Ю., Дорошенко С.И., Малых В.А. Обоснование эффективности применения гелепоров при ликвидации пожаров и в чрезвычайных ситуациях	88
Ложкина О.В., Малышев С.А., Хахленов А.В. Исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM ₁₀ и PM _{2,5} на примере Санкт-Петербурга	96

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Лобатова О.В. Экспертное исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий для металлоконструкций методом инфракрасной спектроскопии	104
Елисеев Ю.Н., Мокряк А.В. Применение инструментальных методов при исследовании газовых баллонов	109
Сорокин И.А., Поляков А.С. Обоснование требований и разработка порошковых огнетушителей перспективной конструкции для тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли	117

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Агаев Г.А., Зорина Е.А., Сафонов В.Н. Оценочные признаки состава преступления и их значение для определения вины и уголовной ответственности	124
Винокуров В.А., Митричев Д.А. Влияние авторитета сотрудников МЧС России на защиту их от насилия	130
Ткачев П.А., Меньшиков А.В., Осокин Е.А. Превентивное значение проверок по факту пожаров	135

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Королев О.А. Адаптивное спектральное преобразование видеоинформации о чрезвычайных ситуациях на автомобильном транспорте в системах наблюдения	140
Колчин В.В. Использование метода материального баланса при разработке современных средств твердопленочного пожаротушения	154
Сведения об авторах	160
Информационная справка.	164
Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере».	169

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 629.7.08

СПОСОБ ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.М. Астанков;

О.В. Мироненков, кандидат химических наук.

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

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

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Предложен способ формирования наборов методов неразрушающего контроля для диагностирования параметров технического состояния элементов насосных агрегатов стартовых комплексов ракетно-космических комплексов, обеспечивающих максимальную вероятность достоверного измерения данных параметров при заданной стоимости проведения работ. Способ реализован на основе симплекс-метода линейного программирования и позволяет эффективно оптимизировать процесс комплексирования средств и методов неразрушающего контроля в процессе их эксплуатации на стартовых комплексах ракетно-космических комплексов.

Ключевые слова: оценивание, прогнозирование, методы неразрушающего контроля, комплексирование, насосные агрегаты

THE METHOD OF OPTIMAL INTEGRATION OF METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE PUMPING UNITS OF THE STARTING COMPLEXES

A.M. Astankov; O.V. Mironenkov. Mozhaisky military space academy.

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

The article deals with a method for the formation of sets of non-destructive testing techniques that provide the maximum probability of reliable measurement of technical state parameters of pump equipment at a given cost. The simplex-method implementation makes it possible to optimize the integrating process of non-destructive testing means and techniques when estimating the technical state of launch complex facilities of rocket and space complexes.

Keywords: estimation, forecasting, non-destructive testing techniques, integration, pumping units

Задача оценивания и прогнозирования технического состояния (ТС) роторного оборудования стартовых комплексов (СК) ракетно-космических комплексов (РКК), в том

числе насосных агрегатов (НА), с целью обеспечения их дальнейшей безопасной эксплуатации, является в настоящее время одной из наиболее актуальных, поскольку многие агрегаты из состава технологического оборудования СК были введены в эксплуатацию во второй половине XX в. и, соответственно, работают за пределами назначенных показателей ресурса. При этом закономерно увеличивается частота их отказов, что может приводить к незапланированным задержкам и даже отменам пуска ракеты-носителя и в целом повышает эксплуатационный риск для всего РКК [1, 2]. Поэтому, с целью снижения риска эксплуатационных отказов НА СК РКК, предлагается повысить достоверность мониторинга их текущего технического состояния путем расширения применяемой номенклатуры методов неразрушающего контроля (МНК) при их оптимальном комплексировании.

Анализ применения МНК для оценивания ТС объектов наземной космической инфраструктуры [3–7] подтверждает целесообразность совместного использования функциональных возможностей средств неразрушающего контроля (НК), когда при диагностировании оборудования используются разные по физической природе методы измерения его параметров. Такое комплексирование позволит взаимно нивелировать недостатки применяемых методов, реализовать принцип «избыточности» при получении и интерпретации результатов измерений, что, в конечном итоге, позволит значительно повысить достоверность контроля диагностических параметров.

Постановка задачи

Комплексирование МНК в общем виде подразумевает проведение следующих мероприятий:

- определение для выбранного объекта контроля критически значимых диагностируемых параметров, по которым можно надежно оценить возможность его дальнейшей эксплуатации в безопасном режиме;
- оценку функциональных возможностей доступных средств и методов НК для измерения критически значимых диагностируемых параметров выбранного объекта контроля в соответствии с их целевым назначением и потребительскими характеристиками;
- выбор наиболее оптимального набора методов и средств НК для выявления действительного состояния объекта контроля (с точки зрения максимизации достоверности данных при условии их достаточности и минимизации стоимости проведения диагностических мероприятий);
- обработку и интерпретацию многопараметрических данных, полученных в результате комплексирования методов НК.

Разработка способа определения оптимального набора диагностического оборудования, который позволит обеспечить максимальный уровень достоверности оценивания технического состояния объектов наземной космической инфраструктуры при заданном финансировании проведения контрольных мероприятий (на примере НА СК РКК) и является целью данной работы.

Таким образом, стратегия комплексирования должна быть основана на стремлении, с одной стороны, обеспечить максимальную вероятность достоверного измерения критически значимых диагностируемых параметров и, с другой стороны, не превысить заданную стоимость проведения работ по контролю ТС НА.

Метод оптимизации

Для решения подобного рода оптимизационных задач, чаще всего используют метод математического (дискретного) программирования [8], суть которого заключается в итеративном удалении из первоначального набора МНК средства НК с наименьшим показателем влияния до достижения либо требуемой вероятности достоверного контроля оборудования, либо заданной стоимости диагностических мероприятий.

В данной работе для решения задачи оптимального комплексирования МНК при контроле технических параметров элементов оборудования НА СК РКК предлагается использовать симплекс-метод линейного целочисленного программирования, алгоритм которого ищет решение оптимизационной задачи путем перебора вершин выпуклого многогранника в многомерном пространстве. При этом строятся базисные решения, на которых монотонно убывает линейный функционал, до ситуации, когда выполняются необходимые условия локальной оптимальности [9]. Данный метод прост и универсален. Эти обстоятельства наряду с хорошей его сходимостью и высокой скоростью достижения оптимальных условий обуславливают его широкую популярность и делают его весьма эффективным средством при решении разного рода экстремальных задач.

Формализация задачи

Введем обозначения. Пусть $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множество всех доступных МНК, которые могут использоваться для обследования технического состояния НА; p_{ij} – вероятность достоверного контроля i -го элемента НА j -м МНК из множества X , C_{ij} – стоимость контроля i -го элемента НА j -м МНК из множества X ; $C_{\Sigma_{\text{пр}}}$ – требуемая суммарная стоимость проведения контроля всех критически значимых параметров элементов НА; g_{ij} – булева переменная, которая принимает следующие значения:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-ый МНК используется для контроля } i\text{-го параметра НА;} \\ 0, & \text{если } j\text{-ый МНК не используется для контроля } i\text{-го параметра НА.} \end{cases}$$

В результате получим матрицу использования МНК при контроле НА:

$$G_{nm} = \|g_{ij}\|,$$

где n – количество всех МНК, задействованных для контроля ТС НА; m – количество контролируемых параметров элементов НА.

Таким образом, математическая модель поставленной задачи для максимизации целевой функции W имеет вид:

$$W = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{ij} g_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \leq C_{\Sigma_{\text{пр}}}, \\ \sum_j^n g_{ij} \geq 1, \quad i \in [1, m], \\ g_{ij} \in \{0, 1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{cases} \quad (2)$$

Решением задачи комплексирования МНК будет являться обновленная матрица использования МНК:

$$G_{km} = \|g_{ij}\|,$$

где k – количество МНК, задействованных для контроля i -го элемента НА после моделирования (применения симплекс-метода).

Оценивать качество модели будем по формуле для вероятности достоверного контроля i -го элемента НА при совместном применении нескольких МНК:

$$p_i = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - p_{ij}) . \quad (3)$$

Для расчета вероятности достоверного контроля всех элементов НА (при условии независимости их контроля) будем использовать формулу:

$$P = \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^k (1 - p_{ij}) \right]. \quad (4)$$

Пример использования способа оптимального комплексирования

Рассмотрим реализацию предлагаемого способа на примере обработки параметров ТС для НА 3-го класса по ГОСТ 10816-1-97. В соответствии с работой [10] полноценный контроль параметров технического состояния НА СК, находящихся в эксплуатации, может быть обеспечен следующими МНК:

- методом акустической эмиссии (АЭ);
- ультразвуковым контролем (УЗК);
- визуально-оптическим контролем (ВИК);
- тепловизионным контролем (ТВ);
- виброакустической диагностикой (ВД).

Следует отметить, что при формировании первоначального набора МНК для измерения критически значимых диагностируемых параметров выбранного объекта контроля крайне желательно включать в его состав все доступные средства НК, которые так или иначе могут быть полезны при проведении диагностических мероприятий. Это заметно повысит эффективность моделирования.

В ходе анализа конструктивных особенностей НА были определены следующие возможные дефекты, служащие причиной отказов данного оборудования:

- потеря прочности фундамента;
- аварийный отказ в результате трещины в корпусе агрегата;
- разрушение подшипника электродвигателя;
- разрушение вала электродвигателя;
- разрушение соединительной муфты.

Затем были выбраны ключевые, требующие повышенного контроля элементы НА, в соответствие которым были поставлены МНК из первоначального набора инструментальных средств НК.

В табл. 1 приведены данные по основным элементам НА, применяемым для их контроля, а также усредненным оценкам вероятностей достоверного измерения параметров

используемыми МНК и округленным стоимостям проведения диагностических мероприятий [11].

Таблица 1. Типовые элементы НА СК, МНК и их характеристики

№ п/п	Элементы	Количество элементов	Определяющий отказ процесс	МНК	Усредненная оценка достоверности контроля	Оценка стоимости контроля, руб.
1	Фундамент	1	Разупрочнение	УЗК	0,94	112
				ВИК	0,90	439
2	Корпус	1	Хрупкое растрескивание	АЭ	0,90	1000
				ВИК	0,90	40
				УЗК	0,94	112
3	Подшипник	4	Износ	АЭ	0,90	1000
				ТВ	0,96	780
				ВД	0,97	895
4	Вал (ротор)	1	Износ	ВД	0,97	895
				АЭ	0,90	1000
				ТВ	0,96	780
				ВИК	0,90	40
				УЗК	0,94	112
5	Муфта	1	Износ	ВИК	0,90	40
				ВД	0,97	895
				АЭ	0,90	1000
				ТВ	0,96	780
				УЗК	0,94	112

Представим пошагово дальнейший процесс оптимального комплексирования МНК при оценке технического состояния НА СК.

Шаг 1. Проводим детализацию элементов контроля по дефектам и строим матрицу вероятностей достоверного контроля дефектов агрегата (табл. 2). При этом под достоверностью контроля следует понимать не только установление факта наличия неисправности в каком-либо узле НА, но и определение ее причины.

Обратим внимание, что не все значения вероятностей для МНК в табл. 2 (закрашенные ячейки) совпадают с номинальными значениями вероятностей в табл. 1. Это связано с тем, что при формировании второй таблицы применялся экспертный подход. При этом учитывались такие факторы, как условия применения МНК, доступность элемента контроля для измерений, возможности МНК для выявления того или иного дефекта. Например, для метода УЗК, чтобы достоверно установить факт коррозионных процессов, требуется качественная очистка поверхности и контактная жидкость. Визуально-оптическим контролем не всегда можно полностью выявить дефекты корпуса НА (глубинное хрупкое растрескивание, межкристаллитную коррозию). Кроме того, такие методы как ТВ и ВД одновременно проводят измерения и получают данные для системы «подшипники–вал–муфта» (ячейки с курсивным шрифтом в табл. 2), поэтому достоверно локализовать причину неисправности весьма затруднительно. В данном случае вполне логично разделить номинальные значения вероятностей достоверного контроля этих методов на шесть (в соответствии с количеством элементов в системе «подшипники–вал–муфта», принимая во внимание, что в этой системе четыре подшипника).

Таблица 2. Вероятности достоверного контроля дефектов агрегата

МНК	ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА									
	Фундамент		Корпус			Подшипники	Вал	Муфта		
	Дефекты типовых элементов									
	Несплошности, трещины наружные	Несплошности, трещины в объеме	Хрупкое растрескивание	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия	Износ	Износ	Износ	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия
УЗК	0,94	0,94	0,94	0,50	0,50	0	0,94	0,94	0,50	0,50
ВИК	0,90	0	0,50	0,90	0,50	0	0,20	0,50	0,90	0,50
АЭ	0	0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
ТВ	0	0	0	0	0	0,16	0,16	0,16	0	0
ВД	0	0	0	0	0	0,16	0,16	0,16	0	0
P_i	0,994	0,940	0,997	0,995	0,975	0,929	0,997	0,998	0,995	0,975
$P = 0,810$										

Нулевые значения в ячейках указывают на то, что данный МНК принципиально не может использоваться для контроля соответствующего параметра типового элемента.

Шаг 2. Строим матрицу стоимостей использования МНК для контроля НА. При этом учитываем количество параметров, контролируемых одновременно одним диагностическим методом.

Шаг 3. Строим первоначальную матрицу использования МНК, заменяя в табл. 3 (или в табл. 2) значения ненулевых ячеек на единицу.

Таблица 3. Стоимости использования МНК для контроля типовых элементов НА (руб.)

МНК	ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА									
	Фундамент		Корпус			Подшипники	Вал	Муфта		
	Дефекты типовых элементов									
	Несплошности, трещины наружные	Несплошности, трещины в объеме	Хрупкое растрескивание	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия	Износ	Износ	Износ	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия
УЗК	56,0	56,0	37,3	37,3	37,3	0	112	37,3	37,3	37,3
ВИК	439,0	0	13,3	13,3	13,3	0	40	13,3	13,3	13,3
АЭ	0	0	333,3	333,3	333,3	1000	1000	333,3	333,3	333,3
ТВ	0	0	0	0	0	260	260	260	0	0
ВД	0	0	0	0	0	298,3	298,3	298,3	0	0
Общая стоимость работ = 6681,3 руб.										

Таблица 4. Матрица использования МНК для контроля типовых элементов НА

МНК	ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА									
	Фундамент		Корпус			Подшипники	Вал	Муфта		
	Дефекты типовых элементов									
	Несплошности, трещины наружные	Несплошности, трещины в объеме	Хрупкое растрескивание	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия	Износ	Износ	Износ	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия
УЗК	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
ВИК	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
АЭ	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
ТВ	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
ВД	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

Шаг 4. Решаем задачу (1) при ограничениях (2), используя симплекс-метод линейного целочисленного программирования. При этом положим $C_{\sum_{\text{пр}}} = 5000 \text{ руб}$

Симплекс-метод реализован во многих программных продуктах, в том числе и в приложении MS Excel.

Приведем решение поставленной задачи в среде MS Excel. Для этого на рабочий лист введем матрицы вероятностей и стоимостей в соответствии с табл. 1, 2 (рис.). Диапазон ячеек A18:K22 отведем под неизвестные – комплексированную матрицу использования МНК. В ячейку A25 введем целевую функцию – СУММПРОИЗВ(B2:K6;B18:K22), вычисляющую вероятности достоверного контроля типовых элементов НА. В ячейку A27 введем функцию проверки условия по заданной стоимости – СУММПРОИЗВ(B10:K14;B18:K22). В ячейки B23:K23 введем формулы, задающие ограничения по количеству МНК для каждого диагностируемого элемента НА. Запустим надстройку «поиск решения» (Solver) и заполним открывшееся диалоговое окно, как показано на рисунке. После команды «найти решение» средство поиска решения на основе симплекс-метода найдет оптимальный вариант комплексирования МНК и заполнит матрицу использования МНК нулями и единицами.

Таким образом, в результате работы алгоритма симплекс-метода получаем матрицу решений, которая обеспечивает максимальную вероятность достоверного контроля типовых элементов НА при заданной стоимости:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Номера столбцов и номера строк в матрице (5) соответствуют табл. 4.

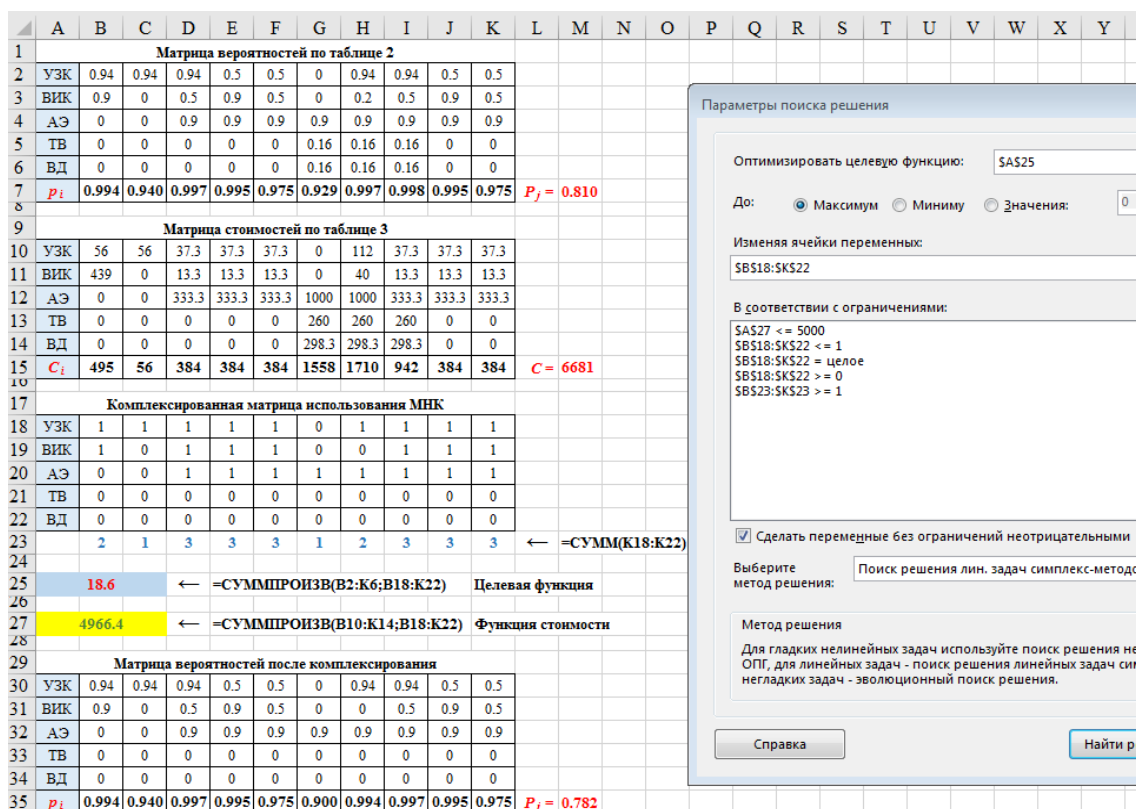


Рис. Пример решения задачи симплекс-методом в среде Excel

Оценим качество моделирования посредством симплекс-метода. Для этого в матрице (5) заменим единицы соответствующими вероятностями достоверного контроля типовых элементов НА из табл. 2 и рассчитаем по формулам (3) и (4) значения p_i и P . Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5. Итоговые вероятности достоверного контроля после комплексирования МНК

МНК	ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА									
	Фундамент		Корпус			Подшипники	Вал	Муфта		
	Несплошности, трещины наружные	Несплошности, трещины в объеме	Хрупкое растрескивание	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия	Износ	Износ	Износ	Коррозия (внешняя)	Межкристаллитная коррозия
УЗК	0,94	0,94	0,94	0,5	0,5	0	0,94	0,94	0,5	0,5
ВИК	0,9	0	0,5	0,9	0,5	0	0	0,5	0,9	0,5
АЭ	0	0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ТВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВД	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p_i	0,994	0,940	0,997	0,995	0,975	0,900	0,994	0,997	0,995	0,975
$P = 0,782$										

Таким образом, при снижении стоимости работ по контролю технического состояния НА СК РКК почти на 2 000 руб. (6681,3–4966,4=1714,9 руб.) вероятность достоверного контроля всех элементов НА значительно не изменилась (0,810–0,782=0,028). При этом достоверность контроля параметров технического состояния НА при заданных финансовых ограничениях оптимальна (максимальна).

Заключение

Решение задачи оптимизации набора методов неразрушающего контроля с использованием предложенного алгоритма позволяет обеспечить максимальную достоверность оценивания технического состояния НА СК РКК при заданной стоимости проведения диагностических мероприятий, что особенно важно для оценивания остаточного ресурса агрегатов, находящихся за пределами назначенных показателей ресурса.

Этим способом также возможно решать и обратную задачу: минимизировать затраты на проведение работ по контролю технического состояния НА СК РКК при обеспечении требуемого уровня достоверности контроля. Кроме того, предложенный способ оптимизации на базе симплекс-метода показывает принципиальный подход к комплексированию МНК для любых агрегатов СК и технологического оборудования СК в целом.

В заключение также следует отметить, что симплекс-метод позволяет задавать условия по минимальному количеству МНК для контроля каждого из параметров технологического оборудования. Например, при условии $\sum_j^n g_{ij} \geq 2, \quad i \in [1, m]$ для контроля параметров будет задействовано не менее двух средств НК, что в полной мере реализует принцип «избыточности» при проведении диагностических мероприятий.

Литература

1. Астанков А.М., Спесивцев А.В., Вагин А.В. Снижение рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 1 (37). С. 6–14.
2. Скориков Д.В., Спесивцев А.В., Вагин А.В. Исследование влияния метрологических характеристик средств измерения на оценку риска эксплуатации сложных технических комплексов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2010. № 4 (16). С. 48–53.
3. Особенности проведения обследования технического состояния строительных конструкций стартовых космических комплексов с последующим проведением поверочных расчетов для обеспечения их безотказной эксплуатации или реконструкции / Ю.Е. Тупицин [и др.]. // Неразрушающий контроль композиционных материалов: сб. трудов 1-й дистанц. науч.-техн. конф. НККМ-2014 «Приборы и методы неразрушающего контроля качества изделий и конструкций из композиционных и неоднородных материалов». СПб.: Изд-во СВЕН, 2015. С. 129–138.
4. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М., 1979.
5. Методики оценивания эффективности функционирования системы эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры, находящихся за пределами назначенных показателей ресурсов: НТО. Юбилейный: НИИ КС, 2011. 60 с.
6. Kot P, Muradov M, Gkantou M, Kamaris GS, Hashim K, Yeboah D. Recent Advancements in Non-Destructive Testing Techniques for Structural Health Monitoring. Applied Sciences. 2021. 11 (6): 2750. URL: <https://doi.org/10.3390/app11062750>.
7. Rens K.L.; Wipf T.J.; Klaiber F.W. Review of nondestructive evaluation techniques of civil infrastructure // J. Perform. Constr. Facil. 1997. 11. pp.152–160.

8. Алгоритм оптимизации комплекса средств инструментального контроля для диагностики объектов наземной космической инфраструктуры / В.В. Букрин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 1 (21). С. 72–81.

9. Данциг Дж. Линейное программирование. Его применения и обобщения. М.: Прогресс, 1966. 590 с.

10. Обоснование оптимального набора методов неразрушающего контроля для получения требуемой информации о техническом состоянии объектов / Н.Д. Аникейчик [и др.]. // Неразрушающий контроль объектов наземной космической инфраструктуры: труды науч.-техн. семинара. СПб.: Изд-во ВИКА им. А.Ф. Можайского, 2004. С. 79–85.

11. Единые нормы времени и расценки на техническое диагностирование оборудования, сооружений и трубопроводов. ООО Специальное проектное конструкторско-технологическое бюро нефтяного и газового машиностроения ООО «СПКТЬ НЕФТЕГАЗМАШ», 2021. 91 с.

УДК 614.841.343:539.097

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВАНИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В.И. Михайлова;

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

На основании экспериментальных данных по исследованию реологических и теплофизических характеристик модифицированных гидрогелей, а также моделирования системы орошения определены оптимальные параметры тепловой защиты стальных вертикальных резервуаров для хранения нефтепродуктов. Даны рекомендации по выбору водногелевых составов для целей тепловой защиты горящих и соседних с горящими резервуаров. Определена область использования различных водногелевых составов для типовых вертикальных стальных резервуаров, а также параметры насосного оборудования для подачи водногелевых составов в систему тепловой защиты резервуара.

Ключевые слова: гидрогели, электрофизическая модификация, тепловая защита, переменный частотно-модулированный потенциал, углеводородный пожар

DEVELOPMENT OF A TANK THERMAL PROTECTION SYSTEM USING HYDROGELS BASED ON SIMULATION AND EXPERIMENTAL DATA

V.I. Mikhailova; G.K. Ivakhnyk.

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

On the basis of experimental data on the study of the rheological and thermophysical characteristics of modified hydrogels, as well as modeling the irrigation system, the optimal parameters of thermal protection of steel vertical tanks for storing petroleum products have been determined. Recommendations are given on the choice of hydrogel compositions for the purposes of thermal protection of burning and adjacent to burning tanks. The area of using various hydrogel compositions for typical vertical steel tanks, as well as the parameters of pumping equipment

for supplying hydroge compositions to the thermal protection system of the tank, has been determined.

Keywords: hydrogel, electrophysical modification, thermal protection, variable frequency modulated potential, hydrocarbon fire

Согласно статистическим данным [1], большая часть пожаров и взрывов приходится на вертикальные стальные резервуары (РВС), которые являются наиболее распространенными в резервуарных парках нефтепродуктов [2, 3].

Пожары в резервуарах с конической крышей и плавающим понтоном являются наиболее сложными для тушения, так как крыша конуса и понтон могут образовывать карман, в который очень трудно получить доступ для тушения. Если резервуар полностью заполнен, есть также проблема с вскипанием и выбросом продукта за пределы обвалования, с последующим возгоранием в зоне обвалования, что приводит к очень нежелательным сценариям развития аварии [4, 5].

Наиболее распространенными на сегодняшний день являются резервуары со стационарной крышей и свободной поверхностью жидкости (РВС), со стационарной крышей и понтоном (РВСП), и с плавающей крышей (РВСПК) (рис. 1).

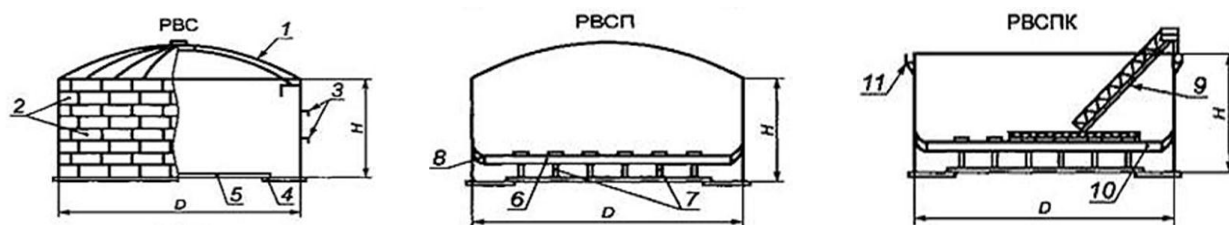


Рис. 1. Типы резервуаров:

- 1 – каркас крыши; 2 – пояса стенки; 3 – промежуточные кольца жидкости; 4 – кольцо окраек;
5 – центральная часть днища; 6 – понтон; 7 – опорные стойки; 8 – уплотняющий затвор,
9 – катуная лестница; 10 – плавающая крыша; 11 – верхнее кольцо жесткости

Геометрические параметры резервуаров необходимо принимать согласно ГОСТ 31385–2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов».

Экспериментально установлено, что величина диаметра резервуара влияет на режим горения – высота диффузного пламени тем выше, чем выше диаметр резервуара. В резервуарах диаметром более 1,0 м режим горения полностью турбулентный [6].

Диффузия тепловых потоков и воздуха над зеркалом нефтепродукта в процессе горения приводит к тому, что часть паров сгорает за пределами основного факела пламени. Таким образом, основной факел пламени уменьшается из-за недостатка кислорода, что приводит к повторным возгораниям паров нефтепродукта [6].

После воспламенения температура поверхностного слоя жидкости быстро повышается и достигает максимальных значений. В некоторых жидкостях по мере удаления от поверхности температура плавно понижается, а в некоторых образуется так называемый гомотермический слой, который задерживает ниже себя капли воды. Это создает взрывоопасную ситуацию, которая в конечном итоге приводит к выбросу нефтепродукта за пределы резервуара.

На сегодняшний день установлено, что в образовании гомотермического слоя ведущую роль играют два процесса: конвективное перемешивание в верхнем слое хранящегося в резервуаре нефтепродукта и кипение жидкости у нагретой стенки резервуара [7]. Поэтому задача охлаждения нагретых стенок горящих и соседних с ними резервуаров является крайне важной при тушении пожаров в резервуарных парках. Установками тепловой защиты согласно

СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» оснащаются резервуары объемом 5 000 м³ и более.

Стационарные установки охлаждения резервуаров состоят из секционного кольца орошения, системы трубопроводов и насосного оборудования.

В качестве охлаждающего агента в стационарных системах охлаждения используется вода, которая является наиболее доступным веществом и вместе с тем обладает высокой удельной теплоемкостью и теплопроводностью. Но из-за низкой вязкости и невысокой адгезии к металлам вода не всегда позволяет эффективно справиться с задачей охлаждения металлических резервуаров. В связи с этим разработка новых охлаждающих агентов является актуальной задачей.

В работах [8, 9] в качестве теплового агента для систем охлаждения предложены модифицированные водногелевые составы (ВГС), которые обладают улучшенными, по сравнению с водой, теплофизическими характеристиками. ВГС представляют собой гидрогели, полученные на основе воды, модифицированной в условиях электрофизического воздействия переменным частотно-модулированным потенциалом (ПЧМП) с параметрами 220 В, 50 Гц. При этом происходит изменение надмолекулярной структуры воды: водородные связи ослабевают, растет число ОН-групп, свободных от межмолекулярного взаимодействия, кластерные структуры воды становятся более мелкими, подвижность молекул повышается вследствие поглощения энергии электрического поля, что в конечном итоге приводит к изменению теплофизических характеристик воды. Данный способ модификации является запатентованной методикой согласно бюллетеню № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности (патент 2479005).

В работе [10] установлено, что приобретенные в результате электрофизической модификации свойства вода сохраняет не более суток, по истечении которых водные системы стремятся вернуться в первоначальное устойчивое состояние: восстанавливаются утраченные водородные связи. Для предотвращения этого регрессивного процесса полученная в результате модификации водная структура фиксировалась редкосшитым полимером акриловой кислоты (РАП), молекулы которого при нейтрализации разворачиваются и образуют пространственную решетку, удерживающую водную структуру. Таким образом, получается гидрогель, обладающий свойствами модифицированной воды.

В зависимости от того, какой именно РАП используется для производства гидрогелей, можно получать составы с различными физико-химическими свойствами. Авторами был выбран Carborol ETD2020 по причине его высокой вязкости, способности к ограниченному набуханию и теплоемкостным характеристикам [11].

Модифицированные ВГС позволяют интенсифицировать процессы охлаждения конструкций вертикальных стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов в условиях углеводородного пожара.

Целью настоящей работы является определение области применения ВГС для тепловой защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов.

По методикам, описанным в работах [8, 9], определены основные реологические параметры ВГС, влияющие на теплофизические характеристики составов в условиях теплового воздействия. На рис. 2, 3 показано изменение плотности и вязкости модифицированных и немодифицированных ВГС.

При воздействии ПЧМП на воду изменяется ее надмолекулярная структура: из плиассоциатов образуются более мелкие межмолекулярные структуры – ассоциаты молекул воды, энергия межмолекулярных связей уменьшается, что приводит к снижению динамической вязкости.

Динамическая вязкость и плотность у акриловых гидрогелей на основе электрофизически модифицированной воды снижается. Это говорит о том, что вода сохраняет свои физико-химические свойства после воздействия ПЧМП и в виде гидрогеля.

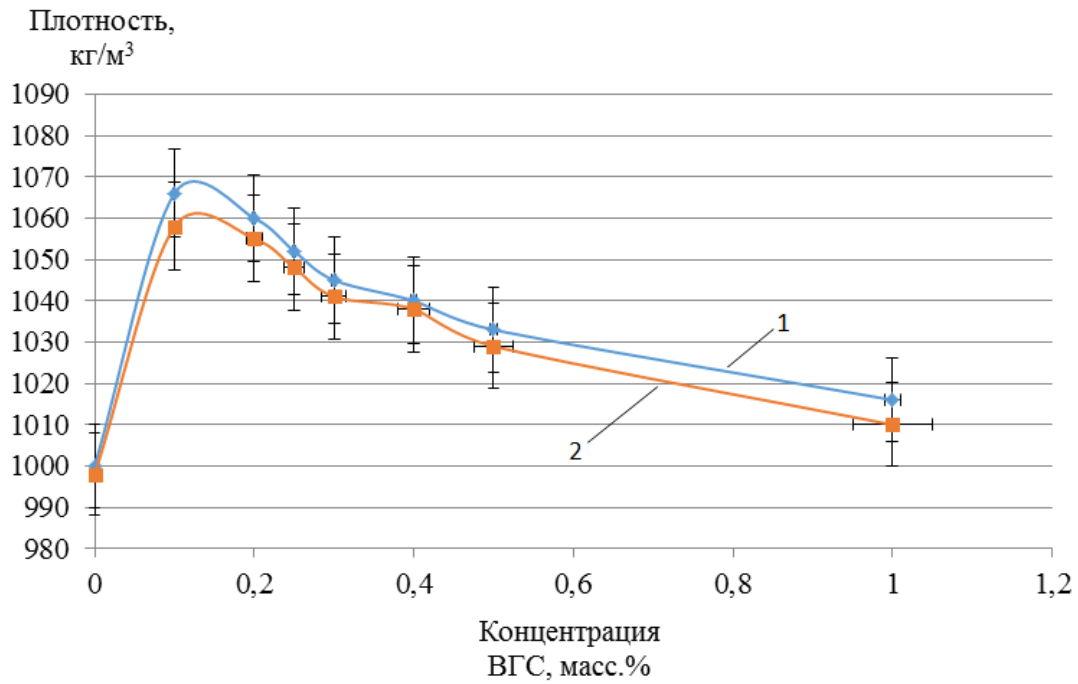


Рис. 2. Плотность исследуемых составов:
1 – немодифицированные ВГС; 2 – модифицированные ВГС

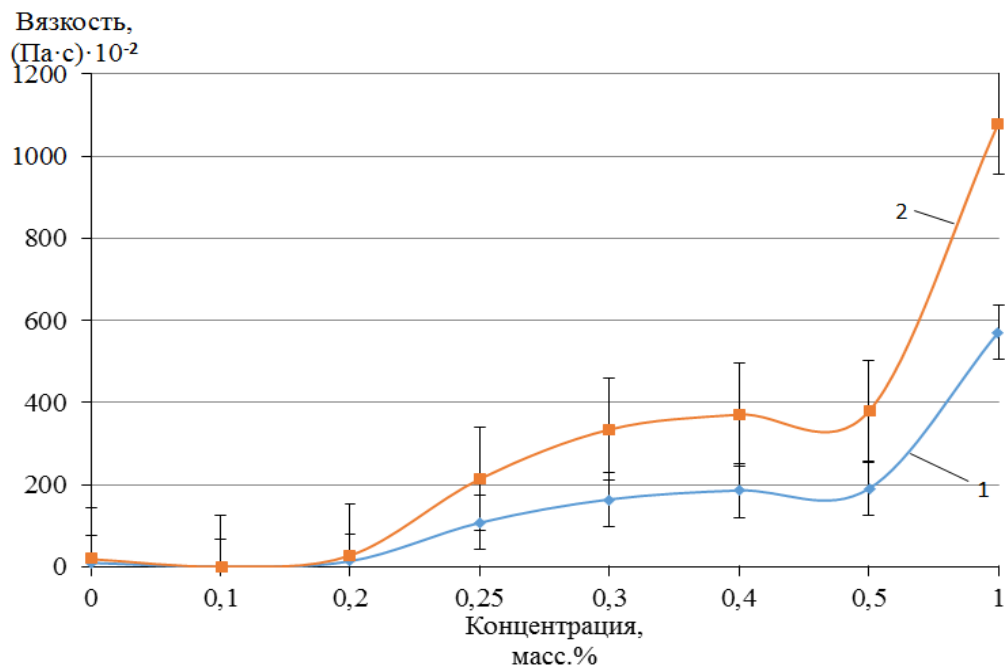


Рис. 3. Зависимость вязкости ВГС от концентрации гелеобразователя:
1 – немодифицированные ВГС; 2 – модифицированные ВГС

Установлено, что в процессе модификации изменяются теплофизические характеристики ВГС, что, в свою очередь, влияет на скорость охлаждения металлоконструкций, защищенных ВГС. На рис. 4 представлена зависимость скорости охлаждения стенки резервуара от концентрации гелеобразователя ВГС.

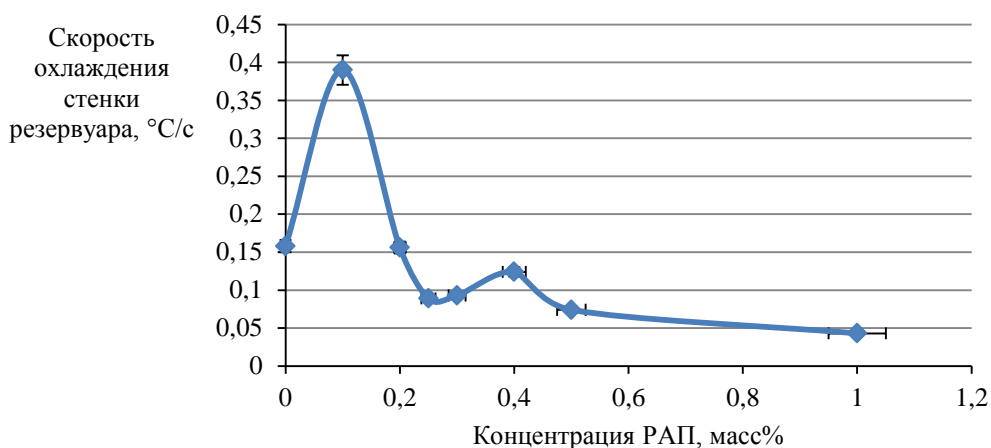


Рис. 4. Зависимость скорости охлаждения металлоконструкций от концентрации гелеобразователя ВГС

Из приведенных данных можно сделать вывод об увеличении скорости охлаждения металлоконструкций, защищенных ВГС с концентрацией гелеобразователя до 0,2 масс.% и снижении скорости охлаждения металлоконструкций, защищенных ВГС с концентрацией гелеобразователя более 0,2 масс.%. Это объясняется тем, что при фиксации полученной в результате электро-физического воздействия водной структуры ПАВ, молекулы которого полярны, при концентрации 0,2 масс.% начинается процесс мицеллообразования, что, в свою очередь, приводит к инверсии реологических свойств гидрогеля, в частности, к изменению вязкости и плотности, а также косвенно свидетельствует о том, что 0,2 масс.% – это критическая концентрация мицеллообразования для ВГС [12].

Для использования предлагаемых ВГС в стандартных системах орошения были проведены гидравлические расчеты, изложенные в работе [13]. Расчеты проводились с целью определения расхода ВГС для охлаждения резервуаров в условиях углеводородного пожара и определения напоров насосных станций для подачи ВГС в систему охлаждения.

Требуемый напор для подачи ВГС определялся по формуле:

$$H_{\text{треб}} = H_{\text{в.охл}} + H_{\text{рвс}},$$

где $H_{\text{в.охл}}$ – требуемый напор в месте присоединения секции, м; $H_{\text{рвс}}$ – высота резервуара, м;

$$H_{\text{в.охл}} = h + H,$$

где h – потери напора, м; H – напор на диктующем (наиболее удаленном) отверстии;

$$h = A \cdot L_{\text{секц}} \cdot (Q_{\text{секц}}^2 - Q_{\text{секц}} \cdot Q_0 + Q_0^2/3),$$

где A – расчетное значение удельного сопротивления трубопровода, $\text{с}^2/\text{л}^6$; $L_{\text{секц}}$ – длина секции кольца орошения, м; $Q_{\text{секц}}$ – расход ВГС в секции кольца орошения, л/с; Q_0 – расчетный расход ВГС через одно отверстие, л/с.

Удельное сопротивление трубопровода характеризует процессы трения при подаче составов и зависит от вязкости и плотности подаваемых составов, поэтому можно принять, что:

$$\frac{A^{\text{ВГС}}}{A^{\text{воды}}} = \frac{\lambda^{\text{воды}}}{\lambda^{\text{ВГС}}},$$

где $\lambda^{\text{воды}}$ ($\lambda^{\text{ВГС}}$) – коэффициент трения; $A^{\text{воды}}$ ($A^{\text{ВГС}}$) – расчетное значение удельного сопротивления трубопровода для воды определяется по справочным пособиям для

гидравлического расчета водопроводных труб, для ВГС – определяется пропорционально коэффициенту трения.

Расход ВГС через одно отверстие определяется по формуле:

$$Q_0 = 1000\mu\omega\sqrt{2gh},$$

где μ – коэффициент расхода, принимаемый для круглого отверстия равным 0,62; ω – площадь сечения отверстия, м².

Расход ВГС для секции кольца орошения определяется по формуле:

$$Q_{\text{секц}} = Q/n,$$

где Q – расчетный расход ВГС для кольца орошения, л/с; n – количество секций, шт.

$$Q = I \cdot L,$$

где L – длина кольца орошения, м; I – интенсивность подачи охлаждающего вещества, л/с.

Расчеты проводились на основании данных о кинетике нагрева модифицированных и немодифицированных ВГС и воды: авторами [12] показано, что интенсивность подачи ВГС на охлаждение обратно пропорциональна теплопроводности ВГС:

$$\frac{dT/d\tau^{ВГС}}{dT/d\tau^{воды}} = \frac{I^{воды}}{I^{ВГС}},$$

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

Таким образом, были получены данные, позволяющие определить область применения ВГС для целей охлаждения резервуаров.

По установленным нормам для охлаждения РВС–20000 необходимо подавать 107,5 л/с при его непосредственном горении и 34 л/с на половину окружности резервуара в случае нахождения рядом с горящим. При использовании ВГС в системах охлаждения РВС расход на охлаждение составит 54,8 л/с, что вдвое ниже нормативного.

В таблице представлены обобщенные данные по оптимальным концентрациям ВГС в системах охлаждения резервуаров и соответствующие им расходно-напорные характеристики насосного оборудования. На основании полученных данных определены три оптимальных варианта концентрации ВГС.

Таблица. Варианты оптимального применения ВГС для целей охлаждения резервуаров

Тип резервуара	Вариант 1. Концентрация ВГС 0,1 масс.%		Вариант 2 . Концентрация ВГС 0,2 масс.%		Вариант 3. Концентрация ВГС 0,25 масс.%	
	Q, л/с	H, м	Q, л/с	H, м	Q, л/с	H, м
РВС-5000 (Тип 1)	21,80	22,06	54,50	34,59	95,22	322,40
РВС-5000 (Тип 2)	20,00	25,05	50,00	34,71	–	–
РВС-10000 (Тип 1)	27,25	28,12	68,12	52,68	–	–
РВС-10000 (Тип 2)	32,70	22,21	81,75	64,75	–	–
РВС-20000 (Тип 1)	38,15	28,34	95,37	96,00	–	–
РВС-20000 (Тип 2)	45,61	22,58	114,01	138,37	–	–
РВС-30000	43,60	28,51	108,99	129,63	–	–
РВС-40000	54,40	28,99	–	–	–	–
РВС-50000	58,03	29,21	–	–	–	–

На основании опытных и расчетных данных можно сделать следующие выводы:

1. ВГС могут быть использованы в существующих системах орошения без существенной модернизации технологического процесса (замены трубопроводов, замены насосного оборудования).

2. Используя в стандартных системах охлаждения ВГС в качестве основного теплового агента, можно снизить расход вещества на охлаждение на 30–40 % вследствие снижения потерь на трение в трубопроводах, что происходит по причине снижения плотности и вязкости модифицированных составов и является преимуществом при недостатке водных ресурсов, повреждении противопожарного трубопровода и нехватке сил и средств пожарно-спасательных подразделений.

3. Для интенсификации процессов отведения тепла от стандартных типовых горящих РВС можно применять ВГС с концентрацией 0,1 масс.%; 0,2 масс.% – для всех стандартных типовых РВС, кроме РВС-40000 и РВС-50000; 0,25 масс.% – для РВС-5000.

4. Для теплоизоляции соседних с горящим резервуаров номинальным объемом до 5 000 м³ целесообразно использовать ВГС с концентрацией гелеобразователя более 0,25 масс.%.

Литература

1. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles: for oil, gas, chemical and related facilities // William Andrew. 2014. P. 49–69. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00002-1.

2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. Харьков: УГЗУ, 2006. 256 с.

3. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М.: Изд. АН СССР, 1961. 208 с.

4. Santos F. da Silva, Landesmann A. Thermal performance-based analysis of minimum safe distances between fuel storage tanks exposed to fire // Fire Safety Journal. 2014. Vol. 69. pp. 57–68.

5. Khan F.I., Abbasi S.A. Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences // Journal of Loss Prevention in the process Industries. 1999. Vol. 12. № 5. pp. 361–378.

6. Бобков С.А., Бабурин А.В., Комраков П.В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 210 с.

7. Koseki Hiroshi. Combustion properties of large liquid pool fires // Fire technol. 1989. V. 25. № 3. P. 241–255.

8. Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для целей тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. № 4 (26). С. 58–67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.

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

10. Влияние частотно-модулированного сигнала на физико-химические свойства дистиллированной воды и гидрогеля акрилового на ее основе / Д.С. Азимов [и др.] // Политехнический вестник. Сер.: Инженерные исследования. 2018. № 3 (43). С. 20–26.

11. Тимергалиева В.Р. Создание поликомплексных матричных систем с использованием карбополов и противоположно заряженных полиэлектролитов и изучение их фармакологических свойств как носителей лекарственных веществ: дис. ... канд. фарм. наук. Казань, 2016. С. 37–38. С. 50.

12. Семкина О.А., Суслина С.Н., Краснюк И.И. Обоснование состава геля эвкалимина на основе сравнительного изучения реологических параметров редкосшитых акриловых полимеров // Вестник РУДН. 2004. № 4. С. 216–222.

13. Михайлова В.И., Скрипник И.Л., Иванов А.В., Моделирование систем орошения резервуаров нефтепродуктов в условиях применения модифицированных водногелевых составов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 51–60.

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

О.В. Ударцева, доктор технических наук, профессор;

Е.В. Захарова, кандидат биологических наук, доцент;

А.С. Илюсизова.

Тюменский индустриальный университет

Рассмотрены наиболее вероятные причины возникновения пожароопасных ситуаций в резервуарных парках предприятий нефтегазодобычи. Проанализированы особенности горючей среды и эксплуатационные характеристики данных объектов. Предлагаются подходы к снижению вероятности возникновения пожароопасной ситуации в пункте перекачки нефти. Обоснована необходимость оборудования дыхательного клапана кассетным огнепреградителем.

Ключевые слова: пожарная опасность, резервуарный парк, кассетный огнепреградитель

INVESTIGATION OF THE FIRE PREVENTION SYSTEM IN THE TANK FARMS OF OIL AND GAS PRODUCTION ENTERPRISES

O.V. Udartseva; E.V. Zaharova; A.S. Ilusizova.

Tyumen industrial university

The article considers the most probable causes of fire-hazardous situations in the tank farms of oil and gas production enterprises. The features of the combustible environment and the operational characteristics of these objects are analyzed. In this paper, we propose approaches to reduce the likelihood of a fire-hazardous situation in the oil pumping station. The necessity of equipping the breathing valve with a fire-extinguishing device is justified.

Keywords: fire hazard, tank farm, cluster fire barrier

Предприятия нефтегазовой отрасли, имеющие в структуре управления резервуарные парки, используемые с целью хранения горючих жидкостей, являются пожаровзрывоопасными объектами.

По статистическим данным об аварийности на данных объектах, опубликованным в печати за последние 20 лет, можно констатировать, что 50 % от общего количества пожаров происходит при технологической эксплуатации резервуаров. Под воздействием неуправляемых факторов, таких как землетрясение, поджоги, природные пожары и др., как правило, происходит не более 3 % чрезвычайных ситуаций данного вида [1].

Пожары в резервуарных парках, обусловленные режимами технологической эксплуатации, составляют:

- пожары, возникающие при нарушении технологии (около 30 %);
- пожары без нарушения технологического режима объекта (около 70 %).

Опасность возгорания нефти определяется ее физико-химическими свойствами, технологическим режимом эксплуатации и климатическими условиями. Существенное значение

имеют объемы ее перекачки и содержания, условия формирования горючих паровоздушных концентраций.

Резервуарный парк представляет собой единый технологический комплекс сооружений по сбору, хранению, учету, откачке и отпуску товарной нефти в систему магистральных нефтепроводов.

На одной производственной площадке находится несколько емкостей, что создает опасность цепного развития события при возгорании [1].

Как правило, месторождение располагается рядом с селитебной зоной, возникновение аварийной ситуации помимо пожаровзрывоопасности создает угрозу причинения экологического вреда.

Технологические резервуары центра подготовки и перекачки нефти в основном эксплуатируются в режиме динамического отстоя нефти, при котором горючее вещество с остаточным содержанием воды от установки подготовки нефти поступает в нижнюю часть резервуара, далее через стояк с верхнего уровня перетекает в товарный резервуар [2]. При проведении данного технологического процесса образуются горючие среды, характеристики которых приведены в таблице.

Таблица. Технические параметры оборудования и горючей среды

Оборудование; жидкость	Паровоздушное пространство в оборудовании (есть/нет)	Рабочая температура в аппарате, °С	Температурные пределы распространения пламени нефти, °С		Заключение о горючести среды в аппарате
			нижний	верхний	
Резервуар вертикальный стальной, объем 5 000 м ³ (РВС-5000); Нефть средней плотности – 0,880 кг/м ³	Формируется в процессе эксплуатации	20	-16	10	Среда горючая

Резервуар вертикальный стальной (РВС) в зависимости от эксплуатационных характеристик и уровня жидкости формирует свободное паровоздушное пространство. Для оценки пожароопасности горючей среды возникает необходимость определения рабочей температуры нефти с температурными пределами распространения пламени. Согласно ГОСТ 12.1.044–89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения», смесь является взрывоопасной, если выполняется условие:

$$t_{НТПРП} - 10^{\circ}\text{C} \leq t_p \leq t_{ВТПРП} + 15^{\circ}\text{C},$$

где $t_{НТПРП}$ – нижний температурный предел распространения пламени; $t_{ВТПРП}$ – верхний температурный предел распространения пламени.

В исследуемом варианте нефть имеет:

$$t_{нрп} = -16^{\circ}\text{C} ; t_{врп} = 10^{\circ}\text{C} .$$

Образование горючих паровоздушных концентраций в резервуарах с нефтью возможна при наличии двух условий: формирование внутри емкости паровоздушного пространства и при температуре нефти ($t_{ж}$), хранимой в границах температурных пределов распространения пламени ($t_{нпрп}$ и $t_{впрп}$) с учетом коэффициентов безопасности (Δt_n и Δt_b), определенных расчетным путем или ориентировочно взяты равными $\Delta t_n = -10\text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t_b = +15\text{ }^\circ\text{C}$.

Определенная зависимость позволяет сделать вывод, что концентрация пожароопасного содержания в резервуаре с нефтью со стационарной крышей при определенных температурных параметрах будет взрывоопасной при наличии паровоздушного пространства и определенных условий:

$$t_{НПРП} - 10\text{ }^\circ\text{C} \leq t_p \leq t_{ВПРП} + 15\text{ }^\circ\text{C} .$$

С учетом климатических условий территории рабочая температура нефти – летом составляет $+20\text{ }^\circ\text{C}$, зимой ориентировочно $-35\text{ }^\circ\text{C}$, что соответствует оценке взрывоопасности среды в следующем виде:

- для летнего периода: $-26\text{ }^\circ\text{C} < +20\text{ }^\circ\text{C} < +25\text{ }^\circ\text{C}$,
- для зимнего периода: $-26\text{ }^\circ\text{C} > -35\text{ }^\circ\text{C} < +25\text{ }^\circ\text{C}$.

На основании проведенных исследований можно предположить, что в газовом пространстве закрытых емкостей с нефтью со стационарной крышей концентрация паров нефти будет взрывоопасной в любое время года при температуре от $-26\text{ }^\circ\text{C}$ до $+25\text{ }^\circ\text{C}$, в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

Одним из инженерных решений регулирования давления в газовом пространстве резервуара является использование дыхательных клапанов, необходимых для сброса паровоздушной смеси из резервуаров в атмосферу при возникновении избыточного давления.

Данный механизм позволяет освободить систему от опасных паров. Регулирование осуществляется посредством открытия тарелки давления клапана и выброса паровоздушной смеси при избыточном давлении в газовом пространстве («выдох» резервуара), а также за счет открытия тарелок вакуумных затворов и пропуска воздуха («вдох» резервуара) [3–5]. Вместе с тем данное решение не снижает вероятность возгорания.

Российская и зарубежная практика свидетельствует, что дополнительное оборудование патрубка перед дыхательным клапаном сухим кассетным огнепреградителем позволит преградить распространение пламени из емкости, а также исключить проскок пламени через сбросные и дыхательные клапаны [6–11].

Работа данного устройства основана на способности гашения пламени в канале, содержащем горючую смесь, при некоторой минимальной величине диаметра, который называется «критическим диаметром гашения пламени».

Возникает необходимость провести расчеты допустимого критического диаметра гашения пламени при определенной температуре и давлении. Расчет проведен для кассетного огнепреградителя марки ОП-50 при параметрах горючей смеси: $P=2 \cdot 10^5\text{ Па}$, $C_p=1,667\text{ кДж/(кг К)}$.

Критический диаметр гашения пламени для каналов определяем по формуле:

$$d_{кр} = \frac{Pe_{кр} \cdot \lambda \cdot R \cdot T}{\omega_n \cdot C_p \cdot P} ,$$

где $Pe_{кр}$ – число Пекле, $Pe_{кр}=65$; P – давление горючей смеси, Па; T – рабочая температура, $T=293\text{ К}$; R – газовая постоянная, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; ω_n – нормальная скорость распространения пламени, $\omega_n = 0,414\text{ м/с}$ по таблице [12]; C_p – удельная теплоемкость горючей смеси при постоянном давлении, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; λ – коэффициент теплопроводности горючей смеси, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$:

$$\lambda = \varphi_{\Gamma} \cdot \lambda_{\Gamma} + (1 - \varphi_{\Gamma}) \cdot \lambda_{\text{в}},$$

где $\lambda_{\Gamma} = 1,9 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности паров нефти; $\lambda_{\text{в}} = 2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре $T = 293$ К; φ_{Γ} – объемная доля горючего в стехиометрической смеси.

Пары нефти по техническим характеристикам близки к пропану, φ_{Γ} вычисляется по реакции горения пропана (C_3H_8):



$$\varphi_{\text{e}} = \frac{1}{1 + 5 + 5 \cdot 3,76} = 0,04 \text{ об. доли.}$$

Коэффициент теплопроводности горючей смеси составляет:

$$\lambda = 0,04 \cdot 0,019 + (1 - 0,04) \cdot 0,0259 = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К).}$$

Определяем газовую постоянную для смеси паров нефти по формуле:

$$R = \frac{R_y}{\varphi_{\text{e}} \cdot M_{\text{e}} + (1 - \varphi_{\text{e}}) \cdot M_{\text{в}}},$$

где R_y – универсальная газовая постоянная, $R_y = 8314$ Дж/(кг·К); $M_{\Gamma} = 44,1$ кг/к моль – молекулярная масса пропана; $M_{\text{в}} = 28,96$ кг/к моль – молекулярная масса воздуха.

Отсюда:

$$R = \frac{8314}{0,04 \cdot 44,1 + (1 - 0,04) \cdot 28,96} = 281,2 \text{ .}$$

Удельную теплоемкость горючей смеси C_p при постоянном давлении определяем по формуле:

$$C_p = \varphi_{\Gamma} \cdot C_{p,\Gamma} + (1 - \varphi_{\Gamma}) \cdot C_{p,\text{в}} \text{ Дж/(кг·К),}$$

где

- $C_{p,\Gamma} = 1667$ Дж/(кг·К) – теплоемкость газа по табл. 10 [12];
- $C_{p,\text{в}} = 1005$ Дж/(кг·К) – теплоемкость воздуха по табл. 10 [12];
- $C_p = 0,04 \cdot 1667 + (1 - 0,04) \cdot 1005 = 1031,5$ Дж/(кг·К).

Критический диаметр каналов в огнепреградителе:

$$d_{\text{кр}} = \frac{65 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 281,2 \cdot 293}{0,414 \cdot 1031,5 \cdot 10^5} = 3,26 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,26 \text{ мм} .$$

Отсюда, критический диаметр каналов для гашения пламени кассетного огнепреградителя:

$$d = 0,5 \cdot d_{\text{кр}} = 0,5 \cdot 3,26 = 1,63 \text{ мм},$$

где 0,5 – коэффициент запаса надежности.

Научная новизна прикладного характера заключается в том, что предложенное техническое решение имеет существенное преимущество перед другими системами противопожарной защиты объектов хранения нефтепродуктов. Использование огнепреградителя, например, вместо противопожарных клапанов позволит избежать проникновения искры или пламени в горючую среду через дыхательные клапаны, предотвращая возгорание нефти без остановки технического режима эксплуатации резервуаров, что определяет его практическую значимость.

Данное техническое решение направлено на снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций в резервуарных парках хранения и перекачки нефти, повышения безопасности производственных процессов, а также обеспечение экологической безопасности территорий.

Литература

1. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. 397 с.
2. Пожаровзрывозащищенная и экологически безопасная технология хранения нефтепродуктов в резервуарах / С.А. Шевцов [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018. № 3. С. 8–11.
3. Сучков В.П. Пособие по применению методов оценки пожарной опасности технологических систем, используемых при анализе пожарных рисков. М., 2016.
4. Защита резервуаров с понтонами от пожаров / В.П. Сучков [и др.] // НТИС «Транспорт и хранение нефтепродуктов». 1991. № 4. С. 14–18.
5. Клубань В.С., Юрьев В.И. Оценка взрывопожарной опасности вертикальных стальных резервуаров типа РВС с понтоном и крышей из алюминия // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 55–60.
6. ГОСТ Р 53323–2009. Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2009. 10 с.
7. Кокорин В.В., Хафизов Ф.Ш., Контобойцев Е.А. Повышение эффективности тушения пожаров в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов объемом 5 000 м³ при подаче пены в слой горючей жидкости // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. № 1. URL: <http://ogbus.ru/> (дата обращения: 12.03.2021).
8. Fenton N.E., Neil M. Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks. New York: Chapman and Hall/CRC. 2018. 660 p. DOI: 10.1201/b21982.
9. Udartseva O.V., Nikolsky O.K. Computer Science in Environmental Safety Research IOP // Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 459. 042043. DOI 10.1088/1755-1315/459/4/042043.
10. Roth D., Hubmann N., Havel C., Herkner H., Schreiber W., Laggner A. Victim of carbon monoxide poisoning identified by carbon monoxide oximetry (англ.) // The Journal of Emergency Medicine: journal. 2011. № 40 (6). June. Pp. 51–58.
11. Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E. Improving the Quality of Competence-Oriented Training of Personnel at Industrial Enterprises // Quality – Access to Success. 2018. Vol. 19. No. 165. P. 68–73.
12. ГСССД 197–01. Таблицы стандартных справочных данных. Пропан жидкий и газообразный. Термодинамические свойства, коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 86...700 К и давлениях 0,1...100 МПа. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100400> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 614.841

ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И СМЕЖНЫХ С НИМИ СООРУЖЕНИЙ

А.М. Смирнова;

А.С. Мазур, доктор технических наук, профессор;

С.В. Савонин, кандидат технических наук.

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)**

Статья содержит анализ газовоздушной среды главного канализационного коллектора города Санкт-Петербурга и оценку ее пожаровзрывоопасности. Источниками данных для статьи послужили аналитические и экспериментальные исследования, выполненные как авторами настоящей работы, так и другие исследования, проведенные в различное время.

Ключевые слова: газовоздушная среда, метан, пожаровзрывоопасность, канализационный коллектор, концентрация, вентиляция

ASSESSMENT OF FIRE AND EXPLOSION HAZARD OF GAS AND AIR ENVIRONMENT OF SEWER COLLECTORS AND RELATED STRUCTURES

A.M. Smirnova; A.S. Mazur; S.V. Savonin.

Saint-Petersburg state technological institute (technical university)

The article contains an analysis of the gas-air environment of the sewer collector of Saint-Petersburg and an assessment of its fire and explosion hazard. The data sources were analytical and experimental studies performed independently from each other in different time periods.

Keywords: gas-air environment, methane, fire and explosion hazard, sewer collector, concentration, ventilation

Системы водоотведения включают сотни километров трубопроводов и десятки смежных объектов, обеспечивающих ее стабильную и безаварийную работу. Выход из строя одного из звеньев этой цепи приводит к серьезным последствиям. Образование внутри водоотводящей сети различных газообразных соединений, способных в смеси с воздухом образовывать пожаровзрывоопасную среду, при определенных условиях может приводить к разрушению самой канализационной сети и смежных с ней объектов. Анализ аварий и инцидентов на объектах системы водоотведения показал высокую степень их опасности. Известны случаи взрыва газовой среды, повлекшие полное разрушение связанных с системой водоотведения сооружений, а также гибель обслуживающего персонала. Среди последних аварийных ситуаций можно отметить произошедшую летом 2017 г. в Москве [1], когда при проведении работ по откачке сточных вод внутри канализационного колодца произошел выброс метана, ставший причиной взрыва, в результате которого погибло пятеро рабочих. Еще одним примером опасности образования газовой среды является взрыв, произошедший в строящемся цехе воздухоочистки ГУП «Водоканал СПб» [2], в результате которого пострадали четверо рабочих и произошло частичное смещение конструкций здания.

Кроме того, образующиеся внутри канализационного коллектора газы являются одной из причин гибели работников, обслуживающих водоотводящие сети. Статистика гибели [3] показала, что более 50 % несчастных случаев, повлекших гибель персонала, происходят

по причине отравления газами, образующимися внутри канализационной сети. Условием, затрудняющим обеспечение безопасности, является то, что все ремонтные, профилактические и другие работы проводятся при работающей системе водоотведения, а выделяющиеся в канализационном коллекторе газы, многие из которых не имеют запаха, могут быть определены только при использовании специального оборудования.

Имеющиеся в настоящее время сведения о составе газовой среды внутри канализационных коллекторов [4, 5] позволяют говорить о широком диапазоне газов, среди которых в достаточно больших количествах присутствуют и пожаровзрывоопасные. Обычно в большем количестве помимо компонентов воздушной среды находится и метан, он существенно ухудшает условия труда обслуживающего персонала и представляет опасность, так как является весьма пожаровзрывоопасным.

Помимо метана по исследованиям [6, 7] в относительно незначительных, но заметных количествах могут находиться газы, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Газы, содержащиеся в свободном пространстве канализационного коллектора

№ п/п	Вещества	Концентрация, мг/м ³	Концентрация, % об., ·10 ³	Концентрационные пределы, % об.
1	Аммиак	2,5	0,357	15–28
2	Сероводород	5,7	0,407	43–46
3	Монооксид углерода	23	2,0	12,5–74
4	Метан	6,5	0,99	5,28–14,1
5	Предельные углеводороды C ₂ –C ₅	14	0,47	1,4–7,8
6	Предельные углеводороды C ₆ –C ₁₀	67	1,63	0,76–8,1
7	Фенол	1,1	0,03	1,52–8,76
8	Метилмеркаптан	2,7	–	–

Для оценки пожаровзрывоопасности газовой среды канализационного коллектора авторами проанализированы три независимых исследования, в которых проведен анализ газовой среды системы водоотведения [6, 8].

В работе [8] рассмотрен состав газовой смеси в «Дублере канализационного коллектора в районе площади Мужества» и «Выборгском тоннельном канализационном коллекторе в интервале шахт № 123 и 122А». Анализ газовой среды проводился в весенне-летний период 2011 г. и 2014 г.

Для обоих случаев (площади Мужества и Выборгского коллектора) максимальное измеренное значение концентрации метана составило 6,03 мг/м³. При этом значение концентрации метана для срединных шахт площади Мужества составили 7,15 мг/м³, что значительно выше, чем на входной и выходной шахте: 2 мг/м³.

В работе [8] отмечается, что в ходе измерений в шахте Выборгского коллектора был зафиксирован резкий скачок концентрации метана до 6,32 мг/м³, который авторы объясняют залповым сбросом концентрированного стока в канализацию. Это говорит о том, что внутри канализационного коллектора могут находиться локальные участки с повышенной концентрацией пожаровзрывоопасных газов.

С целью выявления состава газовой среды канализационного коллектора рассмотрены данные предоставленные ФГУП «Водоканал». Основными компонентами, несущими опасность для системы водоотведения, являются сероводород и метан. Первый является причиной коррозии сводов канализационных коллекторов, а последний весьма пожаровзрывоопасен.

Данные, предоставленные ФГУП «Водоканал», содержат значения концентраций в пяти шахтах дублера канализационного коллектора в районе площади Мужества. Измерения проводились в весенне-летние месяцы в период с мая по июль 2013 г. Как и в предыдущем случае, максимальное зафиксированное значение концентрации составило 9 мг/м³.

Также ФГУП «Водоканал» были предоставлены данные по выбросам газообразных веществ в главном тоннеле канализационного коллектора (ГТКК) и северной станции аэрации (ССА). По состоянию на 30 июля 2013 г. они представлены в табл. 2.

Таблица 2. **Выбросы газообразных веществ в главном тоннеле канализационного коллектора и северной станции аэрации**

Наименование вещества	Концентрация (Смакс.), мг/м ³ (н. у.)		
	шахта 435/2 ГТКК	приемная камера ССА	первичные отстойники ССА
Аммиак	< 0,2	0,1	0,1
Сероводород	0,22	0,33	0,025
Метан	2200	–	–
Фенол	< 0,037	0,0185	0,0185
Смесь природных меркаптанов	0,037	0,0025	0,00125
Формальдегид	–	0,025	0,025

Как видно из табл. 2, значение концентрации метана существенно больше, чем значения, представленные ранее. Однако анализ пожаровзрывоопасности смеси газов и паров горючих веществ, находящихся в свободном пространстве коллектора, и сравнение его количества с диапазоном пределов распространения пламени показали, что представленные концентрации существенно меньше опасных значений.

С целью учета опасности вносимой всеми составляющими пожаровзрывоопасной смеси, включая газы с незначительным содержанием, авторами предлагается предварительную (первоначальную) оценку проводить по составляющему наибольшее количество метану, с окончательным уточнением опасности по общей концентрации. Для этого может быть использована зависимость, оценивающая их суммарное влияние [9]. В силу малых количеств опасных веществ применим ее только для оценки нижнего концентрационного предела воспламенения.

$$\varphi_{\text{Нсмеси}} = \frac{\sum_k^n \varphi_k}{\sum_k^n \frac{\varphi_k}{\varphi_{\text{нк}}}},$$

где n – число горючих компонентов смеси; φ_k – концентрация k -го компонента смеси, % об.; $\varphi_{\text{нк}}$ – нижний концентрационный предел распространения (НКПР) k -го компонента смеси, % об.

Рассчитанная таким образом концентрация для смеси газов, представленных в табл. 2, имеет значение 5,23 % об. Сравнение с нижним концентрационным пределом метана, представленными в табл. 1, показало, что значения практически не отличаются друг от друга, из чего можно сделать вывод, что образующаяся газоздушная смесь, где основными компонентами является метан, может при внесении источника зажигания стать причиной аварии (взрыва).

В связи с существенным различием представленных данных по содержанию в смеси пожаровзрывоопасных газов авторы провели собственные экспериментальные исследования состава газоздушной среды. Анализ газовой смеси проводился в продолжении Главного

канализационного коллектора Санкт-Петербурга, а именно в шахте 441а (глубина забора пробы 3,5 и 10 м) и каплеуловителе (глубина забора пробы 1 и 5 м). Пробоотбор осуществлялся 29 октября 2013 г. при открытых сечениях шахты и каплеуловителя. Образцы газа проанализированы на содержание следующих примесей: метана, летучих органических соединений (ЛОС), сероводорода, диоксида серы, аммиака и монооксида углерода.

При анализе проб газа использовались различные методики: 1) для определения метана [10]; 2) для ЛОС [11]; 3) сероводорода [12]; 4) диоксида серы, аммиака и монооксида углерода. Из каждой серии анализировались четыре пробы газа с однократной повторностью. Общее количество исследованных проб составило 32 образца. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Концентрация газообразных веществ в коллекторных газах

Точка отбора проб	Глубина забора пробы, м	Концентрация, мг/м ³					
		ЛОС*	СН ₄	СО	SO ₂	H ₂ S	NH ₃
Шахта 441а	3,5	0,559	2,2	0,5	0,3	0,29	0,2
	10	0,480	3,4	0,6	0,3	0,33	0,3
Каплеуловитель	1	0,530	19,4	0,5	0,3	0,11	0,1
	5	0,636	29,1	0,7	0,3	0,37	0,2

Анализ данных табл. 3 показывает, что в целом они не существенно отличаются от проанализированных данных исследований [6, 8].

Наибольшее количество метана зафиксировано в совместных с ФГУП «Водоканал» исследованиях и приведены в табл. 4.

Таблица 4. Состав газов и их концентрация в каплеуловителе

Замеряемый параметр	Условия замера	
	с закрытой крышкой, без работы вентилятора (июль)	без крышки, с вентиляцией (конец октября)
O ₂ , % об.	Среднее значение 19,5	20–23
СН ₄ , % об.	0,32–1,56	0
СО, % об.	1,0–6,0	0

Эти данные свидетельствуют о существенном влиянии процесса распределения газов, отличающихся по своим свойствам (плотности) от остальных компонентов газовой среды. Эти текущие концентрации также ниже взрывоопасных концентраций, однако в случае накопления (ограничения вентиляции) они могут быть достигнуты.

Анализ полученных данных и их сопоставление с представленными результатами известных исследований позволяет сделать вывод о преобладающем наличии низких (фоновых) значений концентраций метана и других пожаровзрывоопасных газов при нормальных эксплуатационных режимах. Однако показано, что при снижении интенсивности вентиляции коллектора и смежных с ними сооружений возможно достижение существенно больших концентраций, а при еще более полном ограничении газообмена возможно достижение концентраций в диапазоне концентрационных пределов воспламенения (НКПВ–ВКПВ). Подтверждением этого является представленные ФГУП «Водоканал» сведения о достижении концентраций метана до 8,2 % об.

Весь диапазон значений концентраций газовой среды при проведении рассмотренных выше исследований представлен в табл. 5.

Таблица 5. Максимальные значения концентраций в исследованиях, представленных в настоящей работе

Источники информации	Концентрация, % об.
ФГУП «Водоканал» (рабочие журналы)	0,00099
ФГУП «Водоканал» (рабочие журналы)	8,2
Отчет СПбГТИ (ТУ) [6]	0,0044
Отчет СПбГТИ (ТУ) [6]	0,009
Отчет СПбГТИ (ТУ) [6]	1,56
приведены в работе [8]	0,009
приведены в работе [8]	0,0095

Анализ данных табл. 5 показывает, что большинство проведенных исследований соответствует условиям стабильной работы канализационных сооружений, что подтверждает достаточно низкое содержание метана и других пожаровзрывоопасных газов (0,01–0,002 % об.). Однако при нарушении нормального функционирования систем вентиляции, что может произойти при перекрытии сечений шахтных колодцев, возможно резкое возрастание содержания метана вплоть до опасных (приближающихся и даже превышающих концентрационные пределы значений). За счет возможного вовлечения в аварийные процессы других пожаровзрывоопасных газов эта концентрация, как было показано ранее, может еще возрасти до более высоких значений и привести к авариям, связанным с загоранием и взрывом газозвдушной смеси.

Эксплуатация канализационных коллекторов связана с постоянным образованием пожаровзрывоопасных газов, наибольшую часть которых составляет метан, что подтверждается представленными данными.

Основное влияние на образование и накопление в коллекторах и смежных с ними сооружениях метана оказывают условия газообмена с внешней средой. Ограничение воздухообмена и образование застойных зон в свободной от сточных вод части коллектора способно привести к опасному возрастанию концентрации пожаровзрывоопасных газов, о чем свидетельствуют периодические пиковые значения концентраций, которые были зафиксированы во всех рассматриваемых исследованиях.

Литература

1. Новостной информационный ресурс. URL: <https://caoinform.moscow/tag/ulitsa-bozhenko/#gsc.tab=0> (дата обращения: 27.09.2020).
2. Новостной информационный ресурс. URL: <https://www.ntv.ru/novosti/633504/> (дата обращения: 27.09.2020).
3. Исследование причин и предупреждение гибели работников, обслуживающих системы канализации / М.В. Томаков [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 6 (45). С. 111–118.
4. Кофман В.Я. Сероводород и метан в канализационных сетях (обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 5. С. 72–78.
5. Исследование образования сульфидов в анаэробных условиях в жидкой фазе канализационных стоков / Р.А. Талипов [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 1 (47). С. 207–214.
6. Анализ условий безопасности Главного канализационного коллектора и расположенного на нем оборудования на участке от Финляндского моста до Северной станции аэрации и оценка рисков эксплуатации коллектора при различных режимах работы: отчет о НИР (закл.) / рук-ль В.В. Самонин, И.Г. Янковский; исполн. Т.В. Украинцев [и др.]. М.: ФГБОУ ВО СПбГТИ (ТУ), 2014. С. 98–100.

7. Малков А.В. Расчет требуемой кратности воздухообмена в подводном пространстве канализационной сети // Научно-технический журнал «Вестник гражданских инженеров». 2017. № 2 (61). С. 184–187.

8. Столбихин Ю.В. Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петербург. гос. архитектурно-строительный ун-т, 2016. 227 с.

9. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справ. издание / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1987. 272 с.

10. ПНД Ф 13.1.:2:3.23–98. Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методики выполнения измерений массовых концентраций предельных углеводородов С1–С5 и непредельных углеводородов (этена, пропена, бутенов) в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хроматографии / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. М.: ФГУ «ФЦАО», 1998. 22 с.

11. ГОСТ Р ИСО 16017-1–2007. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Ч. 1: Отбор проб методом прокачки / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ, 2008. С. 35.

12. МУК 1643–77. Методические указания на фотометрическое определение сероводорода в воздухе // Минздрав СССР. Методические указания на определение вредных веществ в воздухе. М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. Вып. 1–5. 12 с.

УДК 551.46.077(261.24)

ПРИМЕНЕНИЕ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.М. Маевский.

Санкт-Петербургский государственный технический морской университет.

И.А. Печайко.

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

С.А. Турсенев, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматривается решение вопроса, связанного с проведением работ по оперативному мониторингу и анализу состояния подводных потенциально опасных объектов при помощи использования автономных необитаемых подводных аппаратов, которые позволят повысить эффективность проведения работ и обеспечить снижение экономических затрат на их выполнение. Авторами предлагается применение автономных необитаемых подводных аппаратов планерного типа как устройств, обеспечивающих оперативный и долгосрочный мониторинг. Представленные схемы применения подводных глайдеров описывают возможности группового взаимодействия при решении задач мониторинга подводных потенциально опасных объектов.

Ключевые слова: мониторинг и анализ подводных потенциально опасных объектов, автономный необитаемый подводный аппарат, морской робототехнический комплекс, подводный глайдер

APPLICATION OF MARINE ROBOTIC SYSTEMS FOR MONITORING AND ANALYSIS OF POTENTIALLY DANGEROUS UNDERWATER OBJECTS

A.M. Maevskiy. Saint-Petersburg state marine technical university.

I.A. Pechayko. Baltic state technical university «VOENMEKH» named after D.F. Ustinov.

S.A. Tursenev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article describes the solution of the issue related to the operational monitoring and analysis of the state of underwater potentially dangerous objects by using autonomous underwater vehicles, which will increase the efficiency of work and reduce the economic costs of their implementation. The authors propose the use of glider-type autonomous underwater vehicles as devices providing operational and long-term monitoring. The presented schemes for the use of gliders, the possibilities of group interaction in the process of solving the problems of monitoring of underwater potentially dangerous objects are described.

Keywords: monitoring and analysis underwater potentially dangerous objects, autonomous uninhabited underwater object, marine robotics complex, underwater glider

К подводным потенциально опасным объектам (ППОО) относятся суда и иные плавсредства, космические и летательные аппараты, другие технические средства, боеприпасы, элементы оборудования и установки, которые были полностью или частично затоплены во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений. Содержащиеся в ППОО ядерные, радиоактивные, химические, отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества создают угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). По опубликованным данным [1], в реестре ППОО числится более 24 тыс. объектов, затопленных на глубинах до 500 м. В частности, в реестр включены 3 атомные подводные лодки (АПЛ), 5 реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, 19 судов, в том числе баржа с выгруженным из АПЛ реактором, свыше 700 радиоактивных конструкций и блоков, затопленных без герметичной упаковки, и более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами (РАО). Некоторые из районов массового сосредоточения ППОО отмечены на рис. 1 [2].



Рис. 1. Распределение ППОО по акваториям морей Российской Федерации [3]

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2005 г. № 1314-р была утверждена Федеральная система мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов [4]. МЧС России выполняет периодическое обследование мест затопления ППОО, которое включает в себя методы мониторинга как геофизического, так и биоэкологического характера. Выполнение указанных работ предполагает наличие широкого спектра технических средств: от поискового оборудования (профилографы, буксируемые магнитометры, гидролокаторы бокового обзора, фото-видеокомплексы, приборные комплексы химического и радиационного мониторинга), применяемого непосредственно с судов или телеуправляемых (реже автономных) необитаемых подводных аппаратов до разворачивания стационарных автоматизированных донных или буйковых станций. Последние перечисленные два вида станций кроме сбора информации позволяют анализировать «in situ» данные мониторинга по объектам наблюдения, а также данные по природной среде, например, измерение скорости и направления течений с помощью ADCP (акустический доплеровский измеритель течения), STD-зондирование с разрезом по глубинам. Однако такие технологии не дают неразрывности контроля и потока данных либо ограничены районом применения, что позволяет составить лишь частичное понимание локальной окружающей обстановки около ППОО, но не предоставляет возможным сформировать достаточно достоверную модель изменения состояния таких объектов даже в региональном масштабе. Данная проблематика не нова, она активно обсуждается на научных площадках и апробируется в различных вариациях в ходе научных экспериментов в свете развития оперативной океанографии [5].

Несмотря на результаты российских и международных морских экспедиций последних десятилетий, свидетельствующих о незначительных отличиях реальной от фоновой радиоэкологической обстановки в районах затоплений АПЛ и РАО [2], всегда существует ряд факторов, которые могут привести к развитию ЧС на ППОО. Во-первых, это природные причины разрушения корпуса затопленного объекта, связанные с протеканием физических и химических процессов (коррозионные процессы или волновое влияние, приводящие к периодическому избыточному давлению на оболочку ППОО). Во-вторых, это антропогенные процессы, связанные с деятельностью человека в регионах затопления ППОО, в том числе и потенциальные террористические атаки на ППОО, которые стали возможны благодаря появлению доступных беспилотных подводных автономных аппаратов [6–9].

С 1998 г. Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук под эгидой МЧС России регулярно проводит исследования по уточнению местоположения и контролю состояния ППОО. Несмотря на применение апробированных технологий – буксируемых, телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов (соответственно БНПА, ТНПА, АНПА) (рис. 2), до настоящего времени остается необследованным еще ряд важных районов, а архивные данные о местоположении ряда объектов оказались не точны или вовсе не нашли подтверждения [10]. В ходе исследований ТНПА выполнял точечный осмотр объектов и целенаправленные визуально контролируемые гамма-спектрометрические измерения, отбор образцов, а БНПА и АНПА обеспечивали площадные исследования акватории района мониторинга ППОО.



Рис. 2. а) ТНПА «Гном»; б) БНПА «Видеомодуль»; в) АНПА «Пилигрим»

Таким образом, морские подводные операции, связанные с мониторингом и анализом ППО, несут сложный и зачастую неопределенный характер, в виду недетерминированности и анизотропности среды. Данная проблематика требует комплексного подхода, обеспечивающего длительное получение требуемых параметров мониторинга в четырех измерениях одновременно (широта, долгота, глубина, время), с возможностью оперативной передачи информации до берегового (или судового) центра управления с минимальными привлекаемыми ресурсными (персонал, суда обеспечения) и финансовыми затратами.

Гармонично дополнить сложившуюся систему мониторинга и решить обозначенные задачи может подход, основанный на применении подводных планеров (глайдеров).

Глайдер (рис. 3) способен обеспечить долгосрочное выполнение поставленной задачи в автономном режиме за счет отсутствия затрат на перемещение посредством изменения плавучести и использования планирования в процессе погружения/всплытия. Синусоидальная («пилообразная») траектория движения (рис. 4) является оптимальной для получения, аккумулирования и передачи данных [11–13]. На сегодняшний день АНПА такого типа способны выполнять поставленные задачи в течение длительного промежутка времени: от недели до нескольких месяцев. При этом существует возможность уже в ходе выполняемой миссии откорректировать ее параметры по результатам полученных данных или с учетом изменения иных условий.

Сотрудниками Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) и Акционерного общества «Научно-производственное предприятие Подводных технологий «Океанос» (АО «НПП ПТ «Океанос») на протяжении нескольких лет ведется инициативная разработка подводного глайдера. В ходе многочисленных испытаний исследованы и разработаны принципы и законы управления подобного рода объектами, составлена модель применения. Разработанный опытный образец периодически модернизируется и проходит испытания в натуральных условиях с целью верификации разработанных алгоритмов управления. На рис. 3 приводится пример движения глайдера в заданные целевые позиции (10 целевых точек, 3 точки для возврата аппарата в точку старта). Глубина погружения ограничена местом проведения испытаний (до 50 м), длительность миссии – 2 ч.

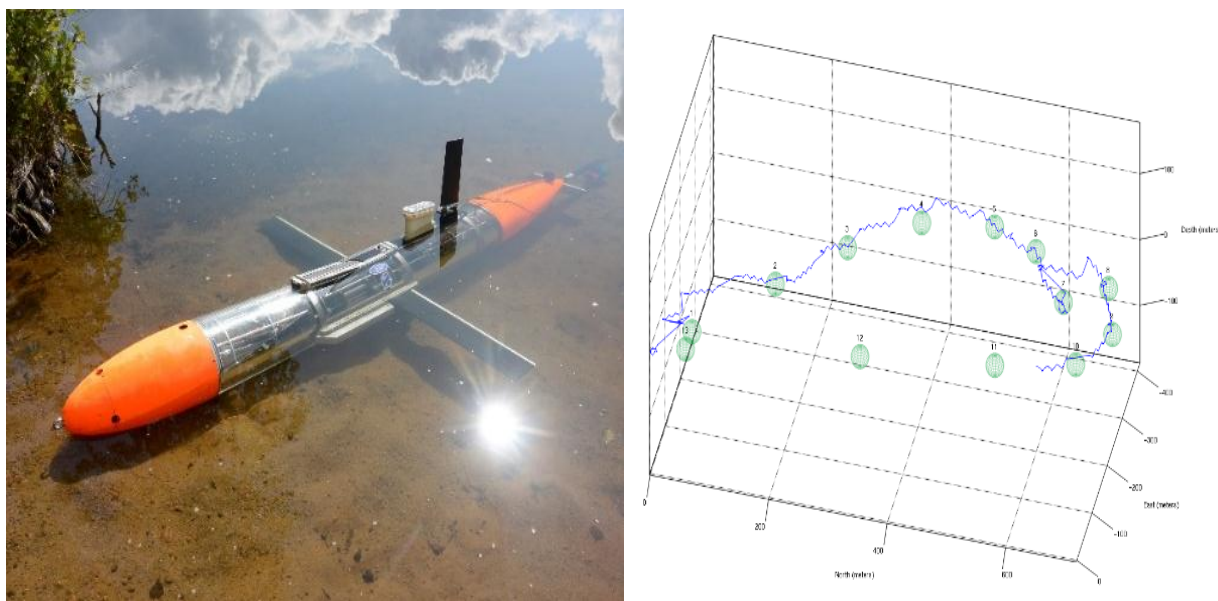


Рис. 3. Подводный глайдер, используемый ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России» и СПбГМТУ совместно с АО «НПП ПТ «Океанос» для отработки технологий мониторинга ППО (слева), пример выполнения миссии на испытаниях 2020 г. (справа)



Рис. 4. Траектория движения глайдера с набором и передачей данных

К преимуществам использования таких систем также относится возможность применения модульной полезной нагрузки. Как следствие, способность конфигурирования аппарата для решения широкого круга задач позволяет существенно сократить расходы на эксплуатацию.

Принцип функционирования подводных глайдеров кроме временного диапазона расширяет и географический диапазон применения. Так, радиус действия ТНПА физически ограничен длиной кабель-троса между судном-носителем и аппаратом, а АНПА ограничены емкостью батарей и в среднем не способны функционировать более 72 ч, в этой связи использование данных типов морской робототехники в Арктической зоне в условиях сплошной ледовой обстановки весьма ограничено. Применение же АНПА типа глайдер позволяет увеличить не только время выполнения миссии от нескольких недель до нескольких месяцев, но и расширить потенциальную область покрытия по сравнению с телеуправляемыми аппаратами и традиционными АНПА (рис. 5), включая в нее и зоны с движущимся битым льдом, и зоны с постоянными ледяными полями.

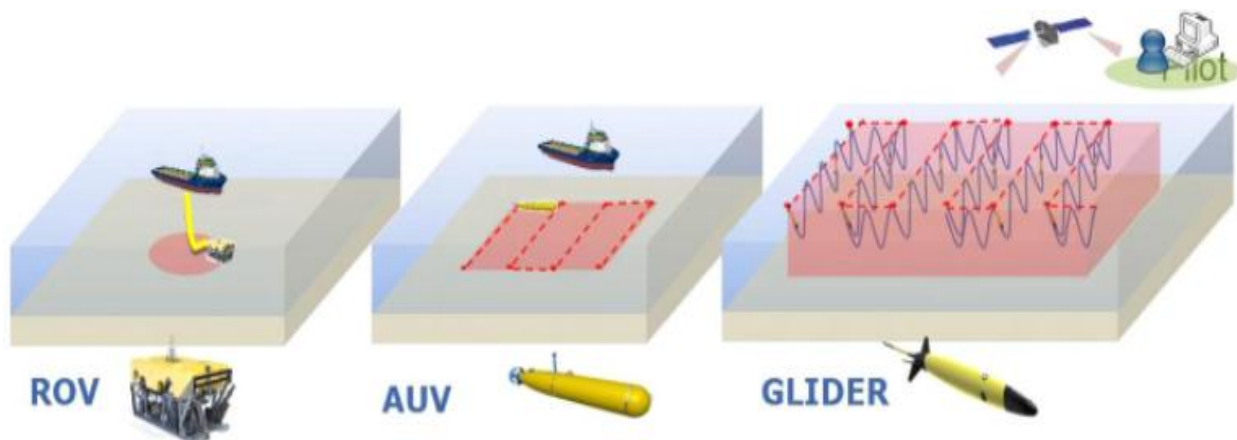


Рис. 5. Области покрытия ТНПА, АНПА и глайдером [14]

Применение групп АНПА типа «глайдер» [3, 15–18] позволяет решать задачи, связанные с оперативным и эффективным покрытием территории затопления ППОО и мониторингом отдельных параметров. Частный пример функционирования группы по площади, в которой располагается ППОО, представлен на рис. 6.

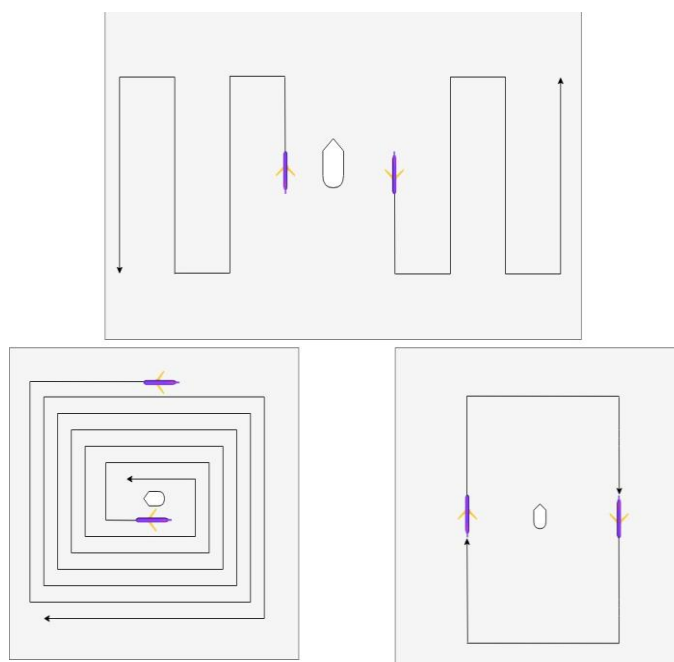


Рис. 6. Типовые сценарии применения группы глайдеров при обследовании территории ППОО

Применение АНПА для мониторинга ППОО в любом случае существенно сокращает стоимость проведения работ. Ниже в таблице приведены сравнительные стоимостные характеристики работ, связанных с мониторингом и инспекцией подводных потенциально опасных объектов, выполненных с использованием технологий буксируемых (привязных) и автономных морских робототехнических средств.

Таблица. Экономическая эффективность использования АНПА

Исследование 45 миль нефтяного трубопровода в Мексиканском заливе		
Входные данные по миссии	Глубина: от 400 до 2 200 м Общая дистанция: 600 км	
Метод проведения исследования	2 исследовательских судна	1 АНПА
Дневная стоимость работ	26 000 \$	55 000 \$
Количество дней	27,2 дня	5,3 дня
Общая стоимость	707 000 \$	291 325 \$
Экономическая выгода от применения АНПА	425 875 \$ или 59 %	
Исследование акватории размером 26*17 км в районе Западной Африки		
Входные данные по миссии	Глубина: 1 500 м Общая дистанция: 6 274 км	
Метод проведения исследования	2 исследовательских судна	1 АНПА
Дневная стоимость работ	54 000 \$	55 000 \$
Количество дней	95 дней	58 дней
Общая стоимость	5 184 000 \$	3 190 000 \$
Экономическая выгода от применения АНПА	1 994 000 \$ или 39 %	

Данные, представленные в таблице, наглядно показывают, что применение АНПА в целях проведения мониторинга, обследования и патрулирования ППОО существенно снижают экономические затраты на выполнение таких работ, параллельно повышая объем и качество получаемых данных. Исследования зарубежных ученых [5, 7–9, 13, 18] показали актуальность использования подобных систем в целях получения оперативной информации и составления прогностических моделей изменения морской среды.

Проведенный анализ средств мониторинга ППОО и оценка сложности его выполнения показывает необходимость развития отечественных элементов морской робототехники, особенно в целях МЧС России. Применение подводных глайдеров позволит снизить затраты на мониторинг ППОО и повысить релевантность получаемых данных. Предложенная авторами возможность использования подводных планеров и схема их группового взаимодействия закладывают основу для дальнейших исследований в данной области.

Литература

1. Кочергина И., Полянский Д. Подводные потенциально опасные объекты. М., 2015. 117 с.
2. Вяльшев А.Н. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // Технологии гражданской безопасности. 2017. № 1 (51). Т. 14. С. 4–10.
3. Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны / С.Б. Волошин [и др.] // Международный конкурс научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 г.: сб. работ лауреатов. М.: Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2020. С. 62–77.
4. Об одобрении концепция Федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27 авг. 2005 г. № 1314-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Маевский А.М. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии. Отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы. 2020. № 1 (17). С. 39–49.
6. Гайкович Б.А. Развитие робототехнических подводных средств как элемента системы безопасности // Авиационно-космическая промышленность. 2014. Т. 14. 2 (29). С. 42–44.
7. González-Reolid I., Molina-Molina J.C., Guerrero-González A., Ortiz F.J., Alonso D. An Autonomous Solar-Powered Marine Robotic Observatory for Permanent Monitoring of Large Areas of Shallow Water. *Sensors*. 2018. 18. 3497; doi:10.3390/s18103497.
8. Hwang, Jimin & Bose, Neil & Fan, Shuangshuang. AUV Adaptive Sampling Methods: A Review. *Applied Sciences*. 2019. 9. 3145. 10.3390/app9153145.
9. Petillo S., Schmidt H. Exploiting adaptive and collaborative AUV autonomy for detection and characterization of internal waves // *IEEE J. Ocean. Eng.* 2014. 39. 150–164.
10. Поярков С.Г. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря // Технологии гражданской безопасности: океанологические исследования. 2017. Т. 45. № 1. С. 173.
11. Реализация автономного необитаемого подводного аппарата типа глайдер / А.М. Маевский [и др.] // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 9 (57). С. 119–124.
12. Разработка и исследование позиционно-траекторного регулятора для управления движением подводного глайдера / Б.В. Гуренко [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). С. 20.

13. Wang Y., Zhao J., Zhang M. Research on the Sensors Condition Monitoring Method for AUV. In: Xiong C., Huang Y., Xiong Y., Liu H. (eds) Intelligent Robotics and Applications. ICIRA // Lecture Notes in Computer Science. 2008. Vol. 5314. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88513-9_46.

14. Levaché D., Dhant D., Lattes P., Vidal, Beauery L., Del Marto V., Bessan and Rochet V. Underwater Gliders for Oil and Gas Exploration Conference Proceedings // 29-th International Meeting on Organic Geochemistry. 2019. p. 1–2.

15. Гайкович Б.А. Система комплексной безопасности морских инженерных сооружений нефтегазовой отрасли // Новый оборонный заказ. 2015. № 1. С. 33.

16. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Вопросы разработки морских робототехнических платформ на примере создания подводного аппарата типа «Глайдер»: сб. материалов 11 конференции ПСиЗУ. 2016. Т. 1. С. 151–163.

17. Разработка схем применения и систем управления гетерогенными группами морских роботов / А.М. Маевский [и др.] // Экстремальная робототехника. 2020. С. 171–172.

18. Fiorelli E., Leonard N.E., Bhatta P., Paley D.A., Bachmayer R. and Fratantoni D.M. Multi-AUV Control and Adaptive Sampling in Monterey Bay // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2006. Vol. 31. No. 4. pp. 935–948. doi: 10.1109/JOE.2006.880429.

УДК 620.9, 621

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**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)**

Устойчивое развитие и надежное функционирование региональной системы электроэнергетики определяет энергетическую безопасность и является фактором устойчивого социально-экономического развития территорий. Поэтому на основе анализа государственной политики в области электроэнергетики, ее структуры, условий и факторов, влияющих на устойчивость функционирования региональных систем электроэнергетики, установлены факторы, влияющие на электроэнергетическую безопасность страны, обоснованы основные задачи обеспечения электроэнергетической безопасности территорий, мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов электроэнергетики в режимах повседневной деятельности и чрезвычайной ситуации, предложена классификация методов исследования электроэнергетических систем, показаны особенности применения методов определения электрических нагрузок для обоснования параметров электропотребления объектов и состава электроэнергетических систем, учитывая их уровни.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, надежность, чрезвычайная ситуация, управление

PROBLEMATIC SECURITY ISSUES ELECTRIC POWER SAFETY SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

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)

Sustainable development and reliable functioning of the regional electric power system determines energy security and is a factor of sustainable socio-economic development of the territories. Therefore, based on the analysis of the state policy in the field of electric power industry, its structure, conditions and factors affecting the stability of the functioning of regional electric power systems, the factors affecting the country's electric power security are established, the main tasks of ensuring the electric power security of territories are justified, measures to increase the stability of the functioning of electric power facilities in the modes of daily activity and emergency situations are proposed, a classification of methods of studying electric power systems is proposed, the features of the application of methods for determining electrical loads to justify the parameters of power consumption of objects and the composition of electric power systems, taking into account their levels, are shown.

Keywords: electric power system, reliability, emergency, management

Анализ государственной политики в области электроэнергетики и факторов, влияющих на устойчивость функционирования региональных систем электроэнергетики

Электроэнергетика страны определяет состояние ее экономики и благополучие населения. При этом рост численности населения и экономическое развитие регионов способствуют росту потребности в электрической энергии.

Создание электроэнергетики опиралось на Государственный план электрификации (ГОЭЛРО), принятый в 1920 г. (первый был выполнен к 1931 г., второй – к 1940 г.) [1, 2].

Индустриализация страны предусматривала абсолютную централизацию, отраслевой монополизм, градообразующую гигантоманию. Ликвидация с 1929 г. по 1931 г. 830 тыс. ветряных электростанций сделала неустойчивым электроэнергетическое обеспечение территорий. Сама же концепция плана ГОЭЛРО предусматривала: единый государственный план строительства хозяйства; сооружение комбинатов-гигантов; строительство городов на базе градообразующих предприятий; опережающее развитие электрификации при концентрации мощностей и централизации электроснабжения.

В конце 40-х гг. XX в. вновь встал вопрос об электрификации страны. Вместо строительства малых и средних электростанций, которые могли бы охватить всю страну, обеспечить электроэнергией сельское хозяйство, отдаленные поселения, был избран путь строительства крупных электростанций, начавшийся с каскада Волжских гидроэлектростанций (ГЭС). Быстрыми темпами с конца 50-х гг. XX в. началось строительство сельских сетей и подключение колхозов к государственным сетям. В результате было уничтожено от 5 до 6,6 тыс. средних электростанций мощностью 100–10 000 кВт. Из нескольких путей, руководствуясь лозунгом электрификации страны, был выбран жестко монопольный вариант развития электроэнергетики, когда за счет потребителя осуществляли его же присоединение. На этом этапе энергосистема получила право выдавать технические условия на присоединение и запрещать потребителям строительство своих мощностей [2].

В послевоенные годы электроснабжение ориентировалось на обеспечение электрической энергией промышленных центров, потребление которых достигало 70 %, оставшиеся 30 % приходились на население. Сейчас это соотношение поменялось при оставшейся практически неизменной структуре электроэнергетики. При этом состояние систем электроснабжения населенных пунктов, за исключением крупных городов, характеризуется низкой надежностью их электроэнергетического обеспечения.

В результате было создано самое крупное в мире энергетическое объединение – Единая энергетическая система России (ЕЭС России). Это позволило перебрасывать электроэнергию из районов, где в данный час суток имеется избыток мощности, в районы, где требуется ее увеличение. Созданное энергетическое объединение обеспечивало к началу собственной реформы мировой уровень надежности энергоснабжения потребителей при низком уровне резерва мощностей и базировалось на тепловых нагрузках городов и промышленности, что обеспечивало эффективность производства электрической энергии.

Разрушение целостного функционирования электроэнергетики страны началось в 90-х гг. XX в. [3]. После приватизации созданное в 1992 г. акционерное общество «ЕЭС России» (РАО «ЕЭС России») производило около 75 % всей электрической энергии в стране и владело контрольными пакетами акций 72 региональных энергетических компаний и 25 крупных электростанций.

Развитие ЕЭС России было связано [4] с обеспечением энергетической независимости отдельных регионов и в 1999 г. функционировало 7 объединенных электроэнергетических систем и 75 энергосистем (АО-энерго). Параллельно работали 6 объединенных электроэнергетических систем, которые существенно различались по структуре генерирующих мощностей и по типам электростанций: Центра (больше доля тепловых и атомных электростанций), Средней Волги (больше доля ГЭС и атомных электростанций), Урала, Северо-Запада, Северного Кавказа (для последних трех преобладает доля тепловых электростанций), Сибири (больше доля ГЭС); объединенная электроэнергетическая система Востока работала изолированно.

Основную часть генерирующей мощности (2/3) образуют тепловые электростанции, мощность гидроэлектростанций в три раза меньше, а на долю атомных электростанций приходится 11 % генерирующей мощности. РАО «ЕЭС России» прекратила свою деятельность 1 июля 2008 г.

Не отрицая достижения электроэнергетики, на сегодня системы электроснабжения напряжением 0,38–110 кВ имеют протяженность 2,3 млн км; в эксплуатации около 500 тыс. трансформаторных пунктов 6–35/0,4 кВ. Состояние электрических сетей неудовлетворительное (в Нечерноземье 59 % воздушных линий 0,38 кВ и 42 % воздушных линий 6–10 кВ имеют износ 100 %, а протяженность их больше оптимальной длины 8–12 км: более 25 км – 13,3 %, более 50 км – 2,2 %) [5]. В еще большей степени это относится к электрическим сетям 0,4 кВ (380/220 В), при этом 90 % потребителей работают на этом напряжении. Поэтому наблюдается 70–100 ч перерывов в электроснабжении потребителей в год (в развитых странах – 7–10 ч/год) и высокая аварийность потребителей.

Из анализа государственной политики в области электроэнергетики следует, что экономические выгоды концентрации производства электрической энергии с одновременным сооружением энергетических центров были догмой, а развитые страны делали ставку на малые, по мощности, потребители.

Ежегодно рост мощностей отработавшего энергетического оборудования составляет 5 тыс. МВт на тепловых электростанциях и 2 тыс. МВт на гидроэлектростанциях. И здесь возникает вопрос о стратегии электроэнергетического обеспечения потребителей, и об энергетической безопасности страны [5–7] на фоне увеличения аварий на объектах электроэнергетики (табл.).

Оценивая состояние в области электроэнергетики, можно сделать следующие выводы:

– план электрификации страны с 1918 г. ориентирован на создание крупных энергетических мощностей и цели его не достигнуты, – около 20 млн чел. на 2/3 территории страны находятся без централизованного электроснабжения;

Таблица. Анализ аварий на объектах электроэнергетических систем

Дата	Исходное событие, масштаб и ущерб
25.05.2005	Пожар на подстанции Чагино: в Москве отключено 25 %, в Тульской – 90%, в Калужской – 22 % потребителей на 30 ч. Авария затронула 4 млн чел. Ущерб более 1 млрд руб.
14.10.2007	Снегопад (Московская обл.): без электроэнергии 532 населенных пункта, Можайский, Волоколамский, Рузский, Клинский, Солнечногорский и Истринский районы, часть Мытищинского района и Дмитрова, обесточен г. Троицк, а также Гагаринский район Смоленской области
17.08.2009	Несоблюдение технических регламентов: разрушение, затопление машинного зала Саяно-Шушенской ГЭС, погибло 75 человек, ущерб 60 млрд руб.
13.06.2010	Штормовой ветер в Нижегородской области оставил без электроэнергии 1 274 населенных пункта, 16 районов (58 693 дома, 246 550 чел.)
20.06.2010	Авария в энергосистеме в Санкт-Петербурге и Ленинградской области привела к отключению несколько линий электропередачи 110–330 кВ, к нарушению электроснабжения потребителей в девяти районах Санкт-Петербурга и в трех районах Ленинградской области
20.08.2010	Выход из строя изоляции контрольного кабеля на подстанции «Восточная» привел к 40-минутному отключению электроэнергии в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, в зону отключения попало 2,5 млн чел.
25.08.2010	Нештатные действия устройств релейной защиты оставили без энергоснабжения правобережную часть Санкт-Петербурга, северо-западную часть Ленинградской энергосистемы в составе Выборгского энергорайона, 30 % потребителей Ленинградской энергосистемы, 19 медучреждений, потребляющих мощность в 1 ГВт. Прекращено водоснабжение в ряде районов города, остановлено движение метрополитена, поездов
03.12.2010	Снегопад в Курской и Воронежской областях привел к обрыву линий электропередач, нарушению электроснабжения промышленных и бытовых объектов
05.12.2010	Плохие погодные условия: в Республике Татарстан произошли порывы линий электропередачи, обесточены 69 998 жилых домов, 186 школ, 120 детских садов
17.02.2011	Авария на линии электропередачи 110 кВ в г. Барнауле: отключены 4 электроподстанции, без электроснабжения остались частично Индустриальный, Железнодорожный, Ленинский и Октябрьский районы с населением 109 тыс. чел., 6 больниц, 32 школы, 48 детских садов
26.01.2012	Ураганный ветер в Краснодарском крае, скорость которого достигала 40 м/с, оставил без света 250 тыс. жителей г. Анапы и г. Новороссийска
19.10.2014	Ледяной дождь стал причиной технологических нарушений в работе электросетевого комплекса на Южном Урале, в Челябинской области нарушено электроснабжение около 80 населенных пунктов с населением 28 тыс. чел.
04.01.2015	От пожара пострадал четвертый блок Сургутской ГРЭС-2. Ущерб оценивался в 1 млрд руб.
11.11.2016	Ледяной дождь оставил без света Наро-Фоминский, Дмитровский, Солнечногорский, Клинский и Сергиево-Посадский районы Подмосковья
15.11.2016	В результате обрыва проводов в г. Екатеринбурге обесточены 4 подстанции 110 кВ, без электроснабжения в Орджоникидзевском районе остались 117 000 чел., 116 социально значимых объектов, предприятия промышленности
01.08.2017	Действием защиты отключены: воздушная линия электропередачи 500 кВ «Бурейская ГЭС – Амурская»; первая цепь воздушной линии 500 кВ «Бурейская ГЭС – Хабаровская»; межгосударственная воздушная линия 500 кВ «Амурская – Хэйхэ»; воздушные линии 220 кВ «Хабаровская – Волочаевка тяговая» и «Хабаровская – Левобережная». В Амурской области без энергоснабжения остались 498 тыс. чел., в Южной Якутии – 39,7 тыс. чел., в Хабаровском крае – 715,3 тыс. чел., в Приморском крае – 430 тыс. чел., всего – более 1,5 млн жителей
28.07.2018	Авария на энергомоу через Керченский пролив привела к отключению его четырех линий, Симферополь, Керчь, Ялта, Судак и другие города Крыма остались без электроэнергии
23.01.2020	Из-за повреждения кабельной линии в г. Томске обесточены восемь трансформаторных подстанций, без электроснабжения остались 279 домов частного сектора, один 9-этажный и 15 малоэтажных домов, детское отделение поликлиники

– уничтожение малых, по мощности, электростанций сделало неустойчивым электроснабжение объектов и населенных пунктов. При этом одной из задач энергетической стратегии является внедрение автономного электроснабжения потребителей на основе различных источников электрической энергии;

– реформа электроэнергетики привела к тому, что производство, передача и распределение электрической энергии, ее сбыт и диспетчеризация осуществляются различными коммерческими организациями, хотя единая система электроэнергетики обеспечивает экономию не менее 25 % от своего содержания;

– нарастание старения оборудования электростанций и сетей, дефицита мощности в ряде энергосистем увеличивает вероятность ситуаций, связанных с недостаточностью электроэнергетического обеспечения объектов и территорий.

Топливо-энергетический комплекс является системообразующей отраслью, обеспечивая более 40 % поступлений в бюджет страны, а доля отраслей топливо-энергетического комплекса в объеме внутреннего валового продукта составляет 30 % [2, 8]. Устойчивое развитие и надежное функционирование электроэнергетики регионов определяют их энергетическую безопасность.

За последние годы изменилась система государственного регулирования и структура отрасли: под государственный контроль перешел Системный оператор, на которого возложена задача управления качеством электроснабжения потребителей; активы генерации объединились в оптовые генерирующие компании, объединившие электростанции, специализированные на производстве почти исключительно электроэнергии, и территориальные генерирующие компании, куда вошли теплоэлектроцентрали, производящие электрическую и тепловую энергию. Тепловые оптовые и территориальные генерирующие компании переданы под контроль частных инвесторов, однако государство сохраняет контроль над «ГидроОГК». В результате реструктуризации РАО «ЕЭС России» сформировалась следующая структура электроэнергетики [2, 9–11]:

– инфраструктурные организации: организация по управлению Единой национальной электрической сетью (ЕНЭС) – обеспечивает единство технологического управления, оказывает услуги по передаче электроэнергии. Активы – магистральные сети, Системный оператор, который осуществляет единоличное управление режимами работы ЕНЭС России, активами которых являются линии электропередачи низкого напряжения;

– генерирующие компании: оптовые генерирующие компании с средней установленной мощностью около 9 ГВт на базе тепло- и гидрогенерирующих активов, при этом тепловые компании формируются по экстерриториальному принципу, «Гидро-ОГК» – по каскадам ГЭС. На рынке также действуют производители электроэнергии на базе атомной генерации и на базе независимых от «ЕЭС России» АО-энерго; территориальные генерирующие компании обладают установленной мощностью от 1 до 11 ГВт. Ряд территориальных генерирующих компаний еще включает активы тепловых сетей и котельных;

– энергосбытовые компании – созданы в результате реорганизации АО-энерго и исполняют функции поставщиков электроэнергии конечным потребителям;

– сервисные и научно-проектные организации. Структура отрасли предполагает наличие независимых компаний, осуществляющих инжиниринговую деятельность для компаний электроэнергетики.

На сегодня ЕЭС России – крупнейшее в мире электроэнергетическое объединение, охватывающее с запада на восток около 7 тыс. км и с севера на юг – более 3 тыс. км.

В составе объединенной электроэнергетической системы Северо-Запада работают энергообъекты на территориях Санкт-Петербурга, Мурманской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Архангельской областей, республик Карелия и Коми. Особенности: протяженные (до 1 000 км) одноцепные воздушные линии 220 кВ и 330 кВ; большая доля электростанций (атомных и тепловых), обеспечивающих 90 % выработки электроэнергии.

Объединенная электроэнергетическая система Центра является наиболее крупной – в ее составе работают энергообъекты, расположенные на территориях 20 субъектов Российской Федерации, а генерирующие мощности составляют 25 % от суммарной генерирующей мощности ЕНЭС России. Особенности ее: самая высокая удельная доля атомных электростанций; большое количество промышленных узлов.

В составе объединенной электроэнергетической системы Средней Волги работают энергообъекты на территориях восьми субъектов Российской Федерации. Особенность ее: значительная доля гидрогенерирующих мощностей.

Объединенная электроэнергетическая система Урала образована из энергообъектов на территориях девяти субъектов Российской Федерации. Их объединяет более 106 тыс. км линий электропередачи (четверть протяженности линий электропередачи страны) напряжением 500–110 кВ. Особенности ее: сложная сеть 500 кВ, в которой ежедневно от 2 до 8 воздушных линий электропередачи отключены для планового или аварийного ремонта.

В составе объединенной электроэнергетической системы Юга работают энергообъекты на территориях двенадцати субъектов Российской Федерации. Особенности ее: схема электрической сети на базе воздушных линий электропередачи 330–500 кВ; неравномерность стока рек Северного Кавказа, приводящая к дефициту электроэнергии зимой и профициту в летний период; самая большая доля коммунально-бытовой нагрузки в структуре электропотребления.

Объединенная электроэнергетическая система Сибири. В ее составе работают энергообъекты на территориях 11 субъектов Российской Федерации, «Таймырэнерго» работает изолированно. В нее объединены 87 тыс. км воздушных линий электропередачи напряжением 110–150 кВ. Особенность: более 50 % генерирующей мощности составляют ГЭС.

Энергообъекты на территориях Амурской области, Хабаровского и Приморского краев и Южно-Якутского энергорайона Республики Саха (Якутия) образуют электроэнергетическую систему Востока. Особенности ее: преобладание тепловых электростанций (более 70 %); одна из самых высоких в России (21 %) доля коммунально-бытовой нагрузки в электропотреблении.

Основные задачи обеспечения электроэнергетической безопасности территорий и мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов электроэнергетики

Существующие региональные системы электроэнергетики представляют собой сложные комплексы (рис.) [12–16], устойчивость которых зависит от устойчивости составляющих элементов, и могут включать одну или несколько электроэнергетических систем.

Различают [1] следующие уровни электроэнергетической системы:

- отдельный электроприемник или группа электроприемников с определенной паспортной мощностью – питание осуществляется по одной линии;
- щиты распределительные и распределительные пункты напряжением до 1 кВ переменного и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты управления и щиты станций управления, шкафы силовые, вводно-распределительные устройства, установки ячеечного типа, шинные вводы, сборки, магистрали;
- щит низкого напряжения трансформаторной подстанции 10(6)/0,4 кВ или сам трансформатор;
- шины распределительной подстанции (РП) 10(6) кВ;
- шины главной понизительной подстанции, подстанции глубокого ввода, опорной подстанции района;
- граница раздела региональной системы электроэнергетики и энергоснабжающей организации.

При этом выделены: потребитель, питающийся на низком напряжении (90 % потребителей); малый потребитель, имеющий трансформаторные подстанции с напряжением 10(6) кВ (9 %); средний потребитель, имеющий распределительные подстанции

и электрохозяйство с электрослужбой (0,9 %); крупный потребитель, имеющий главную понизительную подстанцию с напряжением 35–330 кВ.

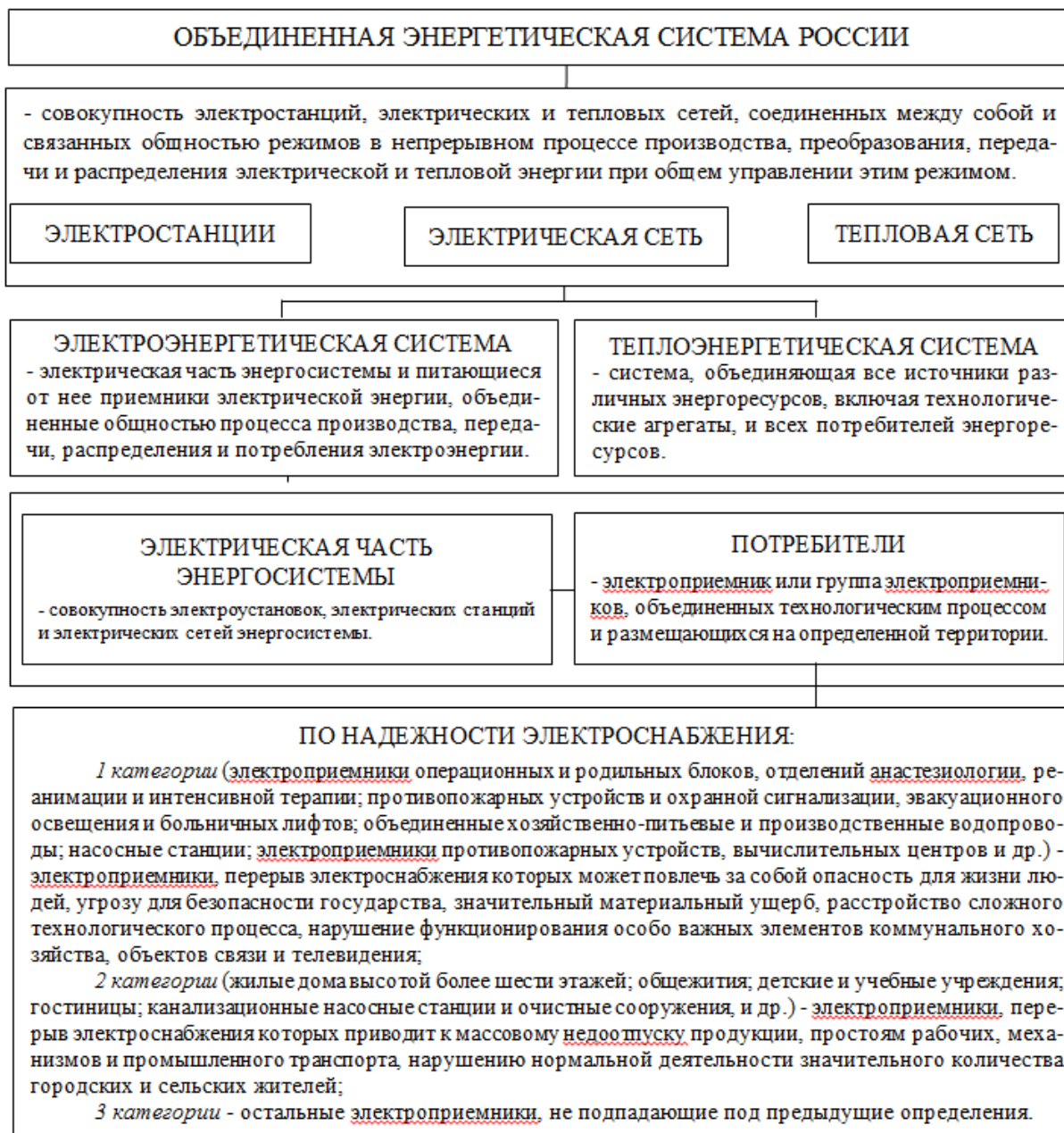


Рис. Структура объединенной энергетической системы

Под электроэнергетической системой понимается электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Потребители, в зависимости от допустимого времени возможного перерыва в подаче электрической энергии, подразделяются на три категории:

– к первой относятся такие, перерыв в электроснабжении которых влечет невыполнение объектом своих задач, нарушение функционирования важного оборудования и создает опасность для жизни, – потребители обеспечиваются электрической энергией от двух независимых источников электрической энергии и перерыв в их электроснабжении допускается лишь на время автоматического восстановления питания;

– ко второй категории относятся такие, нарушение питания которых не влияет на выполнение объектом своих задач, но приводит к простоем оборудования и нарушению нормальной деятельности работающего персонала, их рекомендуется обеспечивать электрической энергией от двух независимых источников электрической энергии и перерывы в электроснабжении для них допустимы на время включения резервного питания;

– электроприемники, не соответствующие определениям электроприемников первой и второй категорий, относятся к третьей категории. Прекращение их питания не влияет на деятельность объекта, если потребители лишены питания на срок, не превышающий суток.

Как следует из анализа структуры электроэнергетики, устойчивость региональной системы электроэнергетики включает устойчивость: структуры, отдельных подсистем (объектов), функционирования объектов материально-технического обеспечения.

Проблема повышения устойчивости функционирования электроэнергетических систем и надежности электроснабжения потребителей приобретает все большее значение, что связано с рядом причин, основными из которых являются: ослабление механизмов государственного регулирования и безопасности в электроэнергетической отрасли; прогрессирующий износ основных производственных фондов электроэнергетических систем; отсутствие законодательной базы, стимулирующей выполнение мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС); незащищенность малых, по мощности, потребителей, к которым относится население и др.

На сегодня 2/3 территории страны – без электричества, это не только отдаленные и северные районы, но и населенные пункты, отключаемые планомерно, аварийно, грозой, ветром, гололедом и по другим причинам (табл.).

Для снижения износа объектов энергосистемы хотя бы до 50 % требуется свыше 2 трлн руб. и 10 лет работы. Около 25 % мощности энергоблоков и более 40 % неблочного оборудования тепловых электростанций находятся за пределами целесообразности их эксплуатации. Несвоевременная замена мощностей электростанций может привести к технологическим авариям с тяжелыми социально-экономическими последствиями. При этом система энергообеспечения городов и деревень недостаточно устойчива, эффективна и надежна, нуждается в перестройке и реализации мер по повышению устойчивости функционирования.

Объем и характер возможного ущерба для потребителей от отсутствия энергообеспечения зависит также от заблаговременно осуществленных мер по подготовке к функционированию в условиях ЧС.

ЧС на объектах электроэнергетики приносят колоссальные убытки территориям. Таким образом:

– устойчивое развитие и надежное функционирование региональной системы электроэнергетики определяет энергетическую безопасность и является фактором устойчивого социально-экономического развития территорий;

– недостаточное финансирование электроэнергетического комплекса приводит к снижению системной надежности электроснабжения потребителей;

– в составе ЕНЭС России параллельно работают шесть объединенных электроэнергетических систем, при этом для каждой характерны свои особенности, связанные с различным распределением электропотребления объектов (в одном случае преобладает жилищно-коммунальное электропотребление, в другом – промышленное), с высоким износом основных производственных фондов, с дефицитом производства электрической энергии, неравномерностью распределения источников электрической энергии и потребителей;

– активы генерации объединены в семь оптовых генерирующих компаний и 14 территориальных генерирующих компаний, выход из строя которых создает ЧС, связанную с недостаточностью электроэнергетического обеспечения потребителей;

– разделение РАО «ЕЭС России» на отдельные, по направлениям, организации привело к увеличению расходов на содержание электроэнергетики, при оставшейся постоянной ее структуре, и к снижению надежности электроснабжения потребителей, при этом существует ряд регионов, для которых характерна нехватка производимой электроэнергии.

Учитывая, что основными производителями электроэнергии являются крупнейшие электростанции различного назначения (ГЭС, АЭС, ТЭС и др.), выход их отдельных элементов или электростанций в целом приводит к неустойчивой работе самой электроэнергетической системы, при этом отдельные электроэнергетические системы работают изолированно от ЕНЭС России.

Поэтому к основным задачам обеспечения электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации относятся прогнозирование параметров электропотребления объектов, а также количественных и качественных характеристик источников электрической энергии.

Исходя из определения электроэнергетической системы, повышения устойчивости функционирования ее основных элементов можно достичь путем осуществления мероприятий, включающих: оценку возможностей региональной системы электроэнергетики по обеспечению потребителей электроэнергией; обоснование сил и средств для восстановления вышедших из строя ее элементов; резервирование элементов электроэнергетической системы.

Мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов систем электроэнергетики можно разделить на организационные и инженерно-технические [6].

К организационным мероприятиям относят:

- выполнение требований нормативных документов и правил в ходе эксплуатации и при обслуживании объектов электроэнергетической системы;
- работы по планированию обеспечения работы объектов электроэнергетической системы, их реализации и контролю за выполнением;
- оказание методической помощи администрации объекта по прогнозированию возможной обстановки на объектах электроэнергетической системы в случае ЧС, а также в разработке отдельных мероприятий по повышению устойчивости их функционирования и др.

К инженерно-техническим мероприятиям относятся: повышение физической устойчивости сооружений электроэнергетической системы к воздействию поражающих факторов аварий; обеспечение требуемой защиты оборудования электростанций; подготовка электростанций к остановке работы при возникновении режимов, отличающихся от регламентных; создание запасов оборудования для проведения плановых обслуживания и ремонта; подготовка к восстановлению нарушенного производства электрической энергии и др.

Основные инженерно-технические мероприятия могут быть разделены на группы: соблюдение требований нормативных документов при размещении сооружений и элементов энергосистем, контроль за их состоянием; повышение устойчивости функционирования электростанций, линий электропередачи, электрических подстанций, оперативно-диспетчерских пунктов.

Основными мероприятиями являются:

- в режиме повседневной деятельности: прогнозирование ЧС в электроэнергетической системе, реализация мер по ее предупреждению;
- в режиме ЧС: прогнозирование ее развития и последствий, оповещение руководителей и населения о ЧС, проведение мероприятий по защите населения, организация работ по ликвидации ЧС и др.

К числу основных задач при планировании и организации выполнения мероприятий, направленных на повышение устойчивости функционирования электроэнергетических систем, относятся:

- прогнозирование состояния электроснабжения;
- выбор и оценка эффективности мероприятий, направленных на надежное обеспечение потребителей электрической энергией;
- подготовка электроэнергетической системы к работе в режиме ЧС;
- контроль соблюдения требований нормативных документов при проектировании и реконструкции электроэнергетической системы, при этом основное внимание обращается

на размещение объектов электроэнергетической системы вне зон возможных разрушений, зон катастрофического затопления и опасного удаления от объектов со взрыво- и пожароопасной технологией.

Работе органов управления по снижению последствий ЧС предшествуют: обзор катастрофических случаев; анализ параметров, необходимых для оценки ущерба от ЧС; прогнозирование развития ЧС во времени и др. В режиме повседневной деятельности прогнозируется факт возникновения чрезвычайного события, его место, возможные масштабы и др.; при возникновении ЧС прогнозируется ход развития обстановки, эффективность намеченных мер, требуемый состав сил, средств и ресурсов;

- обоснование мероприятий по уменьшению возможных последствий ЧС, которые классифицированы, – группы мероприятий, различающиеся способами решения задачи по уменьшению последствий ЧС и по времени проведения: заблаговременные, проводимые при непосредственной угрозе ЧС, в процессе воздействия ЧС и после нее;

- организация аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий ЧС, которая включает рассмотрение видов работ, организацию собственно их проведения; обоснование состава сил и средств, способов и приемов выполнения видов работ, технологии выполнения работ; меры безопасности при проведении работ.

Несмотря на проведение мероприятий по предупреждению ЧС, основной задачей соответствующих служб является реагирование на ЧС, заведомо предполагая ее возникновение, в том числе на объектах электроэнергетической системы, для чего проводятся соответствующие мероприятия по снижению ущерба и потерь. Однако объекты электроэнергетической системы не имеют резерва дорогостоящего оборудования для быстрого восстановления нарушенного производства электрической энергии, а известные случаи восстановления работоспособности источников электрической энергии связаны с событиями, не переросшими в ЧС, и носившими локальный характер;

- определяющим в обеспечении электроэнергетической безопасности региона является, кроме мониторинга и прогнозирования защищенности и состояния объектов электроэнергетической системы, определение требуемых объемов электроэнергетического обеспечения потребителей.

Особенности применения методов определения электрических нагрузок и методов исследования электроэнергетических систем

Ограниченность традиционных энергоресурсов и рост энергопотребления потребителей формируют угрозу электроэнергетической безопасности территориям, при этом оценка элементов регионального электротехнического комплекса выявила тенденцию его формирования, заключающуюся в переходе от укомплектования отдельными изделиями к построению технических систем, состоящих из элементов, количество которых практически бесконечно: в регионе низковольтной аппаратуры – 10^5 , различных электротехнических изделий – 10^9 .

Однако существующее разделение потребителей по видам деятельности и различные условия работы не позволяют однозначно применять, учитывая множество электротехнических средств в системе, существующие методы определения электрических нагрузок для обоснования параметров электропотребления объектов и состава электроэнергетических систем [17–20].

Расчетная электрическая нагрузка P_p [1] является одним из ключевых параметров оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения потребителей и связана с уровнем электроэнергетической системы.

Начало теории расчета нагрузок в системах электроснабжения ниже шестого уровня связывают с Н.В. Копытовым (1933 г.); в 1925 г. Л.Е. Машкиллейсон использовал упорядоченную диаграмму; И.И. Петров (1932 г.) рассматривал коэффициенты

одновременности, использования, загрузки, спроса, временной; Ю.Л. Мукосеев (1936 г.) обосновал методы определения коэффициента спроса и расчета нагрузок по удельным плотностям.

В 1937 г. Г.М. Каялов предложил метод упорядоченных диаграмм, который лег в основу указаний по расчету электрических нагрузок. В 1934–1937 гг. А.С. Либерман рассмотрел условия совместного питания силовой и осветительной нагрузки, методы распределения энергии на объектах-потребителях.

Внедрение в 1970 г. метода системной оценки электрического хозяйства позволило показать, что ошибки в расчетах достигают 50–200 %, загрузка силовых трансформаторов составляет 25–40 %, распределительных сетей – 20–30 %, коэффициент спроса K_c установленного электрооборудования равен 0,2–0,25. Выделение шести уровней системы электроснабжения показало, что указания, основанные на методе упорядоченных диаграмм, не могут быть применены.

Комплексный метод [1] определения нагрузок основан на одновременном применении нескольких способов расчета и включает выражения по:

– общему годовому электропотреблению A_r или среднегодовой мощности $P_{сг}$, используя коэффициент максимума K_m , с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = K_m \cdot A_r / T = K_m \cdot P_{сг};$$

– удельным годовым расходам электроэнергии с пятого по третий уровни:

$$P_m = K_m \cdot \sum (A_{уд i} \cdot M_i) / T_i,$$

где $A_{уд i}$ – проектируемый, планируемый, прогнозируемый удельный расход ЭЭ; T_i – годовое число часов работы производства;

– среднегодовому K_c и установленной мощности P_y с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = K_c \cdot P_y;$$

– по удельным мощностям нагрузок с шестого по второй уровни:

$$P_m = \gamma \cdot F,$$

где γ – удельная мощность (плотность нагрузки); F – площадь объекта;

– для прогнозирования временных рядов с шестого по четвертый уровни:

$$P_m = f_1(W_j); A = f_2(W_j, t); P_m = f_3(A, t),$$

где W_j – технологические или электрические показатели.

При этом разделяют задачу прогнозирования для следующих временных уровней: оперативный прогноз (до 1 мес.); краткосрочный (от 1 мес. до 1 года); среднесрочный (1–5 лет); долгосрочный (5–15 лет); дальнесрочный (более 15 лет). Прогнозирование традиционным способом, в общем случае, включает:

– построение математической модели по ретроспективным данным об электрических нагрузках;

– получение на базе построенной модели прогнозных значений, при этом для прогноза чаще всего используют корреляционный и многофакторный анализ, анализ временных рядов, экспертные и иные методы.

Определение параметров электропотребления также связано и с проблемами энергосбережения. При этом для населения ключевым фактором является создание соответствующих бытовых условий их проживания. Первоочередные потребности населения –

материальные средства и услуги для удовлетворения минимально необходимых потребностей в жизненно важных видах обеспечения: в воде; в коммунально-бытовых услугах и др. в течение требуемого периода по установленным для рассматриваемых условий нормам.

Возможности системы жизнеобеспечения включают объемы материальных средств и услуг, которые могут быть предоставлены системой в течение всего периода. Для устойчивого функционирования системы необходимо соблюдение следующих принципов: достаточность норм жизнеобеспечения; ориентирование на местные ресурсы с последующим использованием внешних резервов; способность к быстрому восстановлению и др.

Снижение потребностей системы в ресурсах обеспечивают заблаговременной подготовкой к возможным действиям; повышением эффективности проведения работ по инженерному оборудованию районов проживания населения; планированием мероприятий по восстановлению системы.

Несмотря на многочисленность работ по электроснабжению различных объектов, мероприятиям по повышению устойчивости функционирования электроэнергетических систем и электроэнергетического обеспечения потребителей ранее должного внимания не уделялось.

При решении вопросов электроснабжения на низших уровнях системы определяющей величиной является расчетная нагрузка, которая применяется для расчета элементов системы электроснабжения на уровнях. Для их систем источники электрической энергии и параметры электроснабжения выбираются под конкретный электроприемник или объект с учетом технических и иных требований. В то же время доказано наличие устойчивых гиперболических H -распределений, отражающих видовую структуру установленного в электроэнергетических системах, и возможность применения техноценологического [1] подхода для исследования сложных систем. В технических науках такой подход является новым, найденные с его применением закономерности исследуются в областях, связанных с экономикой, лингвистикой, биологией и др. Концепция закономерности описана в работах А.И. Яблонского; математическая постановка – у А.Я. Хинчина, А.Н. Колмогорова, Б.В. Гнеденко, В.М. Золотарева; интерпретация математического моделирования – у Д.И. Хайтуна, Ю.К. Крылова, Б.И. Кудрина, В.В. Фуфаева, В.И. Гнатюка, В.А. Седнева и др. Методы исследования электроэнергетических систем можно разделить на три класса:

– агрегативные – относятся методы прогнозирования и имитационного моделирования. Для прогноза электропотребления используют экстраполяцию временного ряда, которая в условиях сильных изменений объекта приводит к большой ошибке прогноза. Для прогнозирования используют: метод наименьших квадратов, индуктивные методы селекции и самоорганизации; метод прогнозирования по аналогам, требующий больших банков данных; методы многофакторного прогнозирования;

– экономико-математические (оптимизации и исследования операций) распространения для прогнозирования электропотребления не получили. В электроснабжении широкое применение получили вероятностно-статистические модели. Считается, что каждый из множества факторов есть случайная величина, функция распределения непрерывная – для нормального, гамма-, бета-распределений; дискретная – для распределений Пуассона и биномиального, поэтому могут быть найдены математическое ожидание и дисперсия;

– техноценологические. Математический аппарат развивался как часть теории вероятности и статистики и теории множеств. Математический аппарат теории вероятности связывают с характеристическими функциями и безгранично делимым распределением. Хинчин А.Я., А.Н. Колмогоров и Б.В. Гнеденко показали, что существует класс объектов, описываемых гиперболической кривой и не имеющих математического ожидания, дисперсия которых стремится к бесконечности.

Учитывая, что для любой системы характерным является гиперболическое H -распределение (как общая модель), предположено, что технический анализ возможен только в системе, структура которой описывается H -распределением.

Технический анализ базируется на принципах отражения, направленности и повторяемости.

Суть первого заключается в том, что все внутренние и внешние факторы, влияющие на исследуемый параметр (электропотребление), отражены во временном статистическом графике изменения параметра.

Принцип направленности позволяет говорить о наличии причинно-следственной связи направлений изменения графиков и возможности оценивать эти связи в процессе анализа. Главной задачей является определение направлений движения графика параметра и их характеристик для использования в прогнозе и в процессе принятия решений. Существуют три класса трендов: движение вверх, вниз, боковой или бестрендовый (нет движения).

Принцип повторяемости занимается историей событий, произошедших с совокупностью влияющих факторов, отраженных в графике исследуемого параметра.

Разработка научно-методического подхода прогнозирования электропотребления объектов позволит обеспечить поддержку принятия решения на их устойчивое электроснабжение и определять необходимые объемы электропотребления для недопущения возникновения ситуации, связанной с недостаточностью электроэнергетического обеспечения объектов.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено следующее:

– надежное функционирование электроэнергетики определяет электроэнергетическую безопасность территорий, которая является фактором их устойчивого социально-экономического развития;

– уничтожение малых, по мощности, электростанций сделало неустойчивым электроэнергетическое обеспечение ряда территорий, при этом электроэнергетические системы регионов лишились резервных электростанций, снизив собственную надежность и надежность электроснабжения потребителей;

– для ряда регионов по-прежнему характерна нехватка электрической энергии и необходимость рационального использования ее, при этом 2/3 территории страны (10–20 млн чел.) не имеет постоянного электроснабжения. Учитывая, что производителями электрической энергии являются крупнейшие электростанции, выход их элементов или электростанций в целом также приводит к нарушению электроснабжения территорий. При этом последствия аварий всегда связаны с недостаточностью электроэнергетического обеспечения территорий на длительное время;

– электрификация страны ориентирована на создание крупных энергетических мощностей, выход из строя которых приводит к нарушению электроснабжения объектов, а сами электроэнергетические системы характеризуются низким уровнем резервирования генерирующих мощностей и не обеспечивают устойчивое электроэнергетическое обеспечение территорий;

– анализ последствий аварий, связанных с невозможностью восстановить электроснабжение потребителей в короткие сроки, показал необходимость разработки научно-методического аппарата прогнозирования электроэнергетического обеспечения территорий, который будет являться основой поддержки принятия решений на реализацию мероприятий по обеспечению их электроэнергетической безопасности.

Литература

1. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Воронов С.И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография. 3-е изд. М.: Российская академия наук, 2020. 218 с.

2. Седнев В.А., Смуров А.В. Методы оценки и обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций: монография. М.: Академия ГПС МЧС России. 2014. 125 с.

3. Липатов Ю.А. Электроэнергетика России: вчера, сегодня, завтра // Российская Федерация сегодня. 2008. № 12.

4. Топливо-энергетический комплекс России на рубеже веков – состояние, проблемы и перспективы развития: справ.-аналит. сб. М.: ИАЦ «Энергия». 2009. Т. 1. 480 с.

5. Седнев В.А., Смуров А.В. Научно-методический подход поддержки принятия должностными лицами РСЧС решений на реализацию мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2014. № 6. С. 24–43.
6. Седнев В.А., Седнев А.В. Инженерно-технические мероприятия по подготовке электроэнергетических сооружений и систем к устойчивому функционированию // Промышленная энергетика. 2019. № 10. С. 11–18.
7. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Седнев А.В. Об энергетической безопасности страны и научной картине мира // Промышленная энергетика. 2019. № 8. С. 44–48.
8. Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методический подход оценки структуры экономики региона (страны) и обоснования путей повышения ее устойчивости и эффективности развития // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 4 (48). С. 99–109.
9. Седнев В.А. Методология оптимального управления и прогнозирования параметров электропотребления объектов // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2009: труды III Междунар. конф. / общая ред.: С.Н. Васильев, А.Д. Цвиркун. М.: Учреждение Российской академии наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. С. 250–268.
10. Седнев В.А. Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов // Электрика. 2009. № 7. С. 43–47.
11. Седнев В.А. Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов // Электрика. 2009. № 8. С. 38–46.
12. Седнев В.А. Техноценологические методы построения и управления развитием многоуровневых систем: монография. 2-е изд., перераб. М., 2019. 205 с.
13. Седнев В.А. Теоретические основы построения и развития электроэнергетического обеспечения объектов // Электрика. 2010. № 3. С. 39–45.
14. Седнев В.А. Теоретические основы построения и развития электроэнергетического обеспечения объектов // Электрика. 2010. № 4. С. 35–40.
15. Седнев В.А. Техноценологическая теория: отдельные выводы и соотношения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 4 (89). С. 101–108.
16. Седнев В.А. Вопросы теории и практики использования техноценологических моделей // Ценологические исследования: материалы двух конференций. М., 2005. № 28. С. 488–492.
17. Седнев В.А. Ценологические основы электроэнергетического жизнеобеспечения войск // Электрика. 2006. № 6. С. 40–43.
18. Седнев В.А. Научно-методический подход обоснования и прогнозирования потребностей объектов в электроэнергетическом обеспечении // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: науч.-техн. сб. результатов научных исследований проф.-препод. состава, соискателей, докторантов и адъюнктов учеб.-науч. комплекса гражданской защиты Академии ГПС МЧС России. М., 2011. С. 71–93.
19. Седнев В.А. Теоретические основы обеспечения электроэнергетической безопасности войсковых формирований: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2019. 236 с.
20. Седнев В.А. Применение техноценологического подхода для обеспечения электроэнергетической безопасности территорий // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 2 (66). С. 148–157.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.841.4

351.777.613

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В СИСТЕМЕ УЧЕТА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИХ НАКОПЛЕНИИ И ПЕРЕВОЗКЕ

**Л.А. Королева, доктор технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**А.Г. Хайдаров, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)**

Ситуация с отходами в Российской Федерации является неблагоприятной. Как перспективное направление рассматривается вывоз мусора из крупных городов на железнодорожном транспорте, однако вопросы обеспечения пожарной безопасности остаются нерешенными. Проведен сбор и анализ данных по морфологическому составу отходов, начиная с 20-х гг. XX в. Произведен расчет значений химической эксергии и теплоты сгорания твердых коммунальных отходов и их отдельных фракций. Определены общие тенденции изменения эксергии отходов. Проведен анализ и установлены закономерности изменения эксергии и теплоты сгорания твердых коммунальных отходов в зависимости от компонентного состава, зольности, содержания летучих веществ и фиксированного углерода. Приведена классификация горючих компонентов отходов по эксергетическому показателю. Определены перспективы построения системы учета твердых коммунальных отходов применительно к железнодорожному транспорту. Проведенные исследования расширяют область применения эксергетического метода.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, пожарная безопасность, железнодорожный транспорт, эксергетический показатель, эксергия, теплота сгорания

FIRE HAZARD ASSESSMENT IN THE SYSTEM OF ACCOUNTING FOR SOLID MUNICIPAL WASTE DURING THEIR ACCUMULATION AND TRANSPORTATION

L.A. Koroleva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.
A.G. Haydarov. Saint-Petersburg state institute of technology (technical university)

The situation with waste in the Russian Federation is unfavorable. As a promising direction, garbage removal from large cities by rail is considered, but the issues of fire safety remain unresolved. The collection and analysis of data on the morphological composition of waste was carried out, starting from the 20s of the 20th century. Calculated values of chemical exergy and heat of combustion of solid municipal waste and their individual fractions. General tendencies of waste exergy change are determined. The analysis is carried out and the regularities of changes in exergy and heat of combustion of solid municipal waste are established depending on the component

composition, ash content, content of volatile substances and fixed carbon. The classification of combustible components of waste by the exergy indicator is given. The prospects for building a solid municipal waste accounting system in relation to railway transport have been determined. The research carried out expands the scope of the exergy method.

Keywords: solid municipal waste, fire safety, railway transport, exergy index, exergy, heat of combustion

Введение

В мире ежегодно увеличивается объем твердых коммунальных отходов (ТКО), изменяется их морфологический состав, что обеспечивается быстрыми темпами урбанизации, ростом объемов потребления товаров и услуг, меняющимися пищевыми привычками, образом жизни и другими причинами [1–4]. Вопросы обращения с отходами «вливают на многие сферы социальной и экономической жизни», от их решения зависит качество жизни населения [5]. Отмечается, что проблемы сбора, транспортировки, утилизации и захоронения ТКО требуют дальнейшего рассмотрения во всех странах мирового сообщества [1, 5–9].

Анализ, проведенный Счетной палатой Российской Федерации, показал, что ситуация с отходами «остается неблагоприятной» [5]. Близка к критической обстановка с официальными полигонами и свалками, на них вывозится более 90 % ТКО. Уровень переработки отходов не превышает 7 %. Вопросы, связанные с управлением отходами, остаются актуальными как в Российской Федерации, так и за рубежом [1–9].

Как одно из направлений уменьшения количества отходов на урбанизированных территориях рассматривается вывоз мусора для захоронения на отдаленных полигонах или его утилизации. Перспективным является использование железнодорожного транспорта как наиболее безопасного по статистическим критериям [10].

Решение вопросов по захоронению отходов на полигонах, удаленных от мест городской застройки на значительное расстояние, определяет необходимость проработки новых схем перевозки ТКО. Преимущества железнодорожного транспорта по сравнению с автомобильным определяются его более высокой энергетической эффективностью, безопасностью, надежностью, пропускной способностью, меньшим воздействием на окружающую среду [10–12].

Наибольший экономический эффект достигается при использовании комбинированной схемы с использованием автомобильного и железнодорожного транспорта [13, 14]. Это требует внесения корректив в действующую систему сбора и транспортировки ТКО. Например, строительство мусороперегрузочных станций; создание условий для формирования железнодорожных составов и проведения погрузочно-разгрузочных работ. Кроме того, практическое применение железнодорожного транспорта для перемещения ТКО сдерживается следующими обстоятельствами:

- отсутствуют характеристики ТКО как груза железнодорожного транспорта с учетом их специфических свойств;
- нормативные требования к перевозке требуют проработки;
- существует необходимость в определении порядка транспортировки отходов, разработке дифференцированных требований к перевозке в зависимости от вида и класса опасности отходов, маркировке и т.д.;
- требуют решения вопросы обеспечения экологической и пожарной безопасности [10, 11].

Для эффективного осуществления процессов управления отходами необходимо создание «единой системы учета ТКО» [5].

Цель настоящей работы – проведение расчетно-экспериментальных исследований, позволяющих обосновать применение эксергетического подхода для прогностической оценки пожарной опасности ТКО при их перевозке и захоронении.

Методы

Как один из критериев, характеризующий энергетическую эффективность переработки, экологическую и пожарную опасность ТКО, может быть рассмотрен эксергетический показатель, базирующийся на понятии эксергии [15].

Эксергетический метод получил применение для исследования транспортных систем в различных странах [16–18], оценки их экологической опасности [19], сравнительного анализа стратегий управления отходами [20]. Однако вопросы пожарной безопасности при этом не затрагивались.

Авторами предлагается следующая классификация веществ и материалов по эксергетическому показателю $P_э$ (рис. 1).

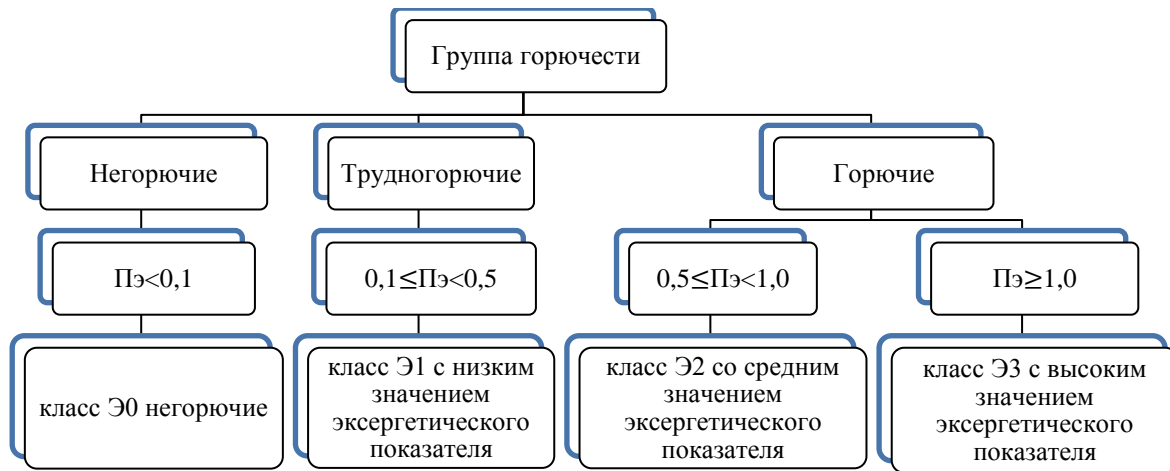


Рис. 1. Классификация грузов железнодорожного транспорта по эксергетическому показателю

Расчет эксергетического показателя осуществляется по формуле:

$$P_э = \frac{e}{30},$$

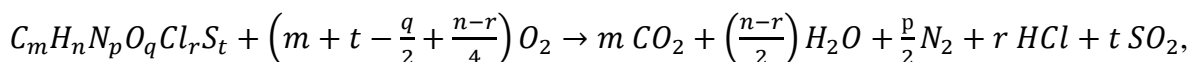
где 30 – минимальная удельная эксергия груза, относящегося к классу Э3, МДж/кг.

Для обоснования возможности и целесообразности использования эксергетического показателя как уточняющего параметра для оценки пожарной опасности отходов были проведены следующие расчетно-экспериментальные исследования.

1. Проведен сбор и анализ данных о морфологическом составе отходов, начиная с 20-х гг. XX в.

2. Произведен расчет химической эксергии $e_{хим}^{ТКО}$ (кДж/кг) и высшей теплоты сгорания $Q_B^{ТКО}$ (МДж/кг) ТКО и их отдельных фракций по методике, предложенной в работе [21].

В расчетах исходили из предположения, что 1 кг ТКО, имеющих общую формулу $C_mH_nN_pO_qCl_rS_t$, подвергается полному сгоранию до получения CO_2 , H_2O , N_2 , HCl , SO_2 по реакции:



где m, n, p, q, r, t – количество атомов углерода С, водорода Н, азота N, кислорода О, хлора Cl и серы S соответственно.

Параметры окружающей среды: температура $T_0=298,15$ К; давление $P_0=101,325$ кПа.

$$e_{хим}^{ТКО} = 376,461 C + 791,018 H - 57,819 O + 45,473 N - 1536,242 S + 100,981 Cl,$$

где C, H, O, N, S, Cl – процентное содержание атомов углерода, водорода, кислорода, азота, серы и хлора, %.

$$Q_B^{TKO} = 0,364C + 0,863H - 0,075O + 0,028N - 1,633S + 0,062Cl.$$

Низшую теплоту сгорания рассчитывали по формуле:

$$Q_H^{TKO} = Q_B^{TKO} - 25,1(9H + W),$$

где W – содержание влаги в горючем веществе, %.

Исследованы закономерности изменения эксергии в зависимости от элементного состава, зольности A (%), содержания летучих веществ V (%), и фиксированного углерода FC (%). Показатели A, V, FC определены по данным [22, 23].

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены сведения по морфологическому составу ТКО по городам Москве и Санкт-Петербургу (Ленинграду). Несовпадение итоговых значений со 100 % свидетельствует о неточности собранной в те годы статистической информации.

Таблица 1. Сведения по составу ТКО (по годам)

Год	1933		1953		1963		1970		1986		2010		2015	
	Москва	Ленинград	Москва	Ленинград	Москва	Ленинград	Москва	Ленинград	Москва	Ленинград	Москва	Санкт-Петербург	Москва	Санкт-Петербург
Пищевые отходы	22,2	14,0	31,3	18,2	36,8	31,7	33,1	28,1	30,6	23,3	18,0	27,0	24,7	27,4
Бумага и картон	16,7	9,0	16,4	13,2	36,4	24,3	34,0	30,0	37,7	22,5	19,7	21,0	24,3	21,5
Металлы	1,3	0,8	1,6	4,9	3,4	5,2	4,80	4,7	3,3	3,0	1,8	4,0	2,0	4,6
Стекло	1,6	2,6	1,4	5,1	3,7	8,8	4,6	7,4	3,7	6,8	16,8	10,0	11,4	8,9
Полимерные материалы	–	–	–	–	0,8	1,0	1,6	0,8	–	–	14,2	12,0	16,2	15,2
Текстиль	4,3	4,3	1,0	4,4	3,4	3,5	4,6	4,4	5,4	7,7	1,6	3,5	3,6	4,3
Кожа, резина		0,5	0,6	0,8	1,6	1,3	2,2	1,6	0,5	4,2	0,8	1,8	0,7	–
Кости	2,3	2,2	0,5	4,1	1,3	3,7	1,1	2,1	–	2,3	–	0,4	–	–
Дерево	7,0	8,2	1,2	4,4	2,0	2,0	2,4	3,9	1,9	5,2	0,9	5,0	1,7	2,5
Уголь, шлаки	–	1,7	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Камни	5,1	11,0	6,00	6,9	0,9	1,8	2,9	2,2	0,8	3,6	1,0	2,3	0,4	–
Отсев	39,0	38,5	40,0	36,5	6,30	15,4	7,9	11,8	11,1	16,1	10,4	10,0	7,3	–
Композиционная упаковка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12,1		2,5	–
Прочие материалы	–	–	–	1,6	3,40	1,3	0,8	3,0	5,40	5,3	2,70	3,0	5,2	15,6
Итого	99,5	92,80	100,0	100,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Пример исходных данных по составу и результаты расчета эксергии для фракции пластмасс приведены в табл. 2.

Таблица 2. Исходные данные и результаты расчета эксергии пластмасс

Фракция	Состав фракции	Содержание элементов, %						Эксергия, МДж/кг
		C	H	O	N	S	Cl	
Пластмассы	Полистирол	86,1	6,3	1,9	5,7	–	–	37,5
	Полиэтилен высокого давления	85,0	11,2	2,6	0,2	–	–	41,1
	Полиэтилен низкого давления	85,4	12,7	1,9	0,05	0,14	–	41,9
	Поливинилхлорид	38,3	4,5	–	0,2	0,61	56,4	22,7
	Полиэтилентетрафталат	63,0	4,3	32,7	0,04	–	–	25,2
	Полиэтилен	85,5	14,3	–	0,2	0,07	–	43,3
	Полипропилен	85,4	12,5	1,9	0,2	–	–	41,9
	Пластиковая упаковка	75,8	9,8	12,0	0,4	0,03	2,08	35,7
Другие пластмассы	84,9	9,6	01,0	3,4	0,03	1,1	39,7	

Основываясь на данных по содержанию фракций в составе ТКО по отдельным городам в различные периоды времени, были вычислены значения химической эксергии. Определено усредненное процентное соотношение величин эксергии для отдельных фракций в общей массе ТКО в крупных городах России (рис. 2).

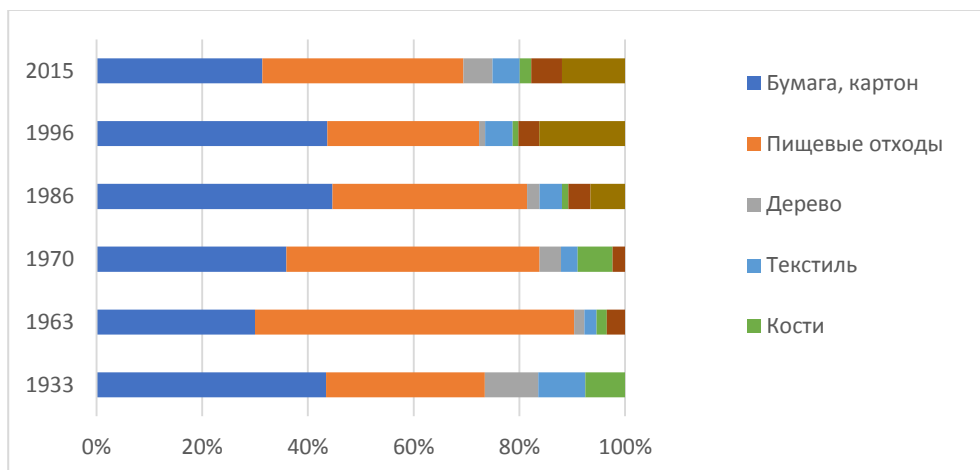


Рис. 2. Процентное соотношение значений эксергии для фракций ТКО по годам для России

Наблюдается прямая пропорциональная зависимость теплоты сгорания от эксергии, что представлено на рис. 3.

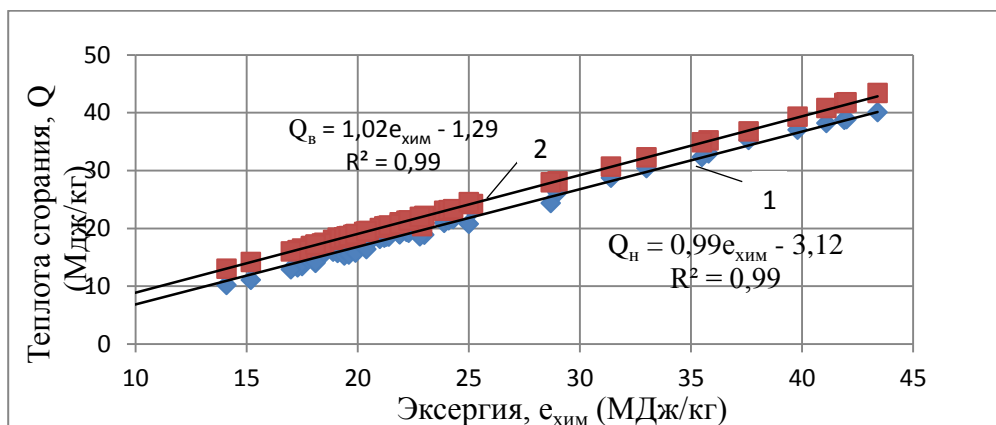


Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания от $e_{хим}^{ТКО}$:
1 – для $Q_H^{ТКО}$; 2 – для $Q_B^{ТКО}$

Сравнительная характеристика компонентов ТКО по содержанию летучих веществ и химической эксергии представлена на рис. 4.

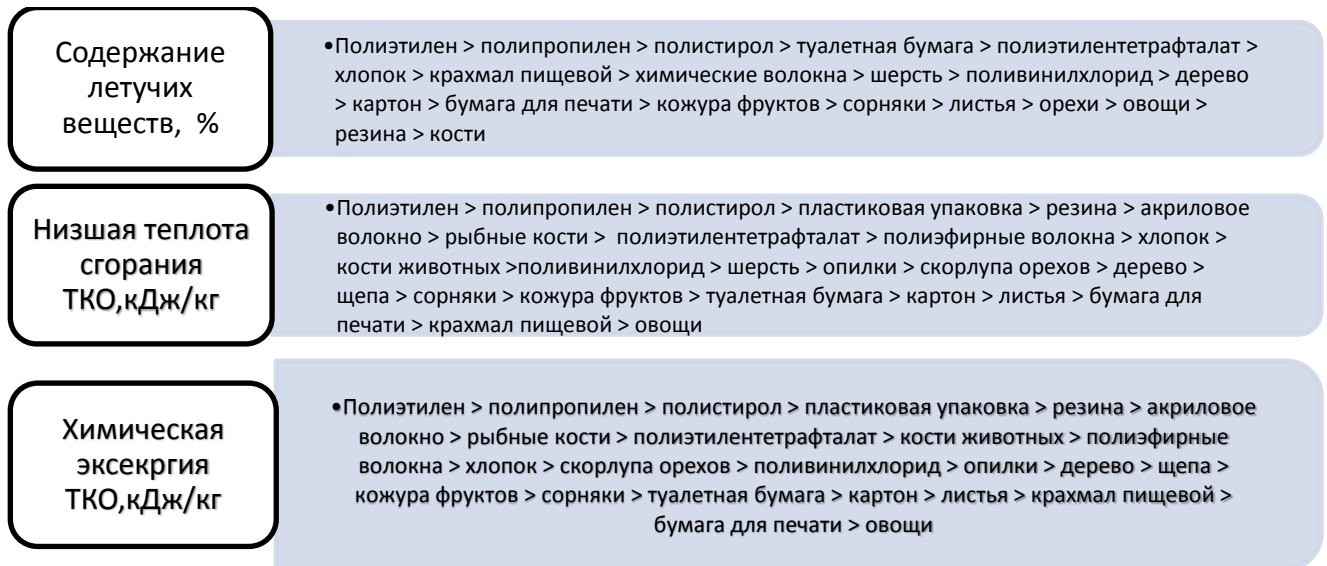


Рис. 4. Сравнительная характеристика компонентов ТКО по содержанию летучих веществ, низшей теплоте сгорания и химической эксергии

Проведенные исследования показали:

1. Общая тенденция современности – увеличение эксергии ТКО, что связано с ростом количества полимерных материалов, обладающих ее наибольшими значениями. Существенный вклад в величину эксергии вносят пищевые отходы, бумага и картон благодаря своему количеству. Металлическая фракция, как правило, выбирается на стадии контейнерной площадки, металлы имеют низкое значение эксергии, поэтому их при расчете не учитывали.

2. Анализ зависимостей эксергии и теплоты сгорания от компонентного состава, A , V , FC позволил выявить следующие закономерности. К росту указанных характеристик приводит увеличение процентного содержания $(C+H)$; возрастание содержания летучих веществ (V) ; снижение зольности (A) . Уменьшение эксергии и теплоты сгорания наблюдается при увеличении фиксированного углерода C , содержания O и $(N+S+Cl)$.

3. По эксергетическому показателю горючие компоненты отходов можно классифицировать следующим образом:

– шерсть и химические волокна, бумага, картон, сухие листья, крахмал, сухие листья, сухая трава, сушеные овощи, кожура плодов, крахмал – класс Э2 (горючие вещества и материалы со средним значением P_3);

– резины и пластмассы – класс Э3 (горючие вещества и материалы с высоким значением P_3).

4. Эксергетический показатель целесообразно использовать при создании единой системы учета ТКО. Применительно к железнодорожному транспорту это позволит не только предлагать наилучшие логистические решения по хранению и перемещению мусора, но и осуществлять своевременные меры по обеспечению пожарной и экологической безопасности.

5. Построение единой системы учета ТКО определяет необходимость использования цифровых решений. При реализации эксергетического подхода необходимо учесть всю информацию, провести необходимые расчеты, получить корректные цифры. Собрать и представить в едином формате данные об объемах, морфологическом составе отходов, их температуре, давлении, влажности, концентрации взрывопожароопасных веществ, времени осуществления технологического или перевозочного процесса, уровне заполнения

подвижного состава и др. Последующая визуализация данных необходима для упрощения и ускорения восприятия информации и принятия обоснованных решений.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод об обоснованности использования эксергетического подхода для прогностической оценки пожарной опасности ТКО при их перевозке и захоронении. При реализации цифровых решений в систему учета ТКО целесообразно ввести эксергетический показатель.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание системы интеллектуального анализа данных о ТКО, предполагающей сбор и оценку информации с последующей ее визуализацией для принятия обоснованных решений в области управления отходами. Применительно к железнодорожному транспорту необходимо учитывать объем, данные по морфологии ТКО, уровень заполнения и угол наклона подвижного состава, температуру, влажность отходов, концентрацию взрывопожароопасных газов и другие параметры.

Литература

1. Kumar A., Agrawal A. Recent trends in solid waste management status, challenges, and potential for the future Indian cities – A review // *Current Research in Environmental Sustainability*. 2020. Vol. 2. P. 10001.
2. Costa I.M., Ferreira Diasc M. Evolution on the solid urban waste management in Brazil: A portrait of the Northeast Region // *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. P. 878–884.
3. Liu C., Mao C., Bunditsakulchai P., Sasaki S., Hotta Y. Food waste in Bangkok: Current situation, trends and key challenges // *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. Vol. 157. P. 104779.
4. Состояние и перспективы обращения с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге / Е.Г. Сёмин [и др.] // *Биосфера*. 2014. Т. 6. № 1. С. 29–35.
5. Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами: отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия // *Бюллетень Счетной палаты Рос. Федерации*. 2020. № 9 (274). С. 6–43.
6. Bovea M.D., Ibáñez-Forés V., Gallardo A., Colomer-Mendoza F.J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study // *Waste Management*. Vol. 30. Iss. 11. P. 2383–2395.
7. Klavenieks K., Dzene K.P., Blumberga D. Optimal strategies for municipal solid waste treatment – environmental and socio-economic criteria assessment // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 128. P. 512–519.
8. Bartolacci F., Paolini A., Quaranta A.G., Soverchia M. The relationship between good environmental practices and financial performance: Evidence from Italian waste management companies // *Sustainable Production and Consumption*. 2018. Vol. 14. P. 129–135.
9. Латыпова М.В. Анализ развития системы обращения с твердыми коммунальными отходами в России: проблемы и перспективы с учетом европейского опыта // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018. Т. 14. № 4. С. 741–758. DOI: 10.24891/ni.14.4.741.
10. Медведев В.И. Система безопасности транспортирования опасных отходов на железнодорожном транспорте // *Известия Транссиба*. 2013. № 1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-bezopasnosti-transportirovaniya-opasnyh-othodov-na-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения: 25.09.2020).
11. Балалаев А.Н., Стародворская А.Н. Подвижной состав для перевозки твердых коммунальных отходов // *Наука и образование транспорту*. 2018. № 1. С. 7–10.
12. Казанцев П.Ю. Логистика перевозки ТКО. М.: ПАО Центрресурс. URL: <https://docplayer.ru/89451386-Logistika-perevozki-tko.html> (дата обращения: 25.09.2020).

13. Гонопольский А.М., Тимофеева А.А. Схема транспортировки твердых коммунальных отходов на удаленные объекты переработки // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 36–41. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-3-36-41.
14. Балалаев А.Н., Стародворская А.Н., Шмойлов А.Н. Оценка эффективности перевозки твердых коммунальных отходов железнодорожным транспортом // Вестник транспорта Поволжья. 2019. № 1 (73). С. 7–13.
15. Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Ивахнюк Г.К. Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок на железнодорожном транспорте // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 10. С. 26–37.
16. Federici M., Ulgiati S., Basosi R. A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems // Energy. 2008. Vol. 33. Iss. 5. P. 760–775.
17. Zhang M., G. Li G., Mu H.L., Ning Y.D. Energy and exergy efficiencies in the Chinese transportation sector, 1980–2009 // Energy. 2011. Vol. 36. Iss. 2. pp. 770–776. DOI: 10.1016/j.energy.2010.12.044.
18. Byers E.A., Gasparatos A., Serrenho A.C. A framework for the exergy analysis of future transport pathways: Application for the United Kingdom transport system 2010–2050 // Energy. 2015. Vol. 88. P. 849–862.
19. Боровков Ю.Н., Воронцова В.М. Возможности использования эксергетического метода в экологическом менеджменте // Научный журнал. 2018. № 4 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-eksergeticheskogo-metoda-v-ekologicheskom-menedzhmente> (дата обращения: 08.09.2020).
20. Laner D., Rechberger H., De Soete W., De Meester S., Astrup T.F. Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment // Waste Management. 2015. Vol. 46. P. 653–667.
21. Eboh F.C., Ahlström P., Richards T. Estimating the specific chemical exergy of municipal solid waste // Energy Science & Engineering. 2016. Vol. 4. Iss. 3. P. 217–231.
22. Zhou H. Meng A., Long Y., Li Q., Zhang Y. Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics // Journal of the Air & Waste Management Association. 2014. Vol. 64 (5). P. 597–616.
23. ТБО: взгляд изнутри. URL: <https://clean-future.ru/info-tbo-vzgljad-iznutri.html> (дата обращения: 05.07.2020).

УДК 537.31

ПРИЧИНА ПОЖАРА – АВАРИЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА СЛАБОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКАХ, ВЫЗВАННЫЕ НАВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

А.А. Аникеев, кандидат технических наук;

П.А. Клейманов;

В.Е. Марков.

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Электротехническая причина пожара является наиболее распространенной причиной возникновения пожаров в жилых, торговых и социальных помещениях, где применяется электрооборудование [1]. В данной статье рассматривается возникновение пожара вследствие протекания аварийных процессов на слабotoчных электрических проводниках (кабелях

телевидения, связи), связанных с появлением разности потенциалов между землей и проводником, вызванного наведенным напряжением. Установлен очаг пожара при применении бесконтактного метода исследования при помощи пирометра «CENTER-350». Проанализирована и определена причина возникновения пожара при использовании металлографического исследования изъятых медных жил с места расположения очага пожара.

Ключевые слова: наводящее напряжение, устройства заземления, электрический ток, причина пожара, токопроводящие линии, короткое замыкание, оплавление медных жил

THE CAUSE OF THE FIRE – EMERGENCY PROCESSES ON LOW-CURRENT ELECTRICAL CONDUCTORS CAUSED BY INDUCED VOLTAGE

A.A. Anikeev; P.A. Kleymanov; V.E. Markov.

Far East fire and rescue academy – a branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The electrical cause of fire is the most common cause of fires in residential, commercial and social premises where electrical equipment is used [1]. In this article, we will consider the occurrence of a fire due to the occurrence of emergency processes on low-current electrical conductors (television, communication cables) associated with the appearance of a potential difference between the earth and the conductor caused by the induced voltage. We will establish the source of the fire by applying a non-contact method of investigation using a pyrometer «CENTER-350» and analyze and determine the cause of the fire using a metallographic study of the removed copper cores from the location of the fire source.

Keywords: inducing voltage, grounding devices, electric current, cause of fire, conductive lines, short circuit, melting copper cores

Введение

Электротехнические причины возникновения пожаров в России и в мире являются одними из наиболее распространенных причин. Поэтому необходимо знать основные и разбираться с более редкими причинами возникновения пожаров, связанными с электричеством.

В настоящее время принято считать, что пожарную опасность представляет любая электрическая цепь, в которой в течение определенного времени выделяется в виде теплоты мощность более 12–15 Вт.

Возникновение пожаров вследствие загорания горючих материалов как самих электрических проводников, так и различного электрического оборудования в целом может быть вызвано разными причинами.

В данной статье авторы предлагают разобрать и проанализировать достаточно редкую на сегодняшний день причину возникновения пожара – аварийные процессы на слаботочных электрических проводниках, вызванные наведенным напряжением (электромагнитными полями).

Источниками электромагнитных полей являются: электрооборудование электроэнергетических систем (электрические машины, электромагнитные аппараты постоянного и переменного тока, кабели и т.д.), которые распространяются в пространстве и воздействуют на работу высокочувствительных элементов автоматики, линий связи, вычислительной техники, а также людей [2].

Воздействие электромагнитных полей на металлические предметы приводит к возникновению так называемых «наведенных напряжений».

Наведенное напряжение может возникать в домах с электрическими сетями напряжением 220 В. Так называемая «наводка» появляется в кабеле, проложенном рядом с проводом, по которому протекает ток, когда при отключенном питании на диодных

лампочках появляется еле заметное свечение. Происходит это из-за того, что рядом с проводом, питающим лампы, проложен проводник с фазной жилой [3]. В этом месте и возникает небольшое «наведенное напряжение» («наводка»), величины которой достаточно для «подсветки» светодиодов.

Так в чем же заключается пожарная опасность «наведенного напряжения»?

Отсутствие или присутствие в токопроводящих линиях потенциала, наведенного переменным током или статическим электричеством, как правило, невозможно предсказать, поскольку на данное явление могут не среагировать штатные приборы защиты электрических сетей. При возникновении аварийных процессов в электрическом оборудовании в обычных условиях в электросети сработают автоматические устройства защиты, и произойдет отключение цепи. В случае «наведенного напряжения» штатные автоматические устройства защиты электрических сетей могут не сработать, что приведет к аварийным режимам работы в токопроводящих линиях (короткому замыканию, большим переходным сопротивлениям, перегрузке).

Объект пожара и методы его исследования

В данном разделе рассмотрим методику исследования на примере пожара, произошедшего в одной из городских больниц Приморского края. Установим очаг пожара и возможную причину его возникновения.

В соответствии с существующей методикой [4, 5], установление очага пожара производится на основании исследования состояния конструкций предметов и материалов после пожара, характера их поражения огнем с учетом физических закономерностей протекания тепловых процессов в зоне горения и возможных путей распространения огня.

В приведенном примере объектом пожара явилось отдельно стоящее здание больничного стационара городской больницы. Строение 1928 г. постройки, двухэтажное с цокольным этажом, сложной архитектурной формы продольных и поперечных пролетов («Ж»-образной формы), вытянуто с востока на запад. Несущие стены здания шлаколитые, перекрытия деревянные, отопление водяное центральное, освещение электрическое. Крыша здания сложная многощипцовая, стропила деревянные, кровля выполнена из комбинированных материалов, по первоначальному слою старого листового железа положен волнистый шифер.

В результате пожара конструкции здания получены значительные термические поражения в области крыши в средней ее части. Пожаром уничтожена кровля и деревянные стропила, обуглено чердачное помещение, повреждено деревянное потолочное перекрытие второго этажа, местами с обрушением конструкций. Площадь пожара составила порядка 300 м².

При исследовании пожара на стадии визуального осмотра места происшествия установлена область максимальных термических поражений.

В целом максимальные термические поражения крыши здания установлены в области центрального крыла в южной его половине, над рентген-кабинетом и лестничным маршем главного входа. В данной области, помимо полного обрушения крыши и уничтожения всех имевшихся деревянных конструкций, на бетонных поверхностях выявлена белесая область полного выгорания копоти от воздействия высокой температуры пожара. Данный признак указывает на преобладание термических поражений и максимальный прогрев капитальных конструкций, возникших либо вследствие наиболее интенсивного, либо более длительного горения в данной области [5]. При этом, судя по полному выгоранию деревянных конструкций и отсутствию дополнительных обугленных остатков, в южной половине центрального крыла здания какого-либо преобладания горючей нагрузки (значительного сосредоточения горючих материалов) не выявлено. Из вышеизложенного следует, что преобладание термических поражений в указанной области свидетельствует о более длительном прогреве в данном месте. Следовательно, горение в данной области началось раньше [6].

В ходе проведения динамического осмотра, при разборе остатков конструкции крыши и пожарного мусора в области максимальных термических поражений, над западной частью рентген-кабинета в диаметре до 0,5 м обнаружены достаточно толстые обгоревшие слаботочные экранированные проводники – телефонный и коаксиальный кабеля, медные жилы которых локально перегорели, концы значительно оплавилась и имели множественные признаки протекания аварийных режимов работы электрооборудования, характерных высокотемпературной электрической дуги короткого замыкания и значительной токовой перегрузки [7]. Указанные кабеля проходили в чердачном помещении здания через всю крышу под кровлей с западного в восточное крыло. В области центрального крыла здания ввиду особенностей конструкции кровли указанные кабеля проходили в непосредственной близости друг от друга, на некоторых участках могли касаться друг друга. При этом коаксиальный кабель телевидения проходил транзитом с территории примыкающего городского парка через чердак стационара на соседнее здание городской поликлиники. На обгоревшей крыше, в очаговой области пожара, был обнаружен многопроволочный медный проводник с алюминиевой обмоткой в черной круглой изоляции (телефонный кабель связи). Также был обнаружен однопроволочный медный экранированный кабель со стальной несущей жилой в черной круглой изоляции (коаксиальный телевизионный кабель). На кабелях имелись множественные локальные округлые и каплевидные оплавления токоведущих медных жил, сопряженные с полным расплавлением металла и спайкой проволок. На примыкающих к оплавленным участкам жилах наблюдалась шероховатость поверхности (поверхностное оплавление), при этом на медной жиле коаксиального кабеля данные признаки наблюдались на большем удалении от места перегорания. На чердаке также имелись остатки старой не действующей линии электрической проводки освещения, проложенной с момента постройки здания.

В ходе проведения осмотра места пожара на участке крыши над центральным крылом здания в южной его части, в области выгорания копоти, проводилась фиксация остаточных температурных полей нагрева на горизонтальных капитальных несущих конструкциях стен здания.

Инструментальный метод исследования

Суть инструментального исследования заключается в том, что конструктивные элементы зданий и сооружений, обладающие малой теплопроводностью и достаточно высокой теплоемкостью (кирпичные и бетонные стены, перекрытия и т.п.), прогреваясь в ходе пожара, по окончании его отдают тепло в окружающую среду постепенно. В зонах, где горение было достаточно длительным, стена успевает прогреться лучше – на большую глубину и до больших температур. Температура стены в различных ее зонах может быть неодинакова, причем эффект неравномерного нагрева конструкции иногда столь хорошо выражен, что ощущается касанием рукой [5].

Объектом исследования явились несущие капитальные конструкции стен в области крыши в центральном крыле здания. Измерения проводились бесконтактным методом при помощи пирометра «CENTER-350». Фиксация проводилась путем последовательного измерения температур в отдельных точках исследуемых конструкций.

На месте пожара намечались конструкции для обследования; составлялся план исследуемой зоны пожара в масштабе; на конструкциях намечались точки, в которых производились измерения. В намеченных точках проводились измерения результата.

Сравнительная оценка степени прогрева конструкций проводилась по величине значения пирометра «CENTER-350», температуре в градусах Цельсия (°C). Результаты измерения были нанесены на план исследуемой зоны, после чего на плане вычерчивались зоны с одинаковыми значениями и выявлялась (-лись) зона (зоны) с экстремально высоким значением.

Величина показателей пирометра «CENTER-350» прямо пропорциональна степени термического поражения конструкций. Чем выше показания прибора, тем сильнее термическое воздействие на конструкцию. Зоны с экстремально высокими значениями температур в градусах Цельсия (°C) соответствуют зонам наибольшего прогрева конструкций здания.

Несущие капитальные конструкции стен на участке крыши над центральным крылом здания в южной его части в области рентген-кабинета и центральной лестницы (вид сверху) представлены на рис. 1.

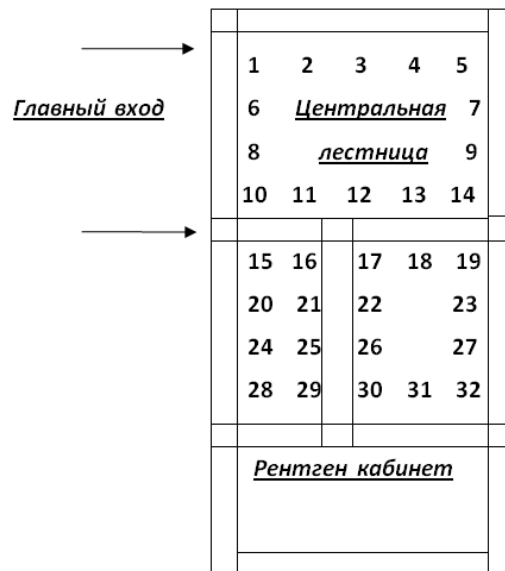


Рис. 1. Схема расположения точек замера

Все значения измерений занесены в таблицу.

Таблица. Результаты измерений температуры

Номер точки замера	Температура °C	Номер точки замера	Температура °C
	19	17	46
2	25	18	45
3	28	19	40
4	22	20	37
5	19	21	42
6	24	22	45
7	26	23	37
8	29	24	36
9	32	25	40
10	40	26	42
11	45	27	35
12	46	28	22
13	43	29	26
14	38	30	32
15	35	31	23
16	44	32	20

Как видно из таблицы, зона с высокими значениями температур отмечена в точках с номерами 11, 12, 13, 16, 17, 18, 22.

Проведенным инструментальным исследованием установлена область наибольших температур, где значения прибора составили 43–46 °С на бетонной поверхности капитальных конструкций стен в области крыши, расположенных над западной частью помещения рентген-кабинета. При последовательном удалении от данной области (до 1 м) значения температур уменьшались. Находящиеся в непосредственной близости конструкции имели температуру от 28 до 40 °С, более удаленные и другие капитальные конструкции здания в области горения имели температуру до 19 °С и мокрую поверхность.

Таким образом, можно сделать вывод, что наибольшему температурному воздействию подверглись конструкции здания в области крыши над центральным крылом городской больницы, над западной частью помещения рентген-кабинета.

Тепловые разрушения материалов и конструкций на пожаре происходят неравномерно и в основном обусловлены продолжительностью теплового воздействия. В очагах пожара, как правило, горение бывает более длительным, чем в других местах, поэтому места с максимальными термическими поражениями связывают с очагами пожаров [5]. В данном случае очаг пожара устанавливается по месту расположения максимальных термических поражений.

Из объяснений гр. М., дежурной медсестры приемного отделения горбольницы, стало известно, что, находясь на дежурстве, утром, около 06 ч 00 мин, по телефону от коллег по работе она узнала о признаках горения здания больницы в области крыши. Вызвав пожарную охрану, вышла на улицу и увидела, что из-под кровли здания над центральным входом, ближе к рентген-кабинету, идет дым, пламенного горения еще не было видно. Далее подъехали пожарные.

Из объяснений дежурной медсестры отделения травматологии гр. В. стало известно, что, находясь на дежурстве в травматологическом отделении горбольницы, утром, около 05 ч 50 мин, проходя по коридору второго этажа мимо кабинета ординаторской (восточное крыло здания), посмотрела в окно и увидела, что из-под крыши здания больницы над рентген-кабинетом идет дым. Сообщив о случившемся руководству, занималась эвакуацией пациентов.

Таким образом, из анализа термических поражений, проведенного визуальным и инструментальными методами, а также из показаний первых очевидцев пожара можно заключить, что очаг пожара располагался в чердачном помещении центрального крыла здания над западной частью рентген-кабинета.

В ходе тщательного изучения обстоятельств по факту пожара установлено, что основные рассматриваемые версии возникновения пожара от источника малой мощности в виде тлеющего табачного изделия и от источника открытого огня (пламя спички зажигалки, факел и т.п. источник) экспертом ФГБУ «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» (ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ) по Приморскому краю были отклонены. Осталось на рассмотрении наиболее вероятная версия – от тепловых проявлений пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования (короткое замыкание, перегрузка, «наведенное напряжение»). Рассмотрим и проанализируем наиболее вероятную версию.

Для анализа рассматриваемой версии установим наличие электрического оборудования и возможные аварийные признаки (проявления) в его работе в здании больницы в целом, и в очаге пожара в частности.

В данном случае здание больничного стационара электрифицировано, как установлено ранее. Как в чердачном помещении, так и в месте очага пожара имелось электрическое оборудование. По чердачному помещению больницы вдоль здания с восточного крыла в западное проходил транзитный телевизионный самонесущий коаксиальный кабель в круглой черной изоляции и толстый многопроволочный кабель телефонной связи в круглой черной изоляции. Также проходило еще несколько хаотично проложенных электрических проводников

и кабелей (проводники освещения, тонкие коаксиальные телевизионные кабели, тонкие провода связи и т.п.) (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид участка крыши над центральным крылом здания в южной его части над рентген-кабинетом и центральной лестницей. Место расположения очага пожара в центральной части снимка. Стрелками указаны провода связи, коаксиальный телевизионный кабель и остатки старых проводников освещения

Непосредственно в месте расположения очага пожара (на уничтоженной крыше центрального крыла здания, над западной частью рентген-кабинета) были обнаружены и изъяты с места пожара медные жилы экранированных слаботочных проводников связи и телевизионного кабеля с множественными признаками протекания пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования, которые были направлены на исследование в ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Приморскому краю.

Металлографическое исследование

По результатам исследования данных аварийных оплавлений изъятых проводников, экспертом А.Л. Магдаляновым установлено, что на фрагментах проводников имеются множественные признаки аварийных режимов работы электрооборудования, характерные для короткого замыкания (КЗ) и перегрузки (рис. 3, 4).



Рис. 3. Оплавления на объектах № 1–3 (отражено стрелками)



Рис. 4. Оплавление объекта № 6 (отражено стрелкой)

В ходе проведенного металлографического исследования представленных объектов установлено, что микроструктуры оплавлений образца № 1 с объектов № 2 и № 3 (многопроволочные проводники кабеля связи) и образца № 2 с объекта № 6 (медный провод коаксиального телевизионного кабеля) имеют множественные признаки первичного короткого замыкания (ПКЗ) и токовой перегрузки, возникших до пожара, в условиях с нормальным (атмосферным) содержанием кислорода в воздухе. Следовательно, в месте установленного очага пожара (на уничтоженной крыше центрального крыла здания, над западной частью рентген-кабинета) имелось электрическое оборудование (слаботочные медные проводники (кабели), на котором были установлены множественные признаки протекания пожароопасных аварийных режимов работы электрического оборудования, характерных для действия высокотемпературной электрической дуги ПКЗ и многократной токовой перегрузки, возникших до пожара, в условиях с нормальным (атмосферным) содержанием кислорода в воздухе [8].

Ниже приведена микроструктура одного из оплавлений объекта № 6 (рис. 5).

Основу оплавления составляет эвтектический сплав. Имеется граница структур проводниковой части и зоны оплавления. На увеличенных снимках (отражено стрелками) наблюдается рост дендритов закиси меди. Содержание кислорода более 0,39 % [9]. Признаки характерны для токовой перегрузки, возникшей до пожара ПКЗ.

В ходе проведения проверки по пожару дознавателями были опрошены специалисты электрики (электромеханики), имеющие соответствующее образование и многолетний опыт в работе по прокладке и монтажу электрического оборудования и кабельных сетей. Согласно полученным объяснениям специалистов гр. К. и гр. Б., было установлено, что в случаях обрывов в кабельных сетях коаксиальных телевизионных кабелей большой протяженности может возникать наводящее напряжение с разностью потенциалов между «землей» и кабелем до 400 В и выше. Согласно объяснениям мастера кабельного телевидения гр. Р., проводившего монтаж и обслуживание телевидения на данном объекте, участок коаксиального кабеля порядка 500 м от одного дома до другого дома «проходил» транзитно по чердаку больничного стационара. Был отключен за несколько месяцев до пожара. Концы кабеля висели в воздухе. Почему несколько усилителей телевизионного сигнала данного кабеля, находившихся на чердаке больницы, оставались включены в сеть питания здания 220 В, он не знает. В данном случае не исключено, что при отключенном коаксиальном телевизионном кабеле, проходившем по чердаку больничного стационара без должного заземления кабельного телевизионного оборудования, вследствие сопутствующих факторов (наводящее напряжения), могла возникнуть разность потенциалов на слаботочных проводниках телевидения (до 400 В). В результате чего на коаксиальном кабеле и проходящем рядом кабеле связи возникла многократная перегрузка, что и установлено проведенным инструментальным исследованием

изъятых фрагментов кабелей, сопровождавшаяся тепловыми проявлениями аварийных режимов работы (значительный разогрев медных токоведущих частей до температуры плавления меди (1 063 °С и более), высокотемпературная электрическая дуга КЗ (порядка 4 000 °С), разлет раскаленных частиц расплавленного металла и частей горячей изоляции). В результате выше указанных процессов могло достаточно быстро произойти загорание горючих материалов (изоляция электрического оборудования, деревянные конструкции крыши) на чердаке больничного стационара и развиваться пожар [6].

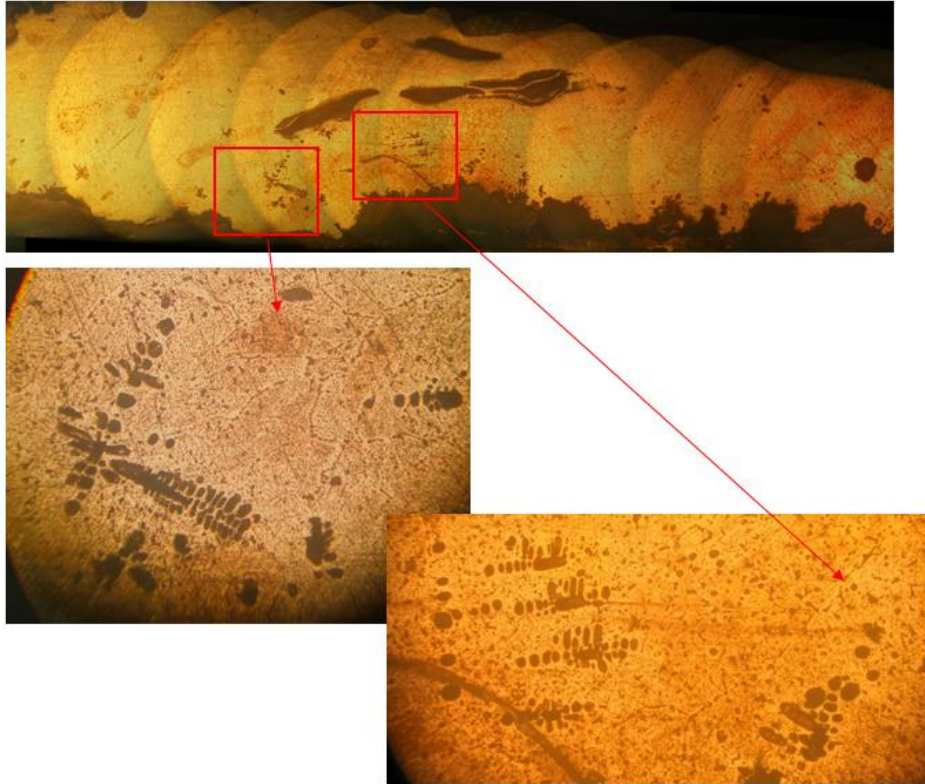


Рис. 5. Образец 2. Микроструктура одного из оплавлений объекта № 6. Снимок выполнен при 50 и 100-кратном увеличении

Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что непосредственной технической причиной возникновения пожара является загорание горючих материалов (изоляция электрического оборудования, древесина) на чердаке больничного стационара в очаге пожара от тепловых проявлений пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования (перегрузка, КЗ). Возникновение аварийных процессов на слаботочных электрических проводниках (кабелях телевидения, связи) связано с появлением разности потенциалов между землей и проводником, вызванной «наведенным напряжением».

Заключение

Нарушение правил устройства заземления электроустановок остается актуальным вопросом в сфере безопасности при использовании электрооборудования.

Новизна исследования к данной проблеме заключается в том, что ввиду развития прогресса и нарастания потребности человечества в проведении дополнительных электрических сетей увеличивается количество пожаров, связанных с «наведенным напряжением». Происходит накладка электросетей: зачастую новые кабели трассы прокладывают в непосредственной

близости с изношенными электрическими проводниками (кабели телевидения, связи и т.д.), которые своевременно не демонтируются, что впоследствии приводит к пожару.

Помимо того, чтобы установить и детально проанализировать причину возникновения пожара, связанного с «наведенным электричеством», специалистам государственного пожарного надзора необходимо подвергнуть ее поэтапному комплексному исследованию с применением инструментальных и металлографических приборов как на месте пожара, так и в лабораторных условиях, предназначенных для расследования пожаров.

В данной статье рассмотрен и проанализирован такой случай, который в дальнейшем даст необходимый импульс в подобных исследованиях, связанных с «наведенным напряжением».

Поэтому необходимо уделять большее внимание проблеме нарушения правил эксплуатации электроустановок при проведении проверок по соблюдению требований, норм, правил нормативно-правовых актов и документов в области пожарной безопасности органами государственного пожарного надзора [9, 10].

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность: стат. сборники. М.: ВНИИПО, 2010–2017.
2. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. Ч. 1.
3. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров. М.: Стройиздат, 1966.
4. Шарандин А.А. Наведенное напряжение и защита от него. М.: Изд-во НТФ «Энергопрогресс», 2016.
5. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2002.
6. Чешко И.Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: ООО «Типография «Береста», 2010. Кн. 1. 708 с.
7. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: метод. рекомендации / Л.С. Митричев [и др.]. М.: ВНИИ МВД СССР, 1986.
8. Мокряк А.Ю., Чешко И.Д. Металлографический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 4. С. 51–58.
9. Металлографический и морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с мест пожаров / А.Ю. Мокряк [и др.]. М.: ВНИИПО, 2008. 184 с.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 27 дек. 2018 г. № 538-ФЗ). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».



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

УДК 504.06:656.085.2

СПОСОБ ОПЕРАТИВНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;
М.В. Сильников, доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Приведен анализ статистических данных последних лет экологического загрязнения нефтепродуктами при авариях на железнодорожном транспорте в России. Одной из проблем при ликвидации проливов нефтепродуктов является недостаточно оперативная доставка сил и средств для устранения последствий загрязнения нефтепродуктами. В связи с этим рассматривается проблема по оперативной локализации проливов нефтепродуктов в случае аварий и террористических актов на железнодорожном транспорте при частичной разгерметизации цистерн без схода с рельсов подвижного состава. На основе анализа существующих в настоящее время способов и устройств, способствующих нейтрализации проливов нефтепродуктов, предлагается способ и устройство, устанавливаемое в подвижном составе, которое позволяет обеспечить оперативную локализацию проливов нефтепродуктов непосредственно сразу после аварии.

Ключевые слова: нефтепродукт, подвижной состав, локализация пролива нефтепродукта, частичная разгерметизация цистерны

METHOD OF OPERATIONAL LOCALIZATION OF OIL PRODUCT SPILLS DURING RAIL TRANSPORT

O.N. Savchuk; M.V. Silnikov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The analysis of the statistical data of the last years of environmental pollution by oil products at accidents on railway transport in Russia is given. One of the problems in the elimination of oil spills is the lack of prompt delivery of forces and means to eliminate the consequences of contamination with oil products. In this regard, the problem of operational localization of oil product spills in the event of accidents and terrorist acts on railway transport with partial depressurization of tanks without derailment of rolling stock is considered. Based on the analysis of the currently existing methods and devices that contribute to the neutralization of oil spills, a method and device installed in the rolling stock is proposed, which allows for the operational localization of oil spills immediately after the accident.

Keywords: oil product, rolling stock, localization of the spill of oil product, partial depressurization of the tank

Одним из видов экологических чрезвычайных ситуаций (ЧС) являются проливы нефтепродуктов при авариях (разрушениях) в местах добычи, переработки, хранения и транспортировки. Большое количество нефтепродуктов перевозится морским, трубопроводным, автомобильным и железнодорожным транспортом. В России на долю железнодорожного транспорта приходится до 47 % всего грузооборота, который составляют нефтепродукты (сырая нефть, мазут, бензин, дизельное топливо, сжиженный углеводородный газ). Отмечается рост поставок нефтепродуктов железнодорожным транспортом в последние годы (2017 г. – 235,7 т, 2018 г. – 236,6 т, 2019 г. – 154,1 т) [1]. Несмотря на снижение поставок нефтепродуктов внутри страны и на экспорт, в настоящее время, вызванное пандемией коронавируса и кризисом мировой экономики, следует ожидать возрастания поставок нефтепродуктов железнодорожным транспортом в результате оживления экономики в нашей стране и в мире.

Одним из преимуществ перевозки нефтепродуктов железнодорожным транспортом является возможность транспортировки больших объемов нефтепродуктов одним составом (от 40 до 60 цистерн), технические характеристики которых представлены в табл. 1 [2].

В связи с этим следует отметить, что согласно статистическим данным Межведомственной комиссии по экологической безопасности Российской Федерации до 40 % аварий на железнодорожном транспорте приходится на аварии с разливом нефтепродуктов, а интенсивность аварий при перевозке опасных грузов составляет $3,8 \cdot 10^{-7}$ на один вагон [3–5]. Последствия таких аварий могут привести к загрязнениям на значительных участках железнодорожных путей. Следует отметить, что число происшествий на железных дорогах России увеличилось с 5 (2018 г.) до 13 (2019 г.) [6].

Таблица 1. Технические характеристики основных железнодорожных цистерн, используемых для перевозки нефтепродуктов

Модель	Назначение	Грузо-подъемность, т	Объем котла, м ³
15-869	бензин, светлые нефтепродукты	62	88,6
15-1427	бензин	60	73,1
15-1566	для вязких нефтепродуктов	63,5	73,17
15-011	нефтепродукты	60	73,7
15-011-01	нефтепродукты	66	72,38
15-145	нефтепродукты светлые	66,8	91,8
15-031-02	нефтепродукты	66	73,38
15-871	нефтепродукты	120	140
15-880	нефтепродукты	125	159

Так, например, наиболее значимые аварии с проливом нефтепродуктов на железнодорожном транспорте, произошедшие в России в последние годы, представлены в табл. 2.

Последствия аварий с проливом нефтепродуктов на железнодорожном транспорте рассматривают как приводящие к непосредственному ущербу (гибель, травматизм людей, разрушение зданий, оборудования, загрязнение территории), так и косвенному (долговременное загрязнение подстилающей поверхности, водоемов, опосредованное воздействие загрязнения на здоровье людей и фауну).

Анализ технологий ликвидации последствий таких аварий показал, что своевременное привлечение сил и средств является трудоемкой и сложной задачей. Одним из проблемных вопросов ликвидации последствий аварий на железнодорожном транспорте является

оперативная ликвидация проливов нефтепродуктов. В основе технологий по ликвидации загрязнения от проливов нефтепродуктов лежит локализация разлива и его последующая ликвидация. Для локализации обычно применяют обвалование, герметизацию железнодорожной цистерны с тем, чтобы добиться минимальной площади загрязнения. Для ликвидации (очистки) загрязненной территории от пролива нефтепродуктов предусматривают проведение следующих операций: сбор, химическая нейтрализация и удаление.

Таблица 2. Аварии с проливом нефтепродуктов на железнодорожном транспорте в России в последние годы (2005–2017 гг.)

Дата аварии	Район аварии	Причина аварии	Последствия аварии
15.06.2005 г.	Тверская область	Сход с рельсов	Пролив из 26 вагонов с мазутом 780 т
08.11.2010 г.	Перегон «Смоленск-Сортировочная – Смоленск-Центр»	Сход с рельсов	Пролив 180 т дизельного топлива
15.09.2011 г.	г. Уссурийск	Сход с рельсов	Пролив 180 т бензина
09.05.2013 г.	г. Белая Калитва	Технические причины	Пролив из 7 цистерн с бензином, детонация одной цистерны с сжиженным газом
26.03.2017 г.	Башкирия	Столкновение двух составов, сход с рельсов	Пролив двух цистерн с дизельным топливом

Если в местах стационарного расположения объектов, содержащих нефтепродукты, разработаны и успешно применяются современные технологии по оперативной ликвидации последствий проливов нефтепродуктов [7–9], то в случаях аварий при перевозке их транспортом в динамике существуют нерешенные проблемы. В большинстве работ [7–12] рассматривается разработка технологий локализации проливов нефтепродуктов путем применения сорбентов и других поглотительных материалов, эффективность их использования. Необходимое количество их для локализации пролива будет определяться, в конечном счете, объемом аварийного пролива нефтепродукта на подстилающую поверхность, который зависит от величины разгерметизации (пробоины) и времени локализации утечки (герметизации пробоины цистерны).

При авариях на железнодорожном транспорте важнейшей задачей является как можно быстрее ликвидация последствий аварии и восстановление безопасного прохождения составов на данном участке.

Однако следует отметить сложность оперативной доставки сил и средств как для локализации, так и ликвидации последствий загрязнения нефтепродуктами вследствие удаленности и порой труднодоступности для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. На практике ввиду этих причин часто ликвидация пролива проводится частично или вообще отсутствует.

Эффективность же проведения локализации проливов с помощью сорбентов будет определяться временем от начала пролива нефтепродуктов на подстилающую поверхность и до поглощения их сорбентами или другими поглотительными материалами.

Поэтому исследования по оперативной доставке и способу применения сорбентов или других поглотительных материалов для локализации проливов нефтепродуктов является актуальным, особенно при рассмотрении частичной разгерметизации (пробое) железнодорожных цистерн с нефтепродуктами без схода с рельс, в частности на довольно больших аварийных участках торможения, которые могут достигать до 900 м [13].

Следовательно, необходимы поиски и разработки способов эффективной оперативной локализации проливов нефтепродуктов при частичной разгерметизации железнодорожных цистерн с нефтепродуктами. В работе [14] рассматривается один из способов использования в качестве сорбента активированного угля, размещенного в контейнере на каждой железнодорожной цистерне, используемого в случае аварии. Однако такой способ усложняет и требует дополнительной доработки специализированных цистерн, предназначенных для перевозки нефтепродуктов, увеличивает нагрузку железнодорожного состава, требует наличия мест размещения средств малой механизации для проведения работ по локализации пролива нефтепродуктов и сопровождения личным составом бригад по их применению.

Решение проблемы по оперативной локализации пролива нефтепродуктов возможно на пути использования способа, предложенного в работе [15]. В этих целях целесообразно в подвижный состав, перевозящий нефтепродукты, включать устройство [16], размещенное на платформе с запасом сорбента, обеспечивающего эффективную сорбцию и нейтрализацию площади пролива нефтепродуктов на всем участке аварийного торможения. Для этого следует размещать два аналогичных устройства в подвижном составе: одно должно быть расположено впереди первой цистерны по ходу движения грузового состава, а второе – за последней цистерной с нефтепродуктами. Для этого на каждой цистерне следует установить датчик, который должен подавать сигнал машинисту о факте разгерметизации цистерны и одновременно на срабатывание предлагаемого устройства.

Предлагаемое устройство оперативной локализации пролива нефтепродуктов подобно работе [16] и состоит: из емкости, заправленной жидким или порошковым (гранулированным) сорбентом, соединенной трубопроводом с запасным резервуаром сжатого воздуха, используемого для аварийного торможения подвижного состава. Емкость подсоединяется трубопроводами к выпускным щелевым клапанам, размещенным под нижней частью платформы, на которой установлена емкость, при этом выпускные отверстия клапанов обращены в противоположную сторону движения состава под углом ниже горизонта.

При разгерметизации цистерны подается сигнал на срабатывания устройства, при этом сжатый воздух через воздушный трубопровод поступает в сифон, создавая в емкости установленное давление. Жидкий или порошкообразный сорбент из емкости через сифон, газожидкостной трубопровод, через щелевые клапаны разбрызгивается (распыляется) на загрязненную нефтепродуктами поверхность железнодорожного полотна на ширину не менее 5 м.

Эффективность локализации пролива нефтепродуктов во многом будет зависеть от выбора используемого сорбента. При выборе сорбента следует учитывать его высокую сорбционную емкость, малую вязкость, величину объемного веса (насыпной плотности), сравнительно низкую стоимость.

Анализ используемых сегодня сорбентов для локализации и ликвидации проливов нефтепродуктов [8, 17–19] показал, что наиболее эффективны синтетические сорбенты на основе полиуретана, порошкового графита. Наиболее перспективными из них являются:

– сорбент Ньюсорб ППУ, созданный на основе пенополиуретана, который гранулирован и безопасен. Он хорошо поглощает нефтепродукты, нефтеемкость сорбента (1 кг поглощает 32 кг нефтепродукта), весовой объем $13,6 \text{ кг/м}^3$, стоимость 1 195 руб./кг;

– сорбент терморасщепленный графитовый СТРГ, созданный на основе порошкообразного графита. Он характеризуется большой нефтеемкостью (1 кг поглощает 50 кг нефтепродукта), высокой скоростью сорбции – адсорбируется нефтепродукт за 10 с, низкая насыпная плотность – 7 кг/м^3 , работоспособность в широких интервалах температур – от $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+300 \text{ }^\circ\text{C}$, стоимость 849 руб./кг.

Рассмотрим возможности их использования при локализации проливов нефтепродуктов на участках аварийного торможения подвижного состава с учетом предлагаемого способа и устройства. Расчеты по методике [16] показывают, что даже при самом пессимистичном варианте разгерметизации цистерны, например: пролив бензина АИ-95 из цистерны

(модель 15-1427) грузоподъемностью 60 т при начальной скорости торможения грузового состава 70 км/ч, пробоина в днище размерами 0,04 м², на всем участке аварийного торможения прольется до 18,794 т (табл. 2). Значения массы и площади пролива бензина АИ-95 из цистерны (модель 15-1427) грузоподъемностью 60 т на отдельных участках аварийного торможения при начальной скорости торможения грузового состава 70 км/ч, пробоина в днище размерами 0,04 м² представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения массы и площади пролива бензина АИ-95 из цистерны (модель 15-1427) грузоподъемностью 60 т на отдельных участках аварийного торможения при начальной скорости торможения грузового состава 70 км/ч, пробоина в днище размерами 0,04 м²

Масса пролитого бензина, т	Участки пройденного пути торможения до остановки, м	Объем пролитого бензина, дм ³	Площадь пролива, м ² при f _{пр} разлигии (1л – 0,15 м ²)
9,095	541,33	12127	1820
2,056	659,35	2741,33	411,2
1,896	752,272	2528	379,2
1,727	822,118	2302,67	345,4
1,546	871,119	2061,33	309,2
1,348	901,834	1797,33	269,6
1,126	917,313	1501,33	225,2

Примечание: Расчет площади пролива проводился согласно формуле [20]:

$$S_{\text{пр}} = f_{\text{пр}} * V_{\text{ж}},$$

где f_{пр} – коэффициент разлигии, м⁻¹; V_ж – объем жидкости нефтепродукта, м³.

С учетом более высокой сорбционной емкости, быстрого действия и меньшей стоимости выбираем для локализации пролива АИ-95 сорбент терморасщепленный графитовый СТРГ. Для локализации пролива потребуется около 376 кг стоимостью 319 224 руб., а с учетом дублирования применения устройства сумма увеличивается вдвое.

Применение более дешевых сорбентов с низкими показателями сорбции неперспективно в данном случае ввиду требуемого большого количества их при перевозке. Поэтому одним из путей решения проблемы является разработка более дешевых синтетических сорбентов с использованием нанотехнологий.

Таким образом, использование предлагаемого способа и устройства повышает эффективность и оперативность локализации пролива нефтепродуктов на участках аварийного торможения, вызванных разгерметизацией или частичным разрушением цистерн с нефтепродуктами вследствие террористических актов, перевозимых железнодорожным транспортом, без схода их с рельс.

Литература

1. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2019. № 53.
2. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов: справ. пособие. М.: Изд-во стандартов, 1993.
3. Тишанин А.Г. Наиболее эффективным методом повышения безопасности является прогнозирование ЧС // Транспортная безопасность и технологии: национальный журнал-каталог. 2010. № 2 (22).

4. Baruque B., Corchado E., Mata A., Corchado J.M. A forecasting solution to the oil spill problem based on a hybrid intelligent system // *Information Sciences*. 2010. № 10 (180). Pp. 2029–2043.
5. Fabiano B., Curro F., Reverberi A.P., Pastorino R. Dangerous good transportation by road: from risk analysis to emergency planning // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2005. № 4–6 (18). Pp. 403–413.
6. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. М.: Министерство транспорта Рос. Федерации, 2019.
7. Способы и средства нейтрализации аварийных разливов нефти в условиях низких температур Якутии / С.Н. Попов [и др.] // *Нефтегазовое дело*. 2011. № 2. С. 184–192.
8. Adebajo M.O., Frost R.L., Klopogge J.T., Carmody O. and Kokot S. Porous materials for oil spill cleanup: a review of synthesis and absorbing properties // *Journal of Porous Materials*. 2003. Vol. 10. No. 3. Pp. 159–170.
9. National Transportation Safety Board. Enbridge Incorporated Hazardous Liquid Pipeline Rupture and Release, Marshall, Michigan, July 25, 2010 // *Pipeline Accident Report NTSB/PAR-12/01*. Washington, 2010. 149 p.
10. Сорока М.Л. Перспективы использования сезонных отходов зеленых зон города в качестве сорбентов для ликвидации разливов нефтепродуктов // *Зеленая химия в интересах устойчивого развития: материалы I Республ. конф. с междунар. уч.* Самарканд: Самаркандский гос. ун-т им. А. Навои, 2012. С. 53–55.
11. Al-Majed Ab.A., Adebayo Ab.R., Hossain E. A Sustainable Approach to Controlling Oil Spills // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 113. P. 213–227.
12. Khan M.I., Islam M.R. *Handbook of Sustainable Oil and Gas Engineering Operations Management* // Gulf Publishing Company. Austin, Texas. 2007. P. 18–29.
13. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014. С. 250–256.
14. Сорока М.Л., Ярышкина Л.А. Технологии ликвидации разливов нефтепродуктов с превентивным накоплением сорбентов в зоне образования и локализации разлива // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2012. № 42. С. 45–55.
15. Обеспечение химической безопасности в случае пожара и аварий на объектах транспортной инфраструктуры: монография / О.Н. Савчук [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. С. 211–213.
16. Устройство оперативной дегазации участков аварийного торможения железнодорожного транспорта при проливе жидких опасных химических веществ: пат. № 2526384 / О.Н. Савчук; заявл. 17.12.2012; опубл. 27.06.2014.
17. Зеленько Ю.В., Плахотник В.Н. Поглощительная способность материалов, используемых для ликвидации транспортных аварий с нефтепродуктами // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2004. № 2. С. 35–37.
18. Луценко А.Н. О применении инновационных сорбентов и устройств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // *Технологии техносферной безопасности: научный интернет-журнал*. 2012. Вып. № 3 (43). С. 1–8.
19. Use of Sorbent Materials in Oil Spill Response // *The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF), Technical information paper*. 2012. Vol. 8. 12 p.
20. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

УДК 621.391

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРЕДПОЛЕТНОЙ И ПОСТПОЛЕТНОЙ КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ ПОЗВОНОЧНИКА КОСМОНАВТОВ

А.Л. Брод.

**ФГУЗ Санаторий «Архипо-Осиповка» ФМБА России,
пос. Архипо-Осиповка Краснодарского края.**

С.В. Дворников, доктор технических наук, профессор.

**Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения;**

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Рассмотрены факторы, влияющие на увеличение длины позвоночника в условиях невесомости. Поясняется процесс гипергидратации межпозвоночных дисков, приводящий к увеличению размера пульпозного ядра. Представлен механизм изменения углов кифоза и лордоза, приводящий к удлинению позвоночника. Обосновано расчетное выражение, позволяющее получить величину увеличения роста человека в зависимости от изменения углов кифоза и лордоза позвоночника. Представлены данные по исследованию изменений формы спины в результате обучения правильной супинированной постановки стоп в процессе формирования шага. Выработаны рекомендации для пред- и постполетной подготовки космонавтов. С целью уменьшения воздействия факторов, приводящих к повреждению позвоночника, предлагается введение в предполетную подготовку космонавтов занятий по правильному формированию шага, что приведет к стандартной гармонизации углов кифоза и лордоза со значениями, равными 25 градусам. Это позволит провести точный расчет изменения длины позвоночника в условиях невесомости, что обеспечит менее травматичное возвращение в условия гравитации. Проведение таких занятий в процессе постполетной реабилитации приведет к восстановлению гармоничной формы позвоночника, что будет способствовать менее болезненной и более краткосрочной реабилитации.

Ключевые слова: экстремальная нагрузка на опорно-двигательную систему, увеличение длины позвоночника в невесомости, изменение углов кифоза и лордоза, супинированная постановка стоп, формирование гармоничной формы спины

SUGGESTIONS FOR PRE-FLIGHT AND POST-FLIGHT CORRECTION OF THE SHAPE OF THE SPINE OF ASTRONAUTS

A.L. Brod. FSHI Sanatorium «Arkhipo-Osipovka» of FMBA of Russia, Arkhipo-Osipovka settlement of Krasnodar Kray.

S.V. Dvornikov. Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation; Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

The factors influencing the increase in the length of the spine in weightlessness are considered. The process of hyperhydration of intervertebral discs, leading to an increase in the size of the nucleus pulposus, is explained. The mechanism of changing the angles of kyphosis and lordosis, leading to lengthening of the spine, is presented. A calculated expression has been substantiated, which makes it possible to obtain the magnitude of the increase in human height, depending on the change in the angles of kyphosis and lordosis of the spine. The results of the study of changes in the shape of the back, as a result of teaching the correct supinated position of the feet in the process of forming a step, are presented. Recommendations for pre- and post-flight training of cosmonauts have been developed. In order to reduce the impact of factors leading to spinal

injury, it is proposed to introduce into the preflight training of cosmonauts classes on correct stride formation, which will lead to standard harmonization of the angles of kyphosis and lordosis with values equal to 25 degrees. This will allow an accurate calculation of the change in spine length under zero gravity conditions, which will provide a less traumatic return to gravity conditions. Carrying out such exercises in the process of post-flight rehabilitation will lead to the restoration of the harmonious shape of the spine, which will contribute to less painful and shorter-term rehabilitation.

Keywords: extreme load on the musculoskeletal system, increase in the length of the spine in zero gravity, change in the angles of kyphosis and lordosis, supinated positioning of the feet, formation of a harmonious shape of the back

Введение

В настоящее время полеты на орбитальную станцию становятся обычными буднями современной космонавтики. Продолжительность полетов отдельных экипажей достигает нескольких месяцев. Так, абсолютный рекорд нахождения на борту станции «Мир», принадлежащий Валерию Полякову, составил 437 дней. А у космонавта Геннадия Падалки суммарное пребывание в космосе вообще достигло почти 800 сут [1]. Вместе с тем формирование человека происходит на Земле под действием силы тяжести, которая оказывает существенное влияние на развитие его позвоночника и опорно-двигательного аппарата [2]. В то же время в космосе, в условиях отсутствия нагрузок из-за невесомости, происходит гипергидратация межпозвонковых дисков [3], которая может привести к серьезным травмам по возвращению космонавта на Землю. Целью исследования является разработка профилактических мер и рекомендаций по предполетной подготовке космонавтов для снижения негативных последствий воздействия силы тяжести на их гипергидрированные позвоночника.

Анализ факторов, приводящих к увеличению длины позвоночника

В работе [2] отмечено, что длительное пребывание человека в условиях невесомости является серьезным стрессом для его организма. Одним из аспектов этого стресса является увеличение роста, которое связано с изменением длины позвоночника.

В общем случае, увеличение длины позвоночника может быть обусловлено двумя основными факторами. Первым фактором является гипергидратация межпозвонковых дисков [3, 4]. В процессе гипергидратации участвует 21 активный межпозвонковый диск. Суммарная высота этих дисков составляет третью часть длины позвоночника. На Земле процесс гидратации и дегидратации межпозвонковых дисков в течение суток обусловлен влиянием гравитации.

В дневное время, при вертикальном положении позвоночника происходит дегидратация пульпозного ядра, а в ночное время, при горизонтальном положении позвоночника, происходит его гидратация путем пропитывания жидкости через хрящевую замыкательную пластинку позвонка в пульпозное ядро. При этом процесс как гидратации, так и дегидратации может быть описан функциями, имеющими экспоненциальный характер, соответственно $g(t)$ и $d(t)$ [5, 6] (рис. 1).

Заметим, что в здоровом организме рассмотренные процессы гипергидратации и дегидратации взаимно компенсируют суточный баланс жидкости пульпозного ядра. Однако в невесомости процесс физиологической дегидратации неполноценен, вследствие чего возможно увеличение высоты межпозвонковых дисков. Противодействие этому процессу оказывает жесткое фиброзное кольцо межпозвонкового диска, растяжение которого не должно превысить 1–2 мм. В результате указанных процессов происходит увеличение длины позвоночника где-то на 2–3 см. Пока это теоретическое предположение, которое нуждается в проверке посредством портативного аппарата магнитно-резонансной томографии непосредственно на орбитальной космической станции.

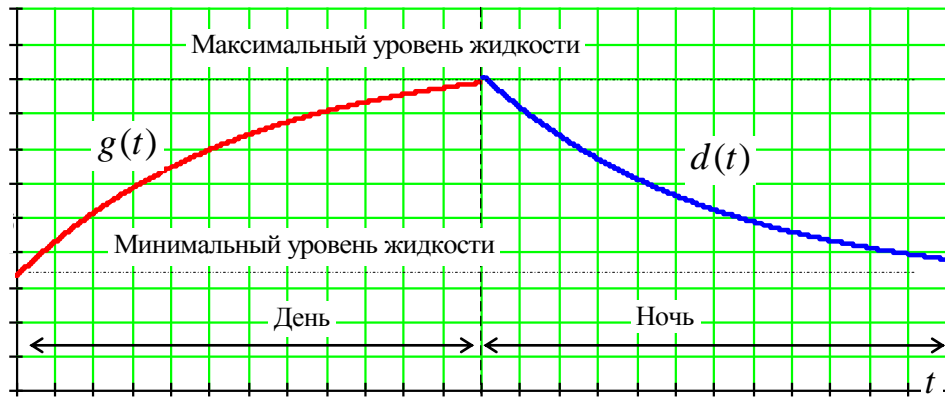


Рис. 1. Процесс гипергидратации и дегидратации межпозвоночных дисков в условиях воздействия силы тяжести

Вторым и основополагающим фактором, влияющим на изменение длины позвоночника, является уменьшение углов кифоза и лордоза (рис. 2).

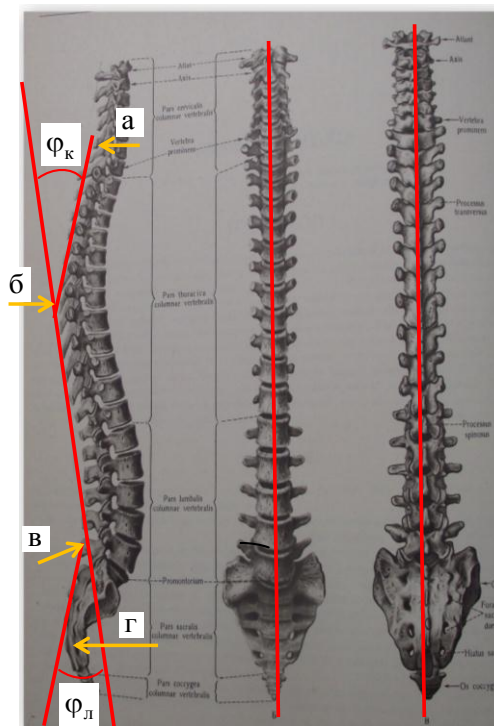


Рис. 2. Углы кифоза и лордоза позвоночника:

a – вершина шейного лордоза, пятый шейный позвонок; b – вершина грудного кифоза, седьмой грудной позвонок; v – вершина поясничного лордоза, пятый поясничный позвонок; z – вершина крестца, четвертый крестцовый позвонок; угол лордоза Φ_l и угол кифоза Φ_k

У человека, имеющего здоровый позвоночник, угол лордоза $\Phi_l = 25^\circ$ и угол кифоза $\Phi_k = 25^\circ$ [7, 8]. Вместе с тем в результате достаточно длительного пребывания человека в космосе позвоночник в условиях невесомости расслабляется и как бы вытягивается.

Это приводит к тому, что значение угла лордоза Φ_l и угла кифоза Φ_k снижается до 15 градусов.

Таким образом, можно заключить, что длина позвоночника человека после пребывания его в космосе однозначно увеличится на некоторое значение ΔL , определяемое двумя слагаемыми, обусловленными изменением значений углов кифоза и лордоза ΔL_1 и нарушениями процессов гидратации и дегидратации ΔL_2 .

Методика расчета увеличения роста человека, пребывающего в невесомости

Если полагать, что в отряд космонавтов набирают исключительно здоровых, гармонично сложенных людей, то углы лордоза и кифоза их позвоночника составят порядка 25 градусов, то есть $\varphi_{\text{л}}^{\text{T}} = 25^\circ$ и $\varphi_{\text{к}}^{\text{T}} = 25^\circ$ (здесь и далее верхний индекс т указывает на измерения, проводимые в условиях действия силы тяжести).

Как уже было замечено, в космосе в условиях невесомости происходит удлинение позвоночника за счет снижения указанных значений углов до величины 15 градусов, то есть $\varphi_{\text{л}}^{\text{H}} = 15^\circ$ и $\varphi_{\text{к}}^{\text{H}} = 15^\circ$ (здесь и далее верхний индекс н указывает на измерения, проводимые в условиях невесомости).

Очевидно, что такое изменение углов кифоза и лордоза приведет к удлинению позвоночника, в соответствии с формулой [9]:

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= \left(\frac{L}{2} [\cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{T}})] + \frac{L}{2} [\cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{T}})] \right) = \\ &= \frac{L}{2} \left([\cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{T}})] + [\cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{T}})] \right) \end{aligned} \quad (1)$$

где L – длина позвоночника в условиях воздействия силы тяжести; делитель 2 введен для учета общего случая, когда значения углов кифоза и лордоза будут не только изначально различными, но и условия невесомости приведут их к неодинаковым изменениям.

Известно [10, 11], что рост позвоночника человека заканчивается к 18–20 годам. При этом средняя длина позвоночника у мужчин составляет 70–90 см (примерно 2/5 от его роста). С учетом данных значений формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta D_1 &= \left(\frac{D}{5} [\cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{T}})] + \frac{D}{5} [\cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{T}})] \right) = \\ &= \frac{D}{5} \left([\cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{T}})] + [\cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{T}})] \right) \end{aligned}$$

где D – исходный рост космонавта на Земле в условиях действия силы тяжести.

Для окончательного расчета значения ΔD необходимо учесть, что помимо изменения углов кифоза и лордоза ΔD_1 на изменение роста космонавта влияние окажет и нарушение процессов гипергидратации и дегидратации пульпозного ядра, которое обеспечит прирост $\Delta D_2 = 2 \div 3$ см.

Таким образом, общее увеличение роста космонавта по возвращению из космоса будет определяться как:

$$\begin{aligned} \Delta D &= \Delta D_1 + \Delta D_2 = \\ &= \frac{D}{5} \left([\cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{к}}^{\text{T}})] + [\cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{H}}) - \cos(\varphi_{\text{л}}^{\text{T}})] \right) + \Delta D_2 \end{aligned}$$

В качестве примера, рассчитаем значение ΔD при исходном росте космонавта равного $D = 170$ см. Получим:

$$\begin{aligned} \Delta D &= \Delta D_1 + \Delta D_2 = \\ &= \frac{D}{5} \left(\left[\cos(\varphi_k^H) - \cos(\varphi_k^T) \right] + \left[\cos(\varphi_n^H) - \cos(\varphi_n^T) \right] \right) + \Delta D_2 = \\ &= \frac{170}{5} \left(\left[\cos(25^\circ) - \cos(15^\circ) \right] + \left[\cos(25^\circ) - \cos(15^\circ) \right] \right) + (2 \div 3) \approx 6,08 \div 7,08(\text{см}) \quad . \end{aligned}$$

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение. Длительное пребывание космонавта в невесомости приведет к достаточно существенному увеличению его роста, которое необходимо прогнозировать еще на стадии предполетной подготовки.

Предложения по выбору мероприятий по коррекции формы позвоночника космонавтов

Следует отметить, что важность учета увеличения роста, прежде всего, обусловлена необходимостью изготовления ложементов космонавта, используемого для его возвращения на Землю. Поскольку неправильный выбор параметров приведет к тому, что посадочные перегрузки могут привести к травмам позвоночника.

Другой аспект исследования связан с тем, что в условиях земной гравитации позвоночник будет «стремиться» к возвращению в исходное, так называемое, предполетное состояние. При этом необходимо минимизировать возможность возникновения межпозвоночных грыж и защемлений нервных окончаний.

Для минимизации указанных негативных последствий, которые возникают в связи с изменениями позвоночника, авторам видится целесообразным проведение комплекса как предполетных, так и постполетных мероприятий по правильному формированию шага, способного обеспечить гармоничную форму позвоночника во фронтальной плоскости.

Указанные мероприятия представляют собой комплекс упражнений, направленных на формирование правильного шага [7], представленных в работах [8, 9].

Сам комплекс как предполетной, так и постполетной подготовки включает в себя не менее пяти занятий длительностью 30–40 мин каждое, в ходе которых под наблюдением специалиста формируется супинированная постановка стоп при ходьбе.

Обоснованность указанных мероприятий объясняется следующим.

В соответствии с классификацией Штаффеля [7] даже здоровые люди могут иметь четыре вида осанки, определяемых формой спины:

- гармоничная спина;
- плоская спина;
- сутулая спина;
- круглая или кругло-вогнутая спина.

Проведенные исследования [8] показали, что гармоничная спина с параметрами угла лордоза $\varphi_{л} = 25^\circ$ и угла кифоза $\varphi_{к} = 25^\circ$ достаточно редко явление. Так из более чем 350 обследованных пациентов гармоничную спину имели только порядка 5 %. Плоская форма спины наблюдалась у 10 %. Сутулую спину имели около 14 % и более 70 % из числа обследованных имели кругло-вогнутую форму спины. Полученные данные совпадают с общеизвестными.

Однако исследования, проведенные с использованием АПК «Плантовизор», позволило установить, что основной причиной, приведшей к форме спины, отличной от гармоничной, явилась пронирированная установка стопы в процессе формирования шага.

Так на рис. 3 и 4 представлены плантографии различных постановок стоп. Причем на рис. 3 постановка стоп пронированная, а на рис. 4 – супинированная.

Важной особенностью рассмотренного момента является то, что стопы, плантограммы которых изображены на рис. 3, 4, являются здоровыми и принадлежат одному и тому же человеку. Но именно их пронированная установка ведет к нарушению формы спины, отличной от гармоничной.



Рис. 3. Плантография нормальных стоп: пронированная установка стоп



Рис. 4. Плантография нормальных стоп: супинированная установка стоп

Отметим, что для перевода стопы в супинированное положение необходимо напрячь большеберцовые мышцы и сгибатели пальцев. В результате повышается внутренний свод, из-за чего происходит приведение переднего и заднего отделов стопы и уменьшение ее ширины. Важно, чтобы такое положение стоп стало привычным.

Дадим некоторые пояснения к рис. 3, 4. Здесь нормальная стопа. Синими линиями показано наружное отклонение больших пальцев от осей стоп. Черными линиями показано наружное отклонение пяток от осей голеней. И красными – степени продольного плоскостопия.

Нормальная стопа характеризуется следующими основными признаками [9]:

– наличием контакта стопы с опорной поверхностью в среднем отделе, ширина которого не должна превышать третью часть ширины стопы (рис. 4 красная линия);

- углом наружного (вальгусного) отклонения пяточной кости по отношению к оси голени не превышающим 6 (рис. 4 *черная линия*);
- коэффициентом соотношения косо́й ширины стопы к ее длине, который не должен превышать 0,4, а при измерении на АПК «Плантовизор» – 0,35;
- углом наружного (вальгусного) отклонения большого пальца, не превышающего 10° (рис. 4 *синяя линия*).

Вместе с тем было установлено, что обучение правильному функционированию нижних конечностей при формировании шага приводит к гармонизации формы позвоночника в 99 % вне зависимости от его исходной формы [8, 9]. Под правильным функционированием нижних конечностей авторы понимают работу каждого сустава в соответствии с его биомеханической осью, что позволяет выполнить все этапы амортизации ударной нагрузки, полноценно использовать рычажную функцию стопы и уменьшить участие позвоночника в формировании опрокидывающего момента.

В частности, проведено обучение 350 пациентов правильной постановке стоп. Занятия проходили ежедневно в течение пяти дней, в ходе которых получены следующие результаты. Количество человек, имеющих гармоничную форму спины составило 72 %; число пациентов с плоской спиной уменьшилось до 6 %; количество обследованных с сутулой спиной составило всего 2 %, а с кругло-вогнутой – уменьшилось до 20 %. Полный отчет о результатах исследования представлен в работе [9].

На основе указанного исследования можно заключить, что комплекс упражнений по обучению правильному функционированию нижних конечностей в процессе предполетной и постполетной подготовки членов экипажа МКС, позволит сформировать им стандартную гармоничную форму спины, соответствующую 25 градусам лордоза и 25 градусам кифоза. И тогда, зная стандартное изменение углов кифоза и лордоза в условиях невесомости, а также длину позвоночника каждого члена экипажа в условиях гравитации, можно точно прогнозировать увеличение как длины позвоночника, так и роста космонавта в целом, что облегчит изготовление ложементов для возвращения на Землю.

Заключение

Проведенные теоретические исследования показали, что пребывание в условиях невесомости приводит к увеличению длины позвоночника, обусловленного двумя факторами: нарушением процесса гипергидратации и дегидратации, а также уменьшением углов кифоза и лордоза позвоночника.

Для снижения возможного травматизма предлагается в ходе предполетной и постполетной подготовки космонавтов дополнительно проводить с ними пятидневные занятия по формированию правильного шага, обеспечивающего гармоничную форму позвоночника во фронтальной плоскости, что позволит в более короткие сроки и безболезненно провести постполетную реабилитацию.

Литература

1. Фалилеев М.Н. Лекарство от невесомости // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2 (95). С. 66–73.
2. Ретроспективный анализ состояния здоровья космонавтов после участия в космических полетах / И.Б. Ушаков [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2016. Т. 50. № 2. С. 14–20.
3. Изменения костной ткани человека в космическом полете II. Некоторые закономерности и особенности / В.С. Оганов [и др.] // Остеопороз и остеопатии. 2005. Т. 8. № 1. С. 2–6.
4. Региональные и возрастные особенности строения соединительнотканых структур эпидурального пространства спинного мозга человека / И.В. Гайворонский [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2019. 14 (4). С. 686–689.

5. Позвоночник. Хирургическая анатомия и оперативная техника / Д.Х. Ким [и др.]; пер. с англ.; под ред. Ю.А. Щербука. 2-е изд. М.: Изд-во Панфилова, 2016. XVIII. 829 с.
6. Капанджи А.И. Физиология суставов. М.: Эксмо, 2009. Т. 3. 344 с.
7. Гамбурцев В.А. Гониометрия человеческого тела. М.: Медицина, 1973. 200 с.
8. Брод А.Л. Ортопедические аспекты культуры владения нижними конечностями и позвоночником в процессе формирования шага. Краснодар, 2019. 104 с.
9. Брод А.Л., Дворников С.В. Этика прямохождения (правильное воспитание как искусство предупреждения и коррекции деформаций тела средствами доступными каждому): учеб.-пед. пособие. СПб.: Политех-Пресс, 2021. 111 с.
10. Коррекция положения таза и позвоночника у пациентов с разной длиной нижних конечностей / Ю.А. Безгодков [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 3. С. 119.
11. Макиров С.К., Юз А.А., Джахаф М.Т. Методика оценки параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 3. С. 55–63. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.3.55-63>.

УДК 627.21

РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ НАДЗОРА ЗА СПАСАТЕЛЬНЫМИ СУДАМИ МЧС РОССИИ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Н.Н. Копейкин, кандидат технических наук;

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

П.М. Агеев, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Ставится актуальный вопрос о необходимости разработки «Правил классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности спасательных судов МЧС России». Предложен перечень деталей, подлежащих надзору Инспекции по спасательным судам МЧС России, включая основные составные узлы механической установки, и приводятся основные требования к главным силовым установкам. Применение разрабатываемых Правил позволит обеспечить унифицированность при изготовлении спасательных судов широкого назначения МЧС России для различных районов их эксплуатации, в том числе в части требований к механическим установкам.

Ключевые слова: надзорная деятельность, спасательные суда, механическая установка, требования безопасности

THE MAIN QUESTIONS OF THE SUPERVISION OF RESCUE VESSELS OF THE EMERCOM OF RUSSIA IN SPHERE OF ENSURING SAFETY MECHANICAL INSTALLATIONS

N.N. Kopeykin; A.A. Melnik; P.M. Ageev.

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

The article describes an argent question about the necessity of development «Rules for classification, construction and operational safety of rescue vessels of the EMERCOM

of Russia». This article describes the objects of supervision of the Inspectorate for Rescue Vessels of EMERCOM of Russia, including the main components of the mechanical installation. There are the main demands to the power supply units. These rules provide the commonality of rescue vessels manufacture.

Keywords: supervisory activities, rescue ships, mechanical installation, safety requirements

Одним из основных видов деятельности МЧС России является обеспечение безопасности людей на водных объектах [1–3]. При решении этой задачи значимую роль играют ведомственные спасательные суда [4]. В проекте Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. предусматривается развивать строительство судов обеспечивающих видов флота, в первую очередь государственного назначения, в том числе аварийно-спасательного флота [5].

Поэтому является актуальным вопрос изучения комплекса требований к спасательным судам МЧС России [6, 7] с целью последующей разработки «Правил классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности спасательных судов МЧС России» (Правила).

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России в настоящее время ведет разработку пакета нормативных документов.

Результаты

Разработка «Правил классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности спасательных судов МЧС России» выполняется в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74) (с изм. на 15 июня 2017 г.);
- Международный кодекс по спасательным средствам (Кодекс КСС/LSA) (в ред. на 1 января 2013 г.) (с изм. на 15 июня 2017 г.);
- Российский морской регистр судоходства. Правила классификации постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. Санкт-Петербург. 2019;
- Правила Российского речного регистра. Правила классификации и постройки судов (ПКПС) (с изм. на 1 сентября 2016 г.).

В Правилах учтены унифицированные требования, интерпретации и рекомендации Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) и соответствующие резолюции Международной морской организации (ИМО).

При определении общего подхода к разработке Правил учитывались материалы, изложенные в работах [8–12].

Объем надзора и материалы

В результате проведенного исследования выделены детали и изделия, подлежащие надзору Инспекции по спасательным судам МЧС России (Инспекция):

- валопроводы в сборе, включая гребные валы с облицовками и гидроизоляцией, подшипники опорные, упорные и дейдвудные в сборе, муфты соединительные, уплотнения дейдвудных устройств;
- движители, в том числе крыльчатые и водометные, движительно-рулевые колонки, подруливающие устройства и движительные комплексы активных перьев рулей, механизмы изменения шага винта регулируемого шага (ВРШ) и системы управления движителями;
- детали, указанные в табл. 1, а также соответствующие запасные части.

Таблица 1. Перечень деталей, подлежащих надзору Инспекции по спасательным судам МЧС России, в результате проведенного исследования

№ п/п	Наименование	Материал
1	Валопроводы	–
1.1	Валы промежуточные и гребные	Сталь ковкая
1.2	Облицовка гребных валов	Сплав медный. Сталь коррозионностойкая
1.3	Полумуфты соединительные	Сталь ковкая. Сталь литая
1.4	Крепеж соединительный	Сталь ковкая
1.5	Трубы дейдвудные	Сталь катаная. Сталь литая. Сталь ковкая
1.6	Втулки подшипников (дейдвудные) и кронштейнов	Сталь литая. Сталь ковкая. Сплав медный
1.7	Набор и заливка дейдвудных подшипников	Неметаллические материалы. Металлические материалы из сплавов
1.8	Корпуса подшипников	Сталь катаная. Сталь литая
2	Двигатели	–
2.1	Винты цельнолитые	Сталь литая. Медные и бронзовые сплавы
2.2	Винты сборные	–
2.2.1	Лопасты	Сталь литая. Сплавы на основе меди и олова
2.2.2	Крепеж составных винтов и деталей и обтекателей	Сталь ковкая коррозионностойкая. Сплавы на основе меди и олова

Примечание:

1. Материалы выбираются в соответствии с разработанными Правилами.

2. Контроль валов осуществляется по методикам, разработанным МЧС России и согласованным с Инспекцией.

3. ВРШ являются предметом специального рассмотрения Инспекции.

Надзору Инспекции подлежат работы по монтажу:

– основных силовых механизмов, их редукторов и соединительных муфт с другими механизмами;

– вспомогательных механизмов;

– систем управления и сигнализации всех механизмов;

– валопроводов и двигателей судов.

– подруливающих устройств и силовых средств активного управления судами.

Для деталей и покрытий типа:

– облицовки гребных валов;

– втулки дейдвудных подшипников и кронштейнов;

– цельнолитые гребные винты.

По согласованию с Инспекцией допускается применение пластмасс или других неметаллических материалов.

Условия работоспособности

Механизмы, устанавливаемые на спасательных судах, оборудование и системы должны сохранять работоспособность в условиях, указанных в табл. 2.

Таблица 2. Сохранность работоспособности

№ п/п	Размещение агрегатов	Рабочая температура
1	Помещения (закрытые)	(0 ÷ 45) °С
2	Части агрегатов под влиянием температуры $t > 45$ °С и $t < 0$ °С	в зависимости от местных условий
3	Палубы (открытые)	(-30 ÷ 45) °С

Температура забортной воды должна приниматься в диапазоне (0 ÷ 35) °С.

Освидетельствование

Инспекция осуществляет технический надзор за судовыми силовыми установками (ССУ), вспомогательными установками (дизель-генераторами и всеми механизмами машинного отделения судна, валопроводами и движителями). Механизмы хозяйственного и бытового назначения техническому надзору Инспекции по спасательным судам, находящимся в эксплуатации, не подлежат.

Первоначальное освидетельствование механических установок должно проводиться заводами-изготовителями спасательных судов и их контрагентами с учетом требований, изложенных в разделе «Основные положения по освидетельствованию» проекта разработанных Правил.

К очередному освидетельствованию главные и вспомогательные механизмы могут предъявляться в двух формах: в полностью собранном виде с технической документацией об их эксплуатации за весь предыдущий послеповерочный период и в разобранном виде.

При предоставлении механизма в собранном виде Инспекция по технической документации о работе механизма, а также по технической документации завода-изготовителя механизма определяет сроки замены (списания) самого механизма или сроки замены его отдельных узлов и деталей.

Затем составляется соответствующий акт и механизм или заменяется новым, или поступает на ремонт для замены его деталей и узлов.

Определяются сроки ремонта с учетом всех финансовых, материальных и организационных затрат. После завершения ремонтных работ механизм испытывается на его работоспособность. Составляется акт о его работоспособности, и механизм вновь возвращается на судно, проходит вторичные испытания на работоспособность.

При представлении на очередное освидетельствование механизма в разобранном виде Инспекция должна осуществить выборочный контроль деталей и узлов механизма.

Судовладелец обязан предъявить Инспекции результаты дефектации механизма в двух формах:

1) Результаты измерений зазоров в основных соединениях механизма.

2) Данные по измерениям зазоров и износам ответственных деталей по двигателю внутреннего сгорания (коленчатых валов, их подшипников, поршней, цилиндрических втулок, болтов кривошипно-шатунных механизмов), зубчатых передач, валопровода и его подшипников с указанием длительности работы этих деталей и узлов в часах, а также эскизы и описания выявленных дефектов в важнейших деталях.

В каждом конкретном случае выборочного освидетельствования механизмов Инспекция может менять объемы и глубину осмотров в зависимости от целого ряда факторов, принимая во внимание конструктивные особенности механизмов, сроки службы их деталей, фактические их состояния и т.п. обстоятельства.

Причины таких изменений должны отражаться в технических актах осмотров.

После выполнения требований, предъявляемых при очередном освидетельствовании к механическим установкам, в дальнейшем их необходимо предъявлять ежегодным осмотрам и освидетельствованиям.

После выполнения требований, предъявленных Инспекцией при очередном освидетельствовании, судовладелец проводит швартовные и ходовые испытания судна.

Участие Инспекции в швартовных испытаниях необязательно.

Контроль состояния механизмов во время испытаний должен осуществляться по штатным контрольно-измерительным приборам. Работу этих приборов необходимо периодически подвергать проверкам на правильность их показаний, предусматриваемых стандартами в соответствии с табл. 3.

Таблица 3. Периодичность проверки судового контрольно-измерительного оборудования ССУ

Наименование прибора	Периодичность проверки
Манометры, вакуумметры всех видов и классов, тахометры, миллиамперметры, милливольтметры, пирометры и термометры	1 раз в 2 года
Амперметры, вольтметры, ваттметры всех видов и классов, частотомеры, фазометры, синхроскопы, омметры, мегаомметры	1 раз в 3 года

Общие требования к устройствам управления

Конструкция системы дистанционного управления главными двигателями при управлении с ходового мостика или из ходовой рубки должна предусматривать подачу аварийно-предупредительного сигнала в случае ее поломки или аварийного отказа. В этом аварийном случае, до перехода управляющего человека на местное управление (аварийный пост), должны сохраняться заданные ранее режимы движения судна (направление и угловая скорость вращения гребного вала). При потере электропитания или давления в гидросистеме управления двигателями не должна изменяться мощность главных двигателей или направление и скорость вращения движителей (гребных винтов). Длительность (время) реверсирования не должна превышать 10–15 с.

Раздел «Механическая установка» Правил включает в себя также:

«Требования к постам управления», «Требования к машинным помещениям», в частности, следующие:

- требования к расположению МО;
- требования по расположению топливных цистерн и баков;
- требования по установке сопутствующего оборудования;
- требования по трапам;
- требования к палубным настилам;
- требования к дверям и крышкам люков различного назначения;
- требования к изоляции нагреваемых поверхностей.

Заключение

До настоящего времени в нормативно-технической документации в области надзорной деятельности за спасательными судами МЧС России отсутствовали конкретные и полные требования к этим судам, которые были бы применимы на стадиях их классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности.

В результате выполнения данного научного исследования разработаны Правила, позволяющие обеспечить унифицированность изготовления спасательных судов широкого назначения для различных районов эксплуатации.

Литература

1. Kopeykin N.N., Ageev P.M., Sytdykov M.R., Savchuk O.N., Rybin O.A. On the improvement of control and supervisory activities of the state inspectorate for small vessels of the Russian Ministry for emergency situations // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Scopus Indexed. 2018. 9 (12). pp. 93–104.
2. ГИМС МЧС России: технические вопросы обеспечения безопасности и охраны жизни людей на водных объектах: монография / М.Д. Маслаков [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 178 с.
3. Шарпов С.В., Крутолапов А.С., Копейкин Н.Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.
4. Башаричев А.В., Скрипник И.Л. Становление аварийно-спасательных судов для тушения пожаров // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы.

Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций: материалы XI Всеросс. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. С. 317–321.

5. Буянов С. Есть место для маневра // Информ.-аналит. морск. журн. «Вести морского Петербурга». 2019. № 3. С. 16–18.

6. Калинин В.А., Рекунов С.Г. Вопросы создания и обоснования требований к спасательным судам МЧС России // Совершенствование работы в области безопасности людей на водных объектах при проведении поисковых и аварийно-спасательных работ: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Вытегра, 2012. С. 14–19.

7. Калинин В.А., Копейкин Н.Н. Некоторые технические особенности спасательных судов МЧС России // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 727–732.

8. Управление безопасностью водных транспортных средств при чрезвычайных ситуациях: монография / И.Г. Малыгин [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 188 с.

9. Lin Chen-Chun, Tang Ying-Hwa, Shyu Joseph Z., Li Yi-Ming. Combining forecasts for technology forecasting and decision making // Journal of Technology Management in China. 2010. Vol. 5. No. 1. pp. 69–83. DOI: <https://doi.org/10.1108/17468771011032804>.

10. Dressel Bernd, Andrae Hans-Peter. Uniform Concept for Structural Stability and Fire Protection // IABSE Symposium Report, IABSE Symposium, Weimar. 2007. pp. 1–11 (11). DOI: <https://doi.org/10.2749/222137807796158093>.

11. Syassen Onna. Das Entwicklungspotential grober Dieselmotoren. Teil1 // MTZ. Motortech. Z. 1990. 51. № 9. S. 348–360, 352–353.

12. Manual of Firemanship. Book 11: Practical Firemanship: Survey of the Science of Fire-fighting. 1992. 2nd ed., Publishing house – H.M.S.O in London, book 4 Shipping, 116 p.

УДК 622.235.5

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛЬПОРОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ И В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

С.Ю. Николашин, кандидат технических наук, доцент;

С.И. Дорошенко, кандидат технических наук,

заслуженный военный специалист Российской Федерации,

Лауреат Государственной премии им. Г.К. Жукова.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

В.А. Малых.

АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург

Современный этап развития науки предполагает решение целого ряда противоречивых проблем, главными из которых являются повышение эффективности воздействия в требуемой области и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Эта проблема особенно важна и приобретает актуальность при выполнении взрывных работ в стесненных условиях. На основании экспериментально изученных характеристик принципиально нового взрывчатого состава на основе пироксилиновых порохов обоснована эффективность их применения при ликвидации пожаров, ледовых заторов и в чрезвычайных ситуациях.

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

JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF GELPORS IN THE ELIMINATION OF FIRES AND IN EMERGENCY SITUATIONS

S.Yu. Nikolashin; S.I. Doroshenko.

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

V.A. Malyh. JSC «RPE» Radar mms», Saint-Petersburg

The current stage in the development of science presupposes the solution of a number of contradictory problems, the main of which are increasing the effectiveness of the impact in the required area and reducing the negative impact on the environment. This problem is especially important and becomes relevant when performing blasting operations in confined spaces. Based on the results of the study, the characteristics of a fundamentally new explosive composition based on pyroxylinic powders have been theoretically proven and practically confirmed, the effectiveness of their use in the elimination of fires and in emergency situations is substantiated.

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

Работы по развитию взрывных технологий выполняются во многих отраслях народного хозяйства, в металлургии, машиностроении, строительстве, тушении лесных и нефтяных пожаров. Использование энергии взрыва является универсальным, весьма эффективным по производительности и срокам выполнения, относительно безопасным способом выполнения трудоемких работ, связанных с разрушением и перемещением больших объемов горных пород в горном деле, строительстве и других областях народного хозяйства. Это связано с тем, что при взрыве заряда промышленного взрывчатого вещества (ПВВ) массой 1 кг выделяется практически мгновенно мощность более 70 млн кВт, а при использовании механических, электрических, магнитных и других способов разрушения пород реализуемая мощность составляет только сотни киловатт. Именно поэтому эффективность разрушения взрывом несоизмеримо выше, чем других способов.

В России выпускаемый ассортимент ПВВ достаточно широк и разнообразен и включает в себя более 200 составов для горнодобывающих отраслей промышленности, из которых более 70 % изготавливаются на местах применения, из них эмульсионные – 54 %, гранулированные – 35 %, водосодержащие – 11 %. Современный ассортимент ПВВ отличается высоким уровнем применения аммиачной селитры. Мировой опыт свидетельствует о неуклонном снижении потребления взрывчатых материалов, содержащих индивидуальные бризантные ВВ. Увеличение полезного использования энергии взрыва – огромный резерв в повышении производительности труда, снижении себестоимости специальных работ и снижении вредного воздействия на окружающую среду. При ликвидации чрезвычайных ситуаций во многих случаях не обойтись без применения ВВ. Новым типом ПВВ являются гелпоры, изготавливаемые на основе пироксилиновых порохов, извлеченных из утилизируемых боеприпасов.

Объекты и методы исследования

1. Особенности изменения параметров взрывного воздействия гелпора.

На рис. 1 представлены графики изменения относительной работоспособности, описываемые зависимостью (1, 2).

Результаты исследований специфических взрывчатых характеристик зарядов гелиевых ПВВ изложены в ряде статей [1–3]. Данные зависимости получены на основе совместного анализа результатов измерений параметров местного действия, гидроударной

волны (ГУВ), воздушной ударной волны (ВУВ) и результатов разделки негабарита. В зонах разрушения наблюдаются преимущества гелевых ВВ по разрушению негабарита и местному воздействию, негативным (вредным) воздействиям. Визуализация этого – максимальное значение ΔR_f ВУВ, ΔR_f ГУВ.

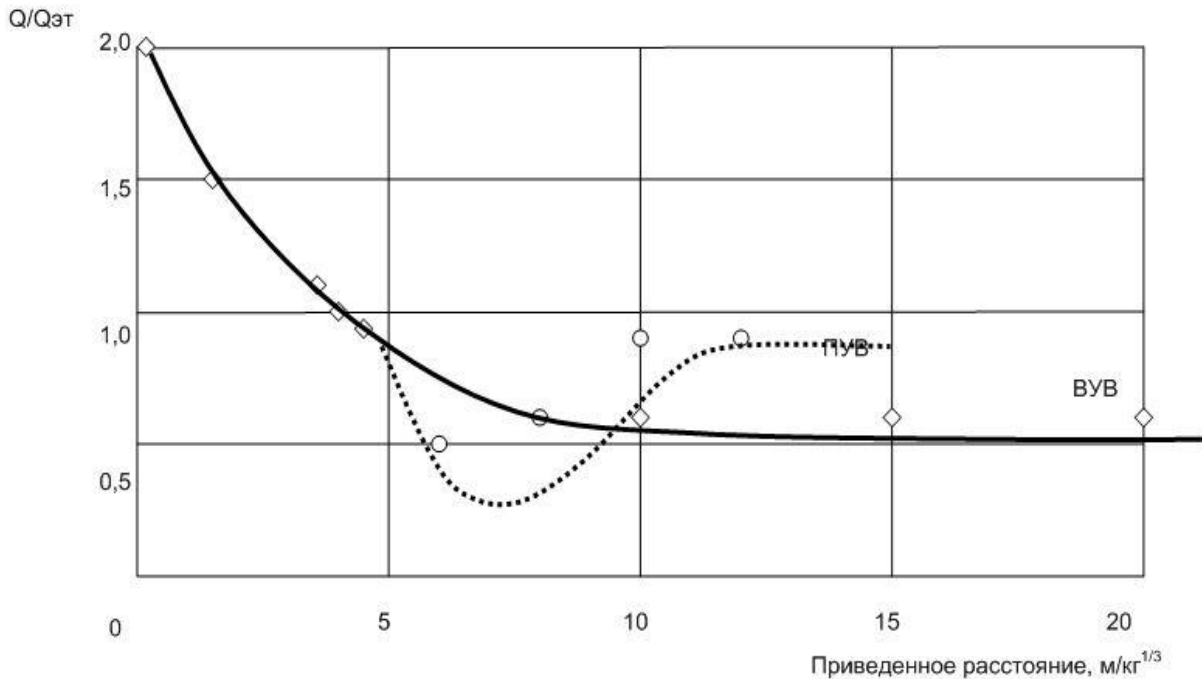


Рис. 1. Характер изменения относительной работоспособности геляпора с расстоянием

Зависимость относительной работоспособности геляпора в воздухе и грунте описывается системой уравнений:

$$Q/Q_{ст} = \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 1 - (R - 4) / 15 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,6 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (1)$$

Зависимость относительной работоспособности геляпора в воде описывается системой уравнений:

$$Q/Q_{ст} = \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,067R^2 - 0,94R + 3,65 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,9 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (2)$$

Сравнительный характер воздействия взрывов зарядов типовых и гелевых ПВВ в зонах разрушения и негативного действия показан на рис. 2 [2–9].

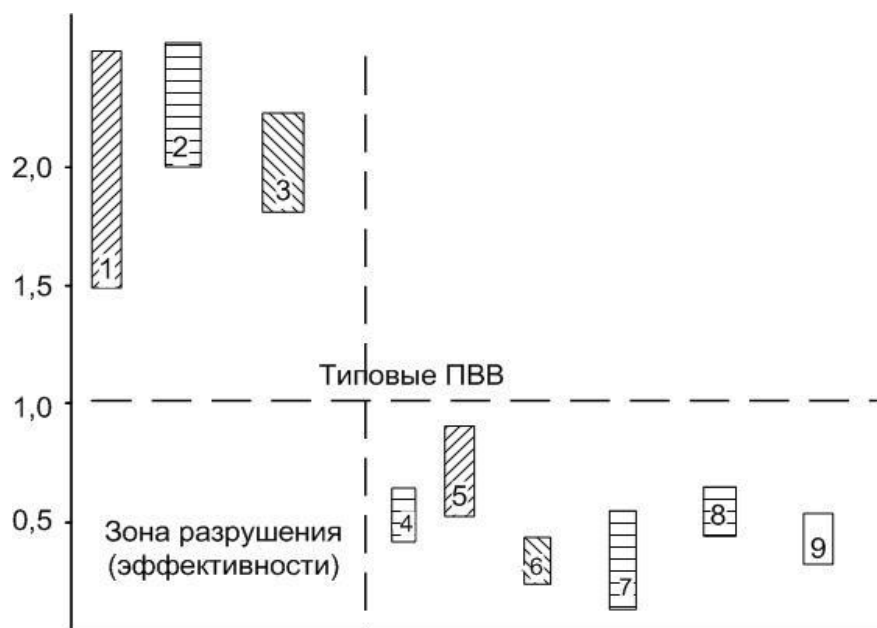


Рис. 2. Сравнительный характер воздействия взрывов зарядов типовых и гелевых ПВВ: 1 – разрушение негабарита; 2 – местное действие под водой; 3 – местное действие; 4 – ΔРф ВУВ; 5 – ΔРф ГУВ; 6 – импульс ВУВ; 7 – разлет осколков (метал, бетон, грунт); 8 – разлет камней (массовый взрыв); 9 – пылевая фракция (радиус по работе)

2. Особенности местного действия.

2.1. Характер воронок.

На рис. 3 показаны видеogramмы одновременных взрывов зарядов тринитротолуола (ТНТ) и геляпора. Видно, что вспышка от взрыва ТНТ яркая, а от взрыва геляпора имеет темный цвет (рис. 3), что свидетельствует о подтверждении положительного кислородного баланса, составляющего 9 %, для сравнения этот показатель у тротила – 7,4 %.

При этом, как показано в работе [2], характер и объем воронки существенно отличаются.



Рис. 3. Видеogramмы взрывов зарядов ТНТ и геляпора

2.2. Размер зон трещиноватости.

При взрывах зарядов геляпора визуально по фотоснимкам (рис. 4) заметен больший размер (по дальности) зоны трещиноватости (до 1,5 раз) – у аммонита она составила 1,4 м, а у геляпора – 2,10 м. С учетом меньшей средней глубины подрыва зарядов геляпора, чем зарядов аммонита, глубина воронки у аммонита составила 1,4 м, тогда как у геляпора – 0,5 м. Эффективность фугасного и бризантного разрушения у геляпора до двух раз выше, чем у аммонита. Этот факт логично согласуется с результатом массового взрыва в части эффектов донного усилителя [4].

а)



б)



Рис. 4. Общий вид площадки и результаты взрывов:
а) аммонит А1 и А2; б) геляпор Г2

2.3. Разлет осколков и фрагментов.

Характерной особенностью взрывов зарядов геляпора является большое количество осколков, оставшихся в воронке. Фото такого эффекта представлено на рис. 5, 6.



Рис. 5. Разрушение бетонного блока



Рис. 6. Осколки металла снаряда

Результаты и обсуждения

Для условий горных предприятий Карельского перешейка проведены сравнительные испытания по разрушению скальных пород гелевыми, эмульсионными и штатными (типовыми) ВВ.

Для обеспечения корректности сравнения воздействия геляпора с эмульсионным ВВ в конкретных условиях карьера при массовом взрыве принята следующая методология:

- скважины с гелепором размещались между скважинами с эмульсионным ВВ для исключения краевых эффектов;
- скважины, полностью снаряженные гелепором, располагались рядом компактно для концентрации исследуемого эффекта;
- скважины с донными усилителями на основе геляпора также размещались компактно и смежно со скважинами, снаряженными гелепором.

При таком методическом подходе эффекты применения геляпора должны быть наиболее выраженными.

После вывоза горной массы визуальным осмотром в подошве блока явно прослеживается пониженная отметка подошвы уступа от 0,5 до 0,7 м – в месте расположения скважин, снаряженных гелепором или с донным усилителем из геляпора. Этот факт свидетельствует об усиленном разрушающем действии самого геляпора и усилении разрушающего действия основного заряда.

С учетом повышенной работоспособности и объемной плотности геляпора его интегральная эффективность в 2,0 ... 2,5 раза выше, чем эмульсионного ВВ.

Основная доля экономического эффекта от применения геляпора при массовых взрывах на карьерах заключается в расширении сетки скважин при сохранении диаметра и глубины скважин. Для условного блока из 100 скважин, снаряженных эмульсионным ВВ, при использовании донных усилителей на основе зарядов геляпора достаточно 80–85 скважин.

При таком подходе эффективность буровзрывных работ (БВР) увеличивается не менее чем на 10 %.

При последующих экспериментах в условиях карьера «Ильмениоки» исследован эффект «разгона» детонации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) фирмы «ОРИКА». Взрыв донных усилителей массой 4 кг геляпора вызвал увеличение скорости детонации с 5,2 км/с (без усилителя) до 5,6 км/с (с усилителем). Такое увеличение скорости детонации эквивалентно увеличению энергии ВВ основного заряда в 1,12–1,15 раза.

Важным показателем эффективности геляпора является удельный расход при разделке негабарита (отдельность скального полезного ископаемого или породы, полученная при ведении горных работ, превышающая по размеру кондиционный кусок), то есть механическая работа, выполненная на применяемых сравниваемых характеристиках геляпора и аммонита, указывает на снижение расхода ВВ на 1 м кубический негабарита.

На графике (рис. 2) отчетливо можно выделить два участка. На первом участке (до 1,5 м³) удельный расход q резко снижается, на втором (объем до 6 м³) – наблюдается незначительный, но заметный рост.

Уменьшение q с ростом объема негабарита V на первом участке имеет «практический» смысл, связанный с дискретностью масс патронов ПВВ.

Ступенчатая аппроксимация зависимости $q=f(v)$ для геляпора более удобна для практических оценок.

Аналогичный характер носит зависимость $q=f(v)$ и для аммонита: при объемах до 1 м³ удельный расход более 2,5 кг/м³ при объемах негабарита 3 ... 5 м³ – 2,1 кг/м³.

«Физический» смысл удельного расхода раскрывает зависимость $q=f(v)$ для условий минимальной массы заряда.

Помимо дискретности масс патронов ПВВ в «практический» смысл удельного расхода следует включать и другие факторы. Так при разделке негабарита на том же карьере отмечен удельный расход для аммонита – от 2,0 до 3,0 кг/м³, для геляпора – от 0,9 до 2,0 кг/м³.

Анализ технологии производства работ показал, что важным элементом является укладка негабаритных блоков. Наибольшая эффективность, то есть наименьший расход ПВВ, наблюдался в том случае, когда наибольшая по площади грань была выставлена горизонтально, что позволяло оптимально установить заряд ПВВ.

Таким образом, натурные данные показали, что применение геляпора эффективнее, чем аммонита на 40–65 %.

Гельпор является уникальным ВВ с изменяющейся работоспособностью, при которой в зоне подрыва она превышает в два раза тротильный эквивалент ПВВ, а на приведенных расстояниях 4 м ударные волны уже в два раза слабей промышленных ВВ, для подводных взрывов снижение еще больше, это, в свою очередь, значительно уменьшает разлет осколков и фрагментов объектов (рис. 1). По взрывопожаробезопасности так же превосходит ПВВ: не взрывается от удара, прострела, огня, статического напряжения и др., надежно детонирует от КД-8 (ЭД), не требует промежуточного детонатора при применении, что указывает на научную новизну полученных результатов. Для производства применяются компоненты утилизируемых боеприпасов, вследствие чего себестоимость ниже аналогов. Гельпор в настоящее время не применяется в интересах МЧС России в качестве зарядов для тушения пожаров в лесных условиях, разрушения ледовых заторов, для подземных условий, стесненных условий (в городской застройке), для подводных условий, но из-за его

уникальных характеристик может быть рекомендован к применению для решения этих задач.

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 № 8. М.: Изд-во «Мир горной книги», 2007. 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.: СПГГИ (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.: СПГГИ (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 656.13

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИДОРОЖНОГО ВОЗДУХА МЕЛКОДИСПЕРСНЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ PM_{10} И $PM_{2,5}$ НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

О.В. Ложкина, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент.

С.А. Малышев;

А.В. Хахленов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Описаны результаты экспериментально-расчетного исследования загрязнения придорожного воздуха на высокозагруженном южном участке Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга и в его окрестностях опасными мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$. Установлено, что при неблагоприятных транспортных и погодных условиях концентрации микрочастиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ превышают соответствующие предельно допустимые значения в 3,8–5,0 раз и 3,3–5,0 раз. Анализ дисперсного состава показал, что во фракции PM_{10} содержание более опасного аэрозоля $PM_{2,5}$ довольно высоко и составляет 50,5 %. Определено, что во фракции частиц PM_{10} доли частиц, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами и поступающих в результате истирания покрышек шин, тормозных колодок и дорожного полотна, составляют 51,3 и 48,7 % соответственно, а во фракции частиц $PM_{2,5}$ – 82,5 и 17,5 % соответственно.

Ключевые слова: автотранспортный процесс, мониторинг, прогнозирование, загрязнение воздуха, мелкодисперсные взвешенные частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$

STUDY OF HAZARDOUS POLLUTION OF ROADSIDE AIR WITH FINE SUSPENDED PARTICLES PM_{10} AND $PM_{2,5}$ ON THE EXAMPLE OF SAINT-PETERSBURG

O.V. Lozhkina; S.A. Malyshev; A.V. Khakhlenov.

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

The paper describes the results of experimental and computational investigations of roadside air pollution with hazardous fine suspended particles PM_{10} and $PM_{2,5}$ on the southern section of the Ring Road of Saint-Petersburg and in its vicinity. It has been found that under unfavorable transport and weather conditions, the concentrations of PM_{10} and $PM_{2,5}$ exceeded the corresponding standard limit values by 3,8–5,0 times and 3,3–5,0 times, respectively. Analysis of the dispersion composition has shown that in the PM_{10} fraction, the content of the more dangerous $PM_{2,5}$ is quite high – about 50,5 %. It has been determined that in the PM_{10} fraction, the share of exhaust particles and non-exhaust particles (deriving from tires, brake and road wear) is 51,3 and 48,7 %, respectively, and in the $PM_{2,5}$ fraction – 82,5 and 17,5 %, respectively.

Keywords: road transport process, monitoring, forecasting, air pollution, fine suspended particles PM_{10} and $PM_{2,5}$

Введение

Санкт-Петербург является одним из наиболее автомобилизированных городов Российской Федерации. По данным Федеральной службы статистики Российской Федерации

по состоянию на 1 января 2021 г. автопарк Северной столицы насчитывал 2 023 720 единиц автотранспорта, из них 1 771 034 легковых автомобиля, 231 735 грузовиков, 20 951 автобус (www.fedstat.ru). Высокие темпы автомобилизации в течение последних 20 лет привели к тому, что автотранспорт стал ключевым источником загрязнения воздуха города оксидом углерода, оксидами азота, мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$, диоксидом серы, полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ).

Классификационным признаком мелкодисперсных взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, определяющим их токсичность, в отличие от других поллютантов строгого химического состава, является размер – аэродинамический диаметр 2,5 или 10 мкм [1–4]. Микрочастицы с адсорбированными на их поверхности токсикантами (например ПАУ, альдегидами, тяжелыми металлами и др.) способны проникать в бронхи и легкие человека (частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$) и кровь ($PM_{2,5}$), вызывая патологические изменения дыхательной и сердечно-сосудистой систем [5–8].

Характерными особенностями автотранспортного процесса, как источника загрязнения воздушной среды частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ и другими поллютантами, являются нестационарность, повсеместность и эмиссия на уровне дыхания человека. В действующих расчетных методиках для прогнозирования выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных потоков учитываются только сажевые частицы, поступающие в атмосферу с отработавшими газами двигателей автомобилей [9–11].

В то же время процесс загрязнения атмосферы так называемыми «невыхлопными» частицами, поступающими в окружающую среду в результате истирания тормозных колодок, покрышек шин и дорожного полотна, несмотря на свою актуальность, слабо изучен в нашей стране.

Целью настоящей работы явилось экспериментально-расчетное исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ на Кольцевой автомобильной дороге (КАД) Санкт-Петербурга с определением вклада сажевых частиц и частиц, поступающих в результате износа фрикционных элементов, покрышек шин, дорожного полотна и суспендирования грязевых отложений.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран участок КАД Санкт-Петербурга (КАД СПб) от пересечения с ул. Софийской до пересечения с пр. Обуховской Обороны.

Одновременное непрерывное (в течение десятиминутного интервала времени) измерение концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$ в придорожном воздухе осуществляли с помощью двух одинаковых нефелометров DUSTTRAK 8530 (TSI Corporation, USA). Процесс измерения показан на рис. 1. Полевые эксперименты проводили в марте и апреле 2019 г.

Натурное обследование структуры и интенсивности движения автотранспортных потоков проводили в марте и апреле 2019 г. согласно методике [12].

В основу расчета эмиссии PM_{10} и $PM_{2,5}$ суммарно и отдельно по «выхлопным» и «невыхлопным» частицам были положены результаты исследования [13], а именно обоснованные в работе факторы эмиссии PM_{10} и $PM_{2,5}$ для учетных категорий АТС (легковых автомобилей, легкого коммерческого транспорта, грузовых автомобилей двух типов (от 3 до 12 т и более 12 т) и автобусов). Расчет выбросов от автотранспортных потоков проводили с использованием программного продукта «Магистраль» после актуализации исходных баз данных в соответствии с решаемыми задачами.

Численное исследование загрязнения воздушной среды опасными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ в окрестности изучаемого объекта проводили согласно Методическим рекомендациям [14] с использованием программного обеспечения «Эколог» (ООО «Интеграл», Российская Федерация).



Рис. 1. Процесс измерения концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздушной среде на КАД Санкт-Петербурга

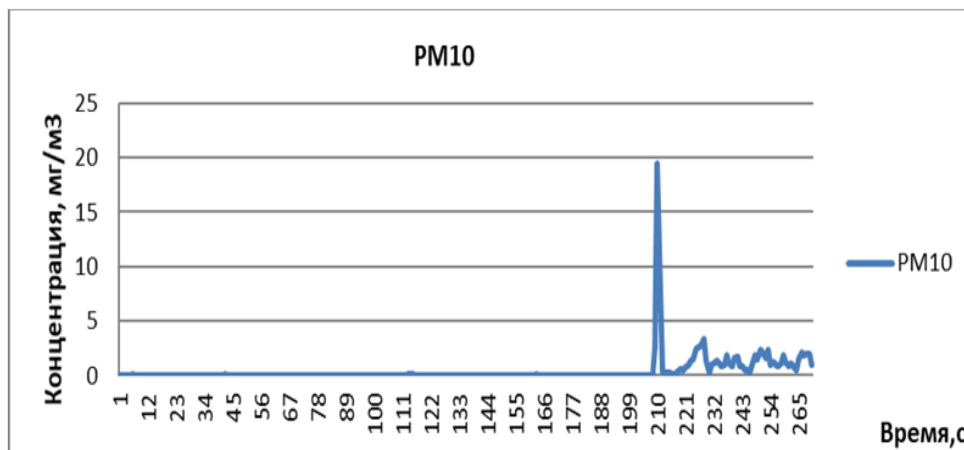
Результаты и обсуждение

Проведенные натурные обследования интенсивности движения автотранспортных потоков на КАД СПб показали ее существенное отличие по этому показателю от внутригородских дорог, для наиболее загруженных из которых плотность движения в часы пик не превышает 6 000 автомобилей в час (авт/ч), а в среднем составляет 2 000–4 000 авт/ч. На исследуемом участке КАД среднечасовая интенсивность движения в периоды максимальной загрузки значительно выше и составляет 9 915 легковых автомобилей, 684 автофургона, 336 грузовых автомобилей до 12 т, 939 грузовых автомобилей более 12 т, 15 автобусов – суммарно 11 889 автомобилей. При этом в структуре потока преобладают легковые автомобили, доля которых составляет 83,4 %, затем следуют грузовые автомобили с суммарной долей 10,7 %, потом автофургоны – 5,6 %, доля автобусов крайне мала – 0,3 %.

Результаты измерений концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$ показали, что при неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ) для оседания взвешенных частиц (длительной сухой погоде, умеренном или сильном ветре), а также высоком загрязнении обочин дорог грязевыми отложениями, характерными для Санкт-Петербурга в конце марта и начале апреля, вблизи КАД наблюдались опасно высокие концентрации PM_{10} ($C_{PM_{10}}=230,8\pm 31,4$ мкг/м³, что составляет 3,8 ПДК (ПДК $PM_{10}=60$ мкг/м³), и $PM_{2,5}$ ($C=116,7\pm 35,8$ мкг/м³, что составляет 3,3 ПДК (ПДК $PM_{2,5}=35$ мкг/м³). Анализ дисперсного состава взвешенных частиц показал, что содержание более опасного аэрозоля $PM_{2,5}$ во фракции PM_{10} достаточно высоко и составляет в среднем $50,5\pm 11,0$ %.

Кроме того, следует отметить, что натурные измерения содержания PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздухе на КАД СПб показали периодическое многократное (до 50 раз и более), но кратковременное превышение ПДК исследуемых поллютантов, когда вблизи нашей передвижной лаборатории проезжали автомобили с сыпучими материалами, уборочная техника или автомобили с неисправной топливной аппаратурой («дымящие»). В качестве примера на рис. 2 приведены диаграммы зарегистрированных временных флуктуаций концентраций PM_{10} на КАД СПб.

а)



б)

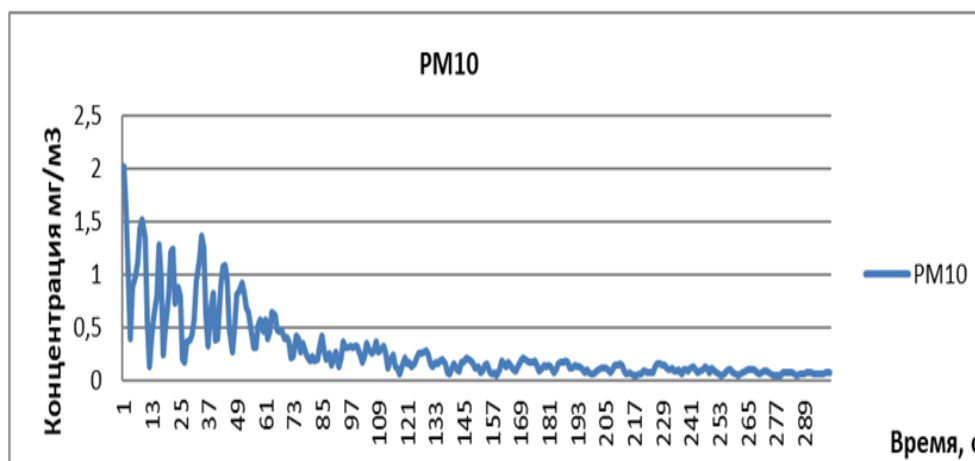


Рис. 2. Концентрационный профиль PM₁₀ на КАД СПб:

а) при проезде двух грузовых автомобилей с песком (временной интервал с 17:21 до 17:26 2 апреля 2019 г.); б) при проезде грузового автомобиля с неисправной топливной системой (временной интервал с 17:15 до 17:20 2 апреля 2019 г.)

Расчетные исследования эмиссии взвешенных частиц на КАД СПб, проведенные с помощью программного продукта «Магистраль» с использованием факторов эмиссии PM₁₀ и PM_{2,5}, установленных в работе [13], показали, что (табл.):

- во фракции частиц PM₁₀ доля частиц, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами и поступающих в окружающую среду в результате истирания покрышек шин, тормозных колодок и дорожного полотна соизмеримы и составляют соответственно 51,3 и 48,7 %;

- во фракции частиц PM_{2,5} доли частиц, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами и поступающих в окружающую среду вследствие износа покрышек шин, тормозных колодок и дорожного полотна, равны соответственно 82,5 и 17,5 %;

- доля частиц PM_{2,5} во фракции частиц PM₁₀ составила 63 %. Полученное значение хорошо коррелирует со значением, полученным в ходе натурных измерений – 51,3 %. Расхождение результатов составило 18,6 % и может быть объяснено недостаточным учетом наносных частиц, поступающих в придорожную атмосферу извне или в результате вторичного суспендирования грязевых отложений.

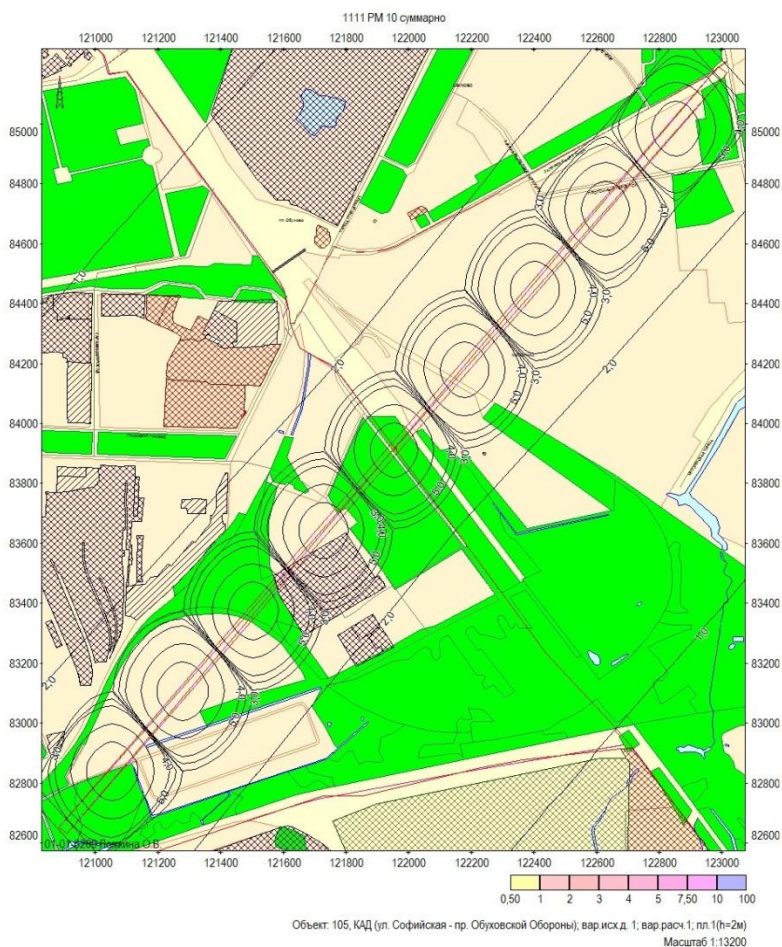
Таблица. Расчетная мощность выброса «выхлопных» и «невыхлопных» взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ на КАД СПб (на участке от пр. Обуховской Обороны до ул. Софийской)

Загрязнитель	Мощность выбросов PM , г/с,
PM_{10} суммарно	11,12
PM_{10} «выхлопные»	5,78
PM_{10} «невыхлопные» ($PM_b+PM_t+PM_r$)	5,34
$PM_{2,5}$ суммарно	7,01
$PM_{2,5}$ «выхлопные»	5,78
$PM_{2,5}$ «невыхлопные» ($PM_b+PM_t+PM_r$)	1,23

Примечание: PM_b , PM_t , PM_r – соответственно частицы, поступающие в воздушную среду за счет износа тормозных колодок, покрышек шин и дорожного полотна

Полученные результаты были в дальнейшем использованы для расчетного прогнозирования загрязнения придорожного воздуха на исследуемом участке КАД СПб мелкодисперсными взвешенными частицами. На рис. 3 в качестве примера приведены карты загрязнения воздушной среды на дороге и в прилегающих окрестностях частицами PM_{10} : суммарно «выхлопными» и «невыхлопными» частицами (а), аэрозольными частицами, выбрасываемыми с отработавшими газами (б), частицами, эмитируемыми вследствие износа покрышек шин, тормозных колодок и дорожного полотна (в).

а)



б)



в)



Рис. 3. Прогноз загрязнения придорожного воздуха на КАД СПб на участке от ул. Софийской до пр. Обуховской Обороны опасными частицами PM_{10} : а) суммарно; б) «взрывными»; в) «невзрывными» при неблагоприятных метеорологических условиях и высокой интенсивности движения

Показана возможность возникновения высокого локального загрязнения воздуха PM_{10} на максимально загруженных участках магистрали с превышением ПДК_{СС} до пяти раз и загрязнения воздушного бассейна прилегающих жилых кварталов с превышением ПДК_{СС} в 1,5–2,5 раз.

Заключение

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования на КАД Санкт-Петербурга и в прилегающих кварталах свидетельствуют о том, что проблема опасного загрязнения воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами характерна для весеннего периода с конца марта до первой половины апреля при длительной ясной погоде и высоком загрязнении городской улично-дорожной сети грязевыми отложениями. В таких условиях на высокозагруженных участках КАД Санкт-Петербурга (как например, на участке от ул. Софийской до пр. Обуховской Обороны, где интенсивность движения в часы пик составляет 11 889 автомобилей в час, а доля грузового транспорта превышает 10 %) имеет место формирование опасно высоких концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$, превышающих ПДК_{СС} соответственно в 3,8 и 3,3 раза. Расчетные прогнозные исследования подтвердили вероятность превышения ПДК частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ до пяти раз непосредственно на дороге и до 1,5–2,5 раз в прилегающих окрестностях.

Независимо от метеорологических условий, на дорогах города периодически (при проведении дорожных и земляных работ, сухой уборке городских улиц, проезде сильно дымящих грузовых автомобилей или грузовых автомобилей с пылящими сыпучими материалами) имеют место эпизоды краткосрочного локального экстремально высокого загрязнения воздушной среды ВЧ с многократным превышением ПДК_{МР} (до 50 и более раз).

Анализ дисперсного состава ВЧ по результатам экспериментальных исследований показал, что во фракции PM_{10} содержание более опасного аэрозоля $PM_{2,5}$ достаточно высоко и составляет 50,5 %, а по результатам расчетного исследования без учета наносных частиц (частиц, попадающих в придорожный воздух извне или в результате вторичного суспендирования грязевых отложений) – 63 %.

Результаты расчетного исследования также свидетельствуют о том, что около 50 % частиц PM_{10} поступают в воздушную среду в результате износа тормозных колодок, покрышек шин и дорожного полотна, то есть выбросы «выхлопных» и «невыхлопных» частиц при транспортном процессе сопоставимы.

Литература

1. Моделирование характеристик загрязнения воздуха атмосферными аэрозолями для практических приложений / Е.Л. Генихович [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2012. № 565. С. 49–78.
2. Spatial and chemical patterns of PM_{10} in road dust deposited in urban environment / Amato F. [et al.] // Atmospheric Environment. 2009. P. 1650–1659.
3. Traffic induced particle resuspension in Paris: Emission factors and source contributions / Amato F. [et al.] // Atmos. Environ. 2016. V. 129. P. 114–124.
4. Lozhkin V., Gavkalyuk B., Lozhkina O., Evtukov S., Ginzburg G. Monitoring of extreme air pollution on ring roads with $PM_{2,5}$ soot particles considering their chemical composition (case study of Saint Petersburg) // Transportation Research Procedia. 2020. V. 50. P. 381–388.
5. Воздействие взвешенных частиц на здоровье // Всемирная организация здравоохранения. 2013. 20 с.
6. Pope C.A. III Review: epidemiological basis for particulate air pollution health standards // Aerosol. Sci. Tech. 2000. V. 32. P. 4–14.
7. Pope C.A., Dockery D.W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect // J. Air Waste Manag. 2006. V. 56. P. 709–742.
8. Лим Т.Е., Чернявская И.В. Оценка риска для здоровья населения от воздействия выбросов автотранспорта // Санитарный врач. 2014. № 9. С. 12–15.

9. Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V. Smart Technologies for Decision-Support in the Management of Environmental Safety of Transportation in Big Port Cities // Marine Intellectual Technologies. 2020. Vol. 1. № 2 (48). P. 125–133.

10. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On Information Technology Development for Monitoring of Air Pollution by Road and Water Transport in Large Port Cities // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science. 2020. V. 1201. P. 384–396.

11. Lozhkina O., Lozhkin V., Seliverstov S., Kripak M. Forecasting of dangerous air pollution by cruise ships and motor vehicles in the areas of their joint influence in Sevastopol, Vladivostok and St. Petersburg // Water and Ecology. 2020. № 1 (81). P. 38–50.

12. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга (утв. распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга от 29 янв. 2019 г. № 33-р.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

13. Невмержицкий Н.В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2016. 154 с.

14. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 6 июня 2017 г. № 273. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».



ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.841.2.001.5

ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

**И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
М.Ю. Принцева, кандидат технических наук;
О.В. Лобатова.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Изучена возможность применения инфракрасной спектроскопии при установлении факта огнезащиты и определении компонентного состава огнезащитных вспучивающихся покрытий для металлоконструкций. На примере трех огнезащитных покрытий разных производителей приведена расшифровка ИК-спектров и определены основные характеристические полосы, по которым возможно отнесение лакокрасочного покрытия к огнезащитному. Определены характеристические полосы поглощения основных компонентов огнезащитных вспучивающихся покрытий, которые могут быть реперами при отнесении покрытия к огнезащитному. Показано, что метод инфракрасной спектроскопии может применяться при производстве пожарно-технических экспертиз для установления компонентного состава наиболее распространенных огнезащитных покрытий для металлоконструкций.

Ключевые слова: огнезащита, огнезащитные вспучивающиеся покрытия, пожарно-техническая экспертиза, инфракрасная спектроскопия, интумесцентные покрытия

EXPERT STUDY OF FLAME-RETARDANT INTUMESCENT COATINGS FOR METAL STRUCTURES BY INFRARED SPECTROSCOPY

I.D. Cheshko; M.Yu. Printseva; O.V. Lobatova.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The possibility of using infrared spectroscopy in determining the fact of fire protection and determining the component composition of fire-resistant intumescent coatings for metal structures is studied. Using the example of three fire-resistant coatings from different manufacturers, the IR-spectra are deciphered and the main characteristic bands are determined, according to which it is possible to classify the paint coating as fire-resistant. The characteristic absorption bands of the main components of fire-resistant intumescent coatings, which can be reference points when referring to a fire-resistant coating, are determined. It is shown that the method of infrared

spectroscopy can be used in the production of fire-technical examinations to determine the component composition of the most common fire-resistant coatings for metal structures.

Keywords: fire protection, fire-resistant intumescent coatings, fire-technical expertise, infrared spectroscopy, intumescent coatings

В пожарно-технической экспертизе имеется ряд задач, решение которых невозможно без применения инструментальных методов – специальных или общезначимых. К таковым относится изучение огнезащитных составов, определение наличия и качества огнезащитной обработки на различных конструкциях [1, 2].

Огнезащита металлических конструкций, учитывая относительно низкую огнестойкость последних, представляет весьма актуальную задачу. Периодически в процессе эксплуатации качество нанесенных покрытий необходимо проверять, а проблема разработки апробированного метода до сих пор не решена, несмотря на большой объем исследований. В этом направлении и в целом интересные результаты получены в работах [3, 4]. Авторами данной статьи при решении указанных задач помимо методов оптической и сканирующей микроскопии, рентгенофазового и термического анализа был выбран метод ИК-спектроскопии. Такой выбор обусловлен достаточно высокой его информативностью, а также наличием необходимых приборов (ИК Фурье-спектрометров) в судебно-экспертных учреждениях МЧС России.

Целью работы было исследование данным методом наиболее распространенных покрытий и выявление в ИК-спектрах характеристичных полос, позволяющих решать идентификационные и классификационные задачи.

Известно, что в качестве компонентов огнезащитных покрытий для металлоконструкций чаще всего используются вспучивающиеся покрытия, содержащие три основных группы коксообразователей. Как правило, это многоатомные спирты или полиолы, катализаторы (неорганические кислоты или вещества, выделяющие кислоту при 100–250 °С) и вспенивающие агенты (органические амины или амиды, некоторые неорганические соли, способные при термическом разложении выделять значительное количество негорючих газов, как правило, это карбонаты щелочных металлов и аммонийные соли) [5, 6].

Оптимальными, как показывает практика, являются вспучивающиеся составы на основе тройной интумесцентной смеси, включающей меламин, пентаэритрит и полифосфат аммония. Так, меламин обычно называют источником вспучивающих газов, пентаэритрит – коксообразователем, а полифосфат аммония (ПФА) – кислотодонорным агентом [7–9].

Помимо огнезащитных компонентов в такие композиции входят связующее, наиболее часто представляющее собой либо водную дисперсию, либо раствор полимера, а также дополнительные компоненты, например, пигменты, наполнители различной природы, пластификаторы, загустители, смачиватели, консерванты и другие добавки.

В работе исследовались ИК-спектры трех огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВП) разных производителей (Firetex FX4002, Sternfire EX и Инфлекс-ФО-11, далее соответственно именуемые ОВП1, ОВП2 и ОВП3) с целью определения основных полос поглощения, относящихся к огнезащитным компонентам. Образцы перед исследованием наносились при помощи кисти на металлическую подложку и высушивались при комнатной температуре до постоянного веса.

ИК-спектры снимали на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1201 (производство «Инфраспек», Санкт-Петербург) в диапазоне 4 000–400 см⁻¹. ИК-спектры огнезащитных покрытий были получены с использованием метода таблетирования с бромидом калия (KBr) [10].

На рис. 1 представлены ИК-спектры исследуемых огнезащитных покрытий. Из рис. 1 видно, что ИК-спектры данных покрытий схожи по основным полосам поглощения.

Группа полос поглощения в диапазоне 3 000–2 800 см⁻¹ относится к валентным колебаниям связей С-Н метильных и метиленовых групп, полосы поглощения 1 468 и 1 383 см⁻¹ относятся к симметричным и антисимметричным деформационным колебаниям связей С-Н метильных и метиленовых групп.

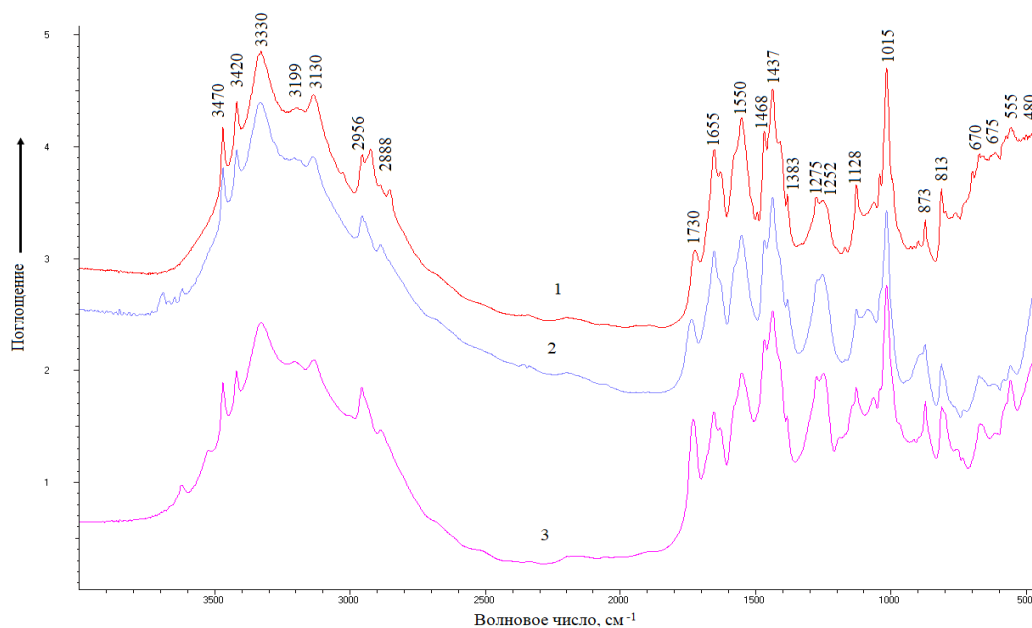


Рис. 1. ИК-спектры огнезащитных вспучивающихся покрытий:
1 – ОВП1; 2 – ОВП2; 3 – ОВП3

При сравнении ИК-спектров огнезащитных покрытий с ИК-спектрами основных компонентов огнезащитных составов – меламина, пентаэритрит и полифосфат аммония были сделаны попытки выделить основные полосы поглощения, относящиеся к этим трем компонентам (рис. 2–4).

На рис. 2 представлены ИК-спектры исследуемых огнезащитных покрытий и пентаэритрита. Известно [5], что пентаэритрит $C(CH_2OH)_4$ – это четырехатомный спирт с разветвленной углеродной цепью, вводимый в огнезащитные покрытия как источник углерода или карбонизирующий агент. К валентным колебаниям группы О-Н в пентаэритрите относится широкая полоса в области $3\ 400\text{--}3\ 200\text{ см}^{-1}$ ($3\ 330\text{ см}^{-1}$), к валентным колебаниям С-О связи и плоскостным деформационным колебаниям О-Н связи соответствуют полосы поглощения $1\ 275$, $1\ 128$, $1\ 015$ и 873 см^{-1} [11–13]. Эти же полосы поглощения присутствуют и на спектрах огнезащитных покрытий ОВП1–ОВП3.

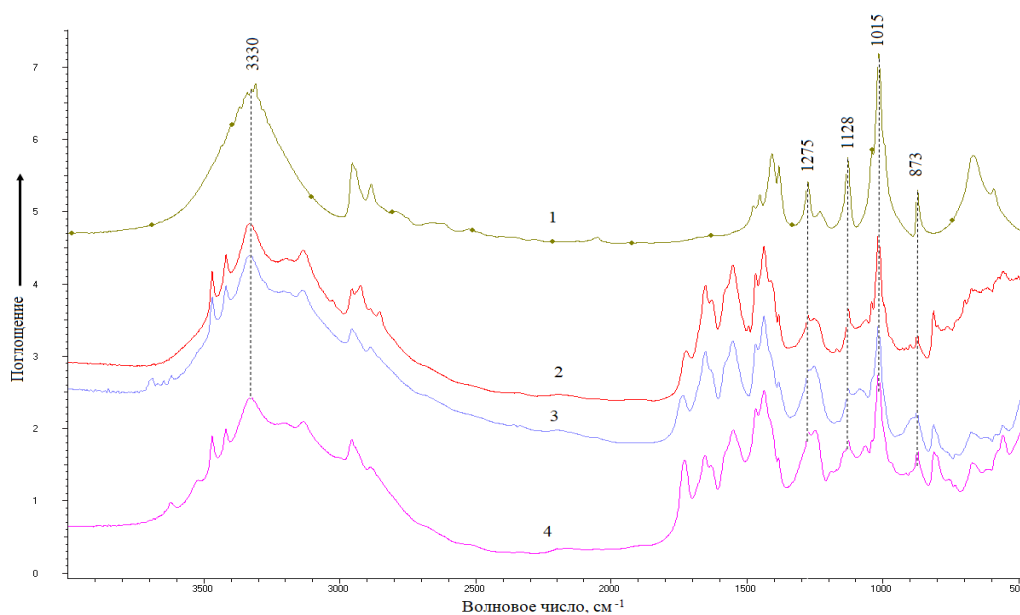


Рис. 2. ИК-спектры огнезащитных вспучивающихся покрытий и пентаэритрита:
1 – пентаэритрит; 2 – ОВП1; 3 – ОВП2; 4 – ОВП3

В качестве газообразователя (пенообразователя) для вспучивающихся покрытий чаще всего применяют меламин. Меламин представляет собой органическое соединение с формулой $C_3H_6N_6$ и является тримером цианамид, в основе структуры которого находится 1,3,5-триазин [14]. Полосы поглощения на ИК-спектре меламина и исследуемых ОВП в области $3\ 500\text{--}3\ 300\text{ см}^{-1}$ ($3\ 470$, $3\ 420$, $3\ 130\text{ см}^{-1}$) относятся к валентным колебаниям N-H группы, а полосы поглощения в области $1\ 650\text{--}1\ 510\text{ см}^{-1}$ ($1\ 655$ и $1\ 550\text{ см}^{-1}$), а также полоса 813 см^{-1} – к деформационным колебаниям N-H группы и валентным колебаниям C-N группы (рис. 3).

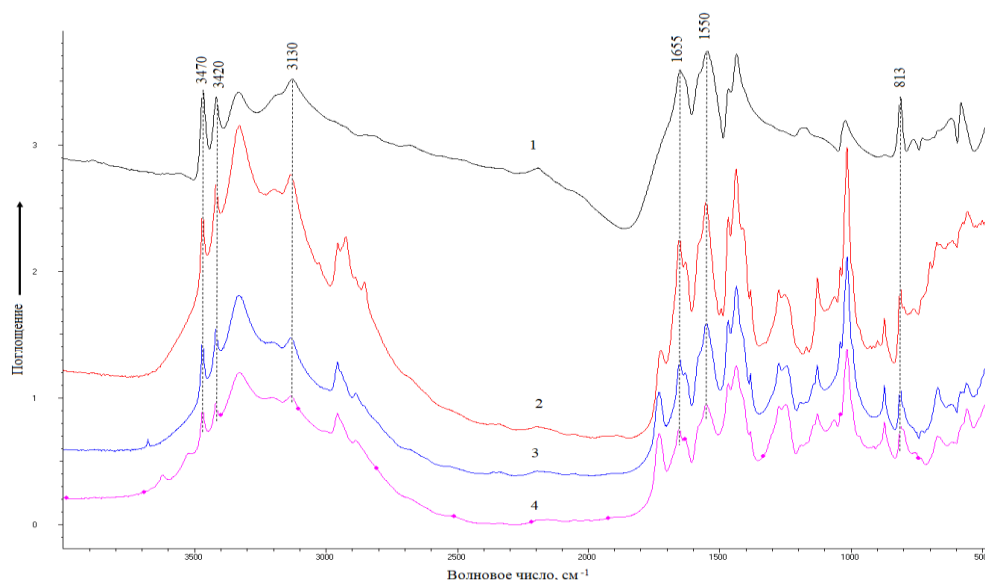


Рис. 3. ИК-спектры огнезащитных вспучивающихся покрытий и меламина:
1 – меламин; 2 – ОВП1; 3 – ОВП2; 4 – ОВП3

Полифосфат аммония $(NH_4PO_4)_n$ – неорганическая соль фосфорной кислоты, являющаяся источником кислоты во вспениваемых огнезащитных добавках. Полосы поглощения $3\ 199$ и $1\ 437\text{ см}^{-1}$ относятся к валентным и деформационным колебаниям иона аммония в ПФА. Полоса поглощения $1\ 252\text{ см}^{-1}$ относится к связи $P=O$, полосы 555 и 480 см^{-1} относятся к колебаниям PO_2 и PO_3 [15–17]. Данные полосы поглощения присутствуют на ИК-спектрах исследуемых ОВП (рис. 4).

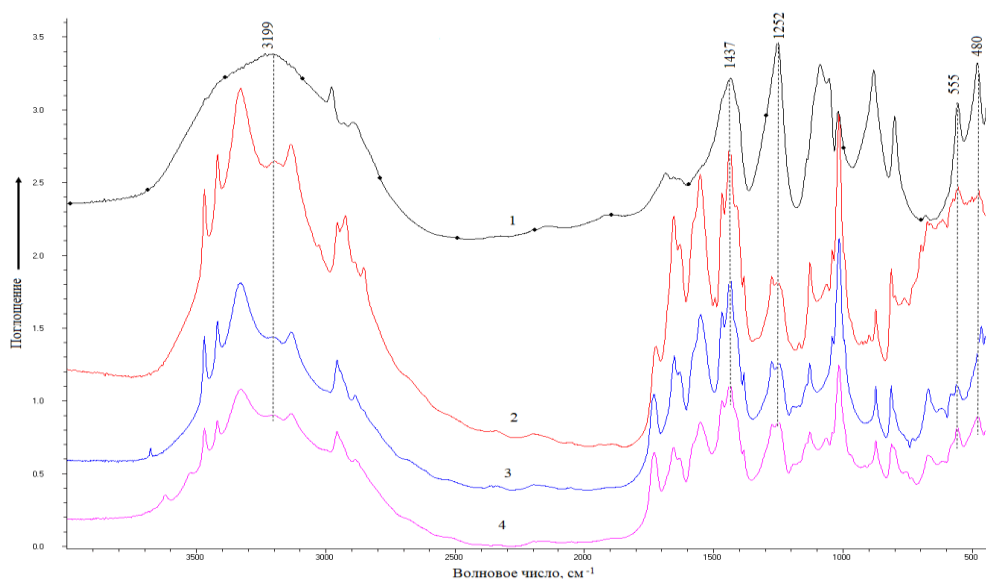


Рис. 4. ИК-спектры огнезащитных вспучивающихся покрытий и ПФА:
1 – ПФА; 2 – ОВП1; 3 – ОВП2; 4 – ОВП3

Присутствие малоинтенсивных полос поглощения на ИК-спектрах исследуемых ОВП в области $670\text{--}450\text{ см}^{-1}$ говорит о наличии в исследуемых покрытиях различных неорганических соединений типа оксидов, гидроксидов и т.д. различных металлов, которые могут входить в качестве наполнителей, неорганических пигментов в состав лакокрасочных покрытий.

В таблице представлены характеристические полосы поглощения, относящиеся к огнезащитным компонентам, которые могут служить реперами при отнесении лакокрасочного покрытия к огнезащитному.

Таблица. **Характеристические ИК полосы поглощения основных компонентов ОВП**

Полоса поглощения, см^{-1}	Функциональная группа	Типы колебаний	Компонент ОВП
3 600–3 200 (3 330)	О-Н	Валентные	Пентаэритрит
1 400–1 200; 1 200–900 (1 275, 1 128, 1 015, 873)	О-Н С-О	Деформационные Валентные	
3 500–3 000 (3 470, 3 420, 3 130)	Н-Н	Валентные	Меламин
1 650–1 550 (1 655, 1 550); 850–700 (813)	Н-Н	Деформационные	
3 335–3 030 (3 199)	NH_4^+	Валентные	ПФА
1 485–1 390 (1 437)		Деформационные	
1 300–1 200 (1 252)	Р=О	Валентные	
(600–500) 555, 480	PO_2, PO_3	Деформационные	

Таким образом, проведенные исследования огнезащитных вспучивающихся покрытий методом ИК-спектроскопии показали, что метод может успешно применяться при производстве пожарно-технических экспертиз для установления компонентного состава (состава функциональных групп) наиболее распространенных огнезащитных покрытий. Приведены основные полосы поглощения, которые указывают на присутствие конкретных компонентов, ответственных за огнезащитные свойства покрытия. Появляются основания для решения вопроса о принадлежности исследуемого покрытия к числу огнезащитных.

Литература

1. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: метод. рекомендации / Е.Д. Андреева [и др.]. М.: ВНИИПО, 2013. 59 с.
2. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.
3. Исследование огнезащитных вспучивающихся покрытий при их эксплуатации методами рентгенофазового, термического анализов и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. № 3. С. 25–31.
4. Исследование старения огнезащитных вспучивающихся покрытий методами СЭМ, XRD и ИК-спектроскопии / М.Ю. Умрихина [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 5. С. 60–70.
5. Павлович А.В., Дринберг А.С., Машляковский Л.Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: ООО Издательство «ЛКМ-пресс». 2018. 488 с.
6. Халтуринский Н.А., Крупкин В.Г. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия механизм теплозащиты // Горение и взрыв. 2012. № 5. С. 204–209.

7. Свойства огнезащитных вспучивающихся покрытий / А.В. Павлович [и др.] // ЛакоКрасочная Промышленность. 2012. № 8. С. 18–23.
8. Халтуринский Н.А., Рудакова Т.А. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий // Известия ЮФУ (Технические науки). 2013. № 8. С. 215–220.
9. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония (обзор литературы) // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 8. С. 11–58.
10. Андреева Е.Д., Чешко И.Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с места пожара: методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2010. 91 с.
11. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
12. Преч Э., Бюлманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 438 с.
13. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 557 с.
14. Новый справочник химика и технолога. Основные свойства неорганических, органических и элементоорганических соединений. СПб.: АНО «Мир и Семья», 2002. 1 280 с.
15. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 590 с.
16. Плюснина И.А. Инфракрасные спектры минералов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 175 с.
17. Лунева Н.К., Езовитова Т.И. Фосфорилирование целлюлозы смесью ортофосфорной кислоты и полифосфата аммония в среде карбамида // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87. Вып. 10. С. 1 512–1 520.

УДК 614.841.2.001.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ

Ю.Н. Елисеев, кандидат технических наук;

А.В. Мокряк.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Пожары (взрывы), связанные с взрывами газовых баллонов, относятся к числу наиболее сложных и в то же время наиболее интересных с экспертной точки зрения. Взрывы газовых баллонов могут произойти в результате ряда причин (таких как нарушение эксплуатации, механического воздействия, дефекта, переполнения, теплового воздействия). Подобные нарушения влекут за собой разгерметизацию газового баллона, что может стать причиной пожара. В данной статье рассматриваются возможности применения инструментальных методов и показаны примеры практического применения при производстве пожарно-технических экспертиз, связанных со взрывами газовых баллонов.

Ключевые слова: судебная пожарно-техническая экспертиза, взрыв, сосуды, работающие под давлением, баллоны

APPLICATION OF INSTRUMENTAL METHODS IN THE STUDY OF GAS CYLINDERS

Yu.N. Eliseev; A.V. Mokryak.

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

Fires (explosions) associated with gas cylinder explosions are among the most complex and at the same time the most interesting from an expert point of view. Gas cylinder explosions can occur as a result of a number of reasons (such as a violation of operation, mechanical impact, defect, overflow, heat exposure). Such violations entail depressurization of the gas cylinder, which can cause a fire. This article discusses the possibilities of using instrumental methods and shows examples of practical application in the production of fire and technical expertise related to gas cylinder explosions.

Keywords: forensic fire and technical expertise, explosion, pressure vessels, cylinders

Газы используются во многих технологических процессах: на стройках, при сварочных работах, в бытовых условиях. Процесс заполнения баллонов газами и работа с ними являются достаточно пожароопасными операциями. Во время взрыва (разгерметизации) могут быть повреждены не только объекты, но и могут произойти серьезные человеческие потери. Применение ряда инструментальных методов поможет пожарно-техническому эксперту в установлении причины разгерметизации газового баллона.

С помощью визуального контроля можно обнаружить отклонения формы деталей и изделий, изъяны материала и обработки поверхности, а также другие дефекты: остаточную деформацию, поверхностную пористость, крупные трещины, подрезы, риски, задиры, эрозионные и коррозионные поражения, следы наклепа и др.

На рис. 1 приведены фотографии фрагментов сварного соединения верхней обечайки и горловины баллона. Исследованиями сварного шва приварки горловины баллона к обечайке показало, что сварной шов выполнен со значительным числом дефектов, так, например, линейные размеры валика резко отличаются по длине шва, имеются поры, подрезы, непровары и другие дефекты. Таким образом, шов приварки горловины к верхней обечайке баллона не удовлетворяет требованиям п. 2.11 ГОСТ 15860–84 [1, 2].



а)



б)

Рис. 1. Дефекты сварного соединения верхней обечайки и горловины баллона

Так же можно провести измерительный контроль размеров баллона только по одному параметру, а именно фактической толщине стенки металла. В табл. 1 приведены нормативные данные и фактические замеры, выполненные на газовом баллоне.

Измерение массы и емкости баллона проводится с целью оценки возможного утончения его стенок вследствие коррозии и других явлений. При потере массы более чем на 5 % и увеличении емкости более чем на 1,5 % баллоны используют при сниженном давлении. При потере массы более чем на 20 % или увеличении емкости более чем на 30 % баллоны не допускают к дальнейшей эксплуатации.

Исходя из результатов измерений, приведенных в табл. 1, потеря составляет более 20 %, следовательно, данный газовый баллон не должен был допускаться к дальнейшей эксплуатации [3, 4].

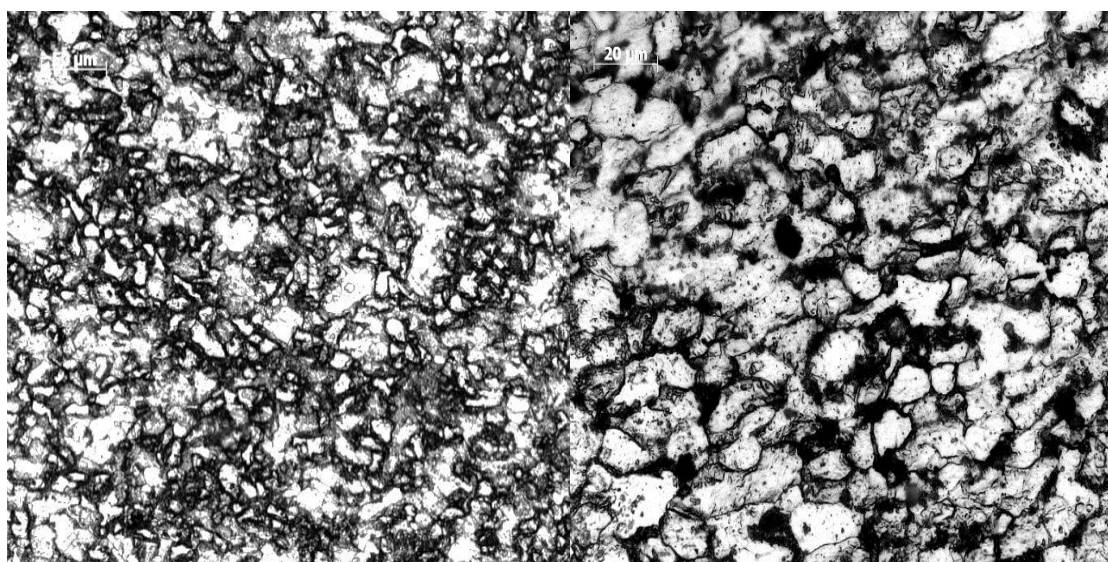
Таблица 1. Размеры толщины стенки корпуса баллона по ГОСТ 15860–84 и газового баллона (рис. 1)

№	Показатель		Величина	
			нормативная	фактическая
1	толщина стенки, мм	за пределами зоны разрушения у горловины	2,0	1,56–1,72
		в зоне разрушения		1,56–1,69

Материал, из которого изготовлен корпус газового баллона, должен соответствовать либо стали 20 по ГОСТ 1050–2013, либо Ст3 по ГОСТ 380–2005, обечайки – Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Благодаря методам спектрального анализа и анализу микроструктуры, пожарно-технический эксперт может определить химический состав корпуса баллона.

На рис. 2 представлена микроструктура фрагмента газового баллона.



а) 200^x

б) 500^x

Рис. 2. Микроструктура фрагмента газового баллона

Химические составы сталей по ГОСТ 1050–2013 и ГОСТ 380–2005, а также результаты химического анализа образца приведены в табл. 2.

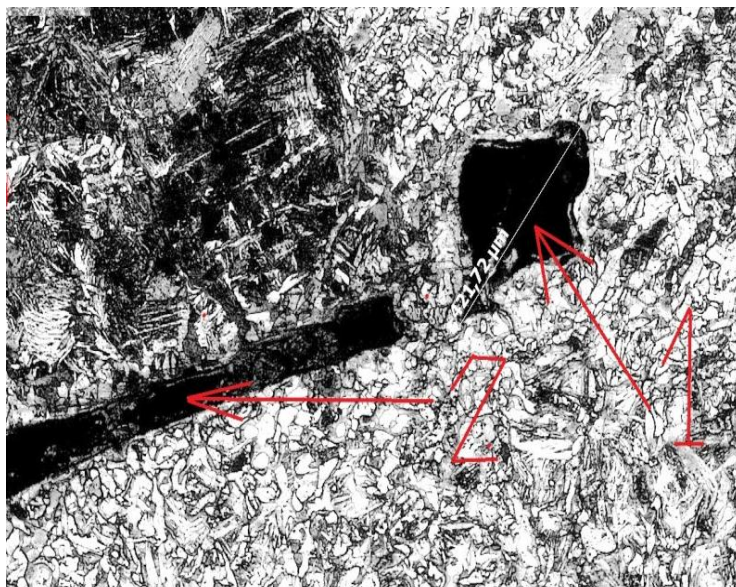
Таблица 2. Химический состав сталей и результаты исследований химического состава металла газового баллона

Сталь	ГОСТ	Химические элементы					
		С	Mn	Si	Cr	S	P
						не более	
Масс. %							
Ст3пс	380–2005	0,14–0,22	0,40–0,65	0,05–0,15	–	0,05	0,04
Ст3сп		0,14–0,22	0,40–0,65	0,15–0,30	–	0,05	0,04
20пс	1050–88	0,17–0,24	0,35–0,65	0,05–0,17	0,25	0,04	0,035
20		0,17–0,24	0,35–0,65	0,17–0,37	0,25	0,04	0,035
Исследования рис. 2 а		0,18	0,42	0,16	0,09	0,031	0,023
Исследования рис. 2 б		0,19	0,44	0,15	0,06	0,027	0,019

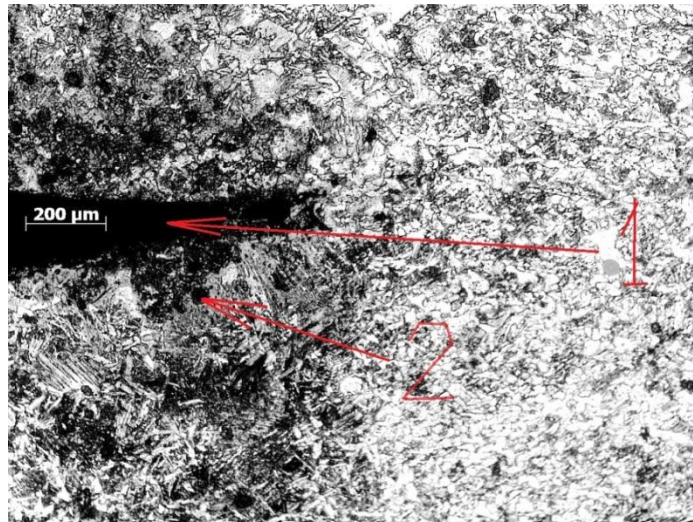
Как следует из приведенных данных, химический состав исследуемого газового баллона соответствует требованиям п. 2.3 ГОСТ 15860–84.

С помощью металлографического исследования отслеживают изменения состояния структуры металла. Основным дефектом, выявляемым при исследовании взорвавшихся газовых баллонов, является наличие пор и непроваров сварных швов. Поры и непровары появляются при нарушении технологии сварки. Для получения достоверных результатов изготавливаются микрошлифы зон исследования. На неразрушившемся участке шва непровар при травлении проявляется в виде темной риски, представляющий собой резкую границу между литой структурой шва и структурой листовой стали [5, 6].

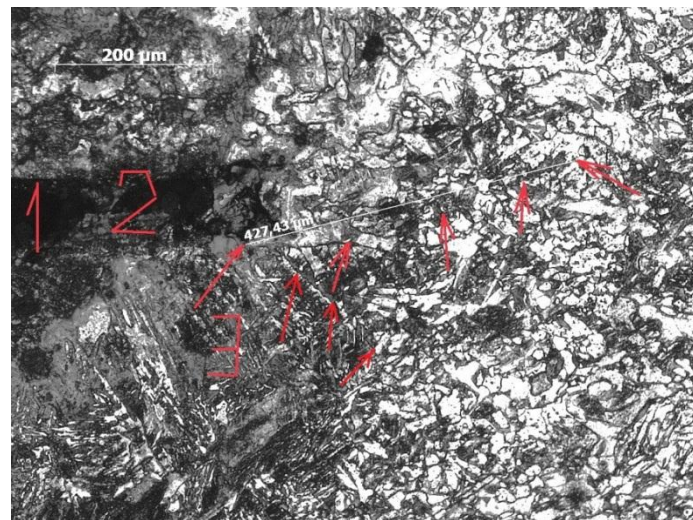
На рис. 3 приведены микроструктуры и дефекты, обнаруженные в зоне разрушения баллона и на удаленных от зоны разрушения участках сварного соединения обечайки и горловины баллона.



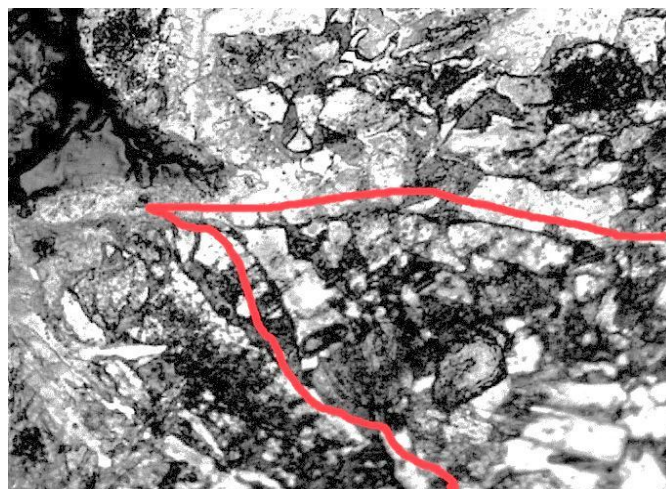
а) 1 – поры в корне шва диаметром более 0,4 мм; 2 – непровар в корне шва, 100^x



б) 1 – непровар в корне шва; 2 – мелкие поры в корне шва диаметром не более 0,1 мм



в) 1 – непровар в корне шва; 2 – скопление продуктов коррозии в зоне непровара; 3 – V-образная усталостная трещина длиной около 0,5 мм



г) траектория трещины от непровара сварного шва вглубь металла обечайки, 500^x

Рис. 3. Микроструктура металла обечайки и дефекты сварного соединения

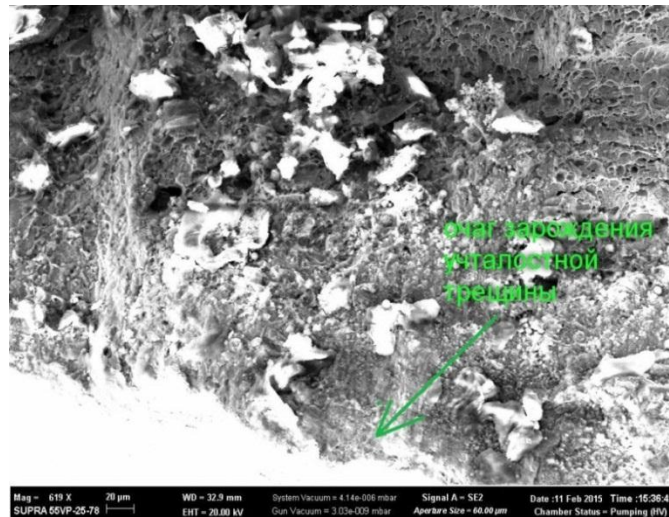
Анализ микроструктуры основного металла горловины и обечайки баллона за пределами зоны разрушения (что можно считать исходной структурой металла) показал, что структура металла обоих элементов соответствует требованиям к структуре углеродистых сталей, содержащих 0,15–0,20 % масс. углерода.

В зоне термического влияния сварного шва микроструктура металла обечайки носит ярко выраженный характер структуры Видманштетта – игольчатого феррита (3–4 балла по шкале 4 ряд А). Такая структура возникает при ускоренном охлаждении, в данном случае – металл зоны термического влияния сварного шва обладает пониженной вязкостью и пластичностью и пониженной стойкостью к развитию дефектов.

Анализ зоны сварного соединения горловины и обечайки показал, что сварное соединение выполнено с большим количеством недопустимых дефектов – непроваров, пор и т.п. В ходе эксплуатации баллона (при многократных заполнениях и опорожнениях баллона) эти дефекты привели к возникновению и росту множественных микротрещин усталостного характера, развитие одной из которых в ходе пожара привело к разрушению баллона.

Электронная микроскопия – один из самых универсальных методов исследования для изучения и анализа микроструктуры морфологии и характеристики химического состава исследуемого образца. Применение электронной микроскопии позволяет дать оценки ключевым особенностям материалов, включая топографию поверхности, размер зерен и химический состав [7, 8].

Пример применения электронной микроскопии для исследования поверхности разрушений на корпусе газовых баллонов представлен на рис. 4.



а) зона зарождения усталостной микротрещины



б) очаг зарождения усталостной трещины



в) ступенька движения (замедленного развития) усталостной трещины

Рис. 4. Поверхность разрушений на корпусе газового баллона, СЭМ

Результат исследования показал зарождение очага усталостной трещины и траекторию ее движения. Причина возникновения трещины – некачественный сварной шов приварки горловины к верхней обечайке баллона [9].

Для оценки соответствия качества металла обечайки требованиям нормативно-технической документации на материал проводятся исследования механических свойств металла на одноосное статическое растяжение.

Внешний вид образца после испытания приведен на рис. 5, а результаты испытаний в табл. 3 и на диаграмме, показанной на рис. 6.



Рис. 5. Внешний вид образца после испытаний

Таблица 3. Результаты испытаний на растяжение плоского образца

Температура испытания, °С	20
Ширина, мм	9,63
Толщина, мм	2,17
Длина раб. части L, мм	24,98
Конечная длина L _к , мм	30,64
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, кН	8,89
Предел текучести (0,2 %), МПа	425,4
Максимальная нагрузка, кН	10,06
Врем. сопротив., МПа	481,4
Относительное остаточное удлинение при разрыве, %	22,66

График "Нагрузка - удлинение "

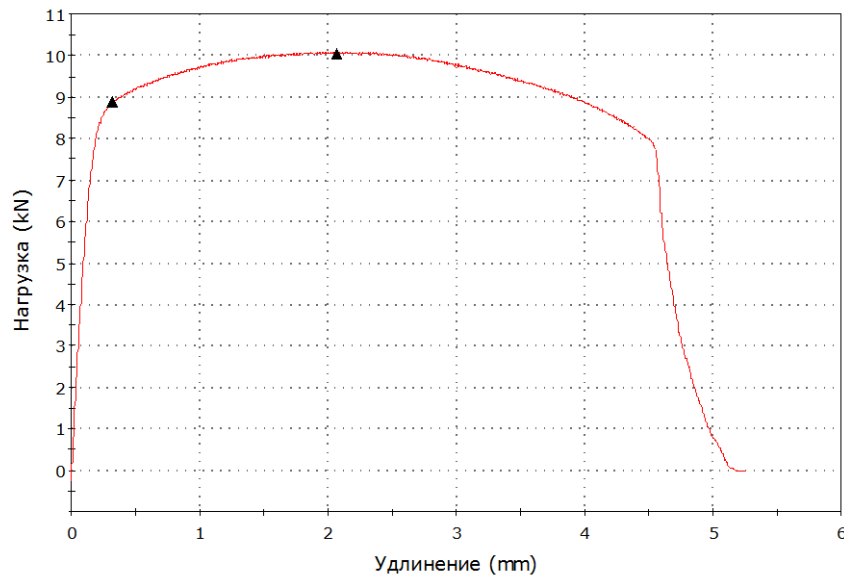


Рис. 6. Диаграмма растяжения образца

По результатам испытаний установлено, что прочностные свойства металла верхней обечайки баллона полностью соответствуют требованиям указанных нормативно-технических документов (ГОСТ 1050–88 – временное сопротивление (не менее) – сталь 15 – 370 МПа, сталь 20 – 410 МПа, предел текучести (не менее) сталь 15 – 225 МПа, сталь 20 – 245 МПа; ГОСТ 380–2005 не регламентирует механические свойства сталей). Относительное удлинение в испытанном образце оказалось несколько меньше допустимого по ГОСТ 1050–88 для стали 15 – не менее 27 %; для стали 20 – 25 %. По результатам исследований относительное удлинение образца составило 23 %, однако такие значения соответствуют свойствам сталей, производимых по ГОСТ 380–2005, и не могут быть признаны браковочными [7, 8].

Таким образом, испытаниями механических свойств металла обечайки баллона было подтверждено соответствие этих свойств требованиям п. 2.3. ГОСТ 15860–84 [10].

В результате комплексного применения инструментальных методов при экспертном исследовании взорвавшихся газовых баллонов пожарно-технический эксперт может установить условия и причину, которые привели к взрыву газового баллона и пожару.

Литература

1. ПБ 03-576–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 17.02.2021).
2. Чешко И.Д., Мокряк А.Ю., Мокряк А.В. Причины и последствия взрыва кислородного баллона // Расследование пожаров: сб. статей / под общ. ред. И.Д. Чешко. СПб., 2019. С. 225–230.
3. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО МВД России, 1998. 599 с.
4. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: ООО «Береста», 2012.
5. Металлографические и морфологические исследования металлических объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / А.Ю. Мокряк [и др.]; под общ. ред. Э.Н. Чижикова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016. 160 с.
6. Колмаков А.И. Методика приготовления металлографических шлифов металлических объектов, поступающих на экспертизу: метод. рекомендации. М.: ЭКЦ МВД России, 1996.

7. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия. М.: Техносфера, 2008. 232 с.
8. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. 632 с.
9. Юхин Н.А. Дефекты сварных швов и соединений. М.: Изд-во СОУЭЛО, 2007. 57 с.
10. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов. 10-е изд., перераб. и доп. Сер.: Механика в техническом университете. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. Т. 2. 592 с.

УДК 614.845.1

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

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 к порошковым огнетушителям, в части эффективности их конструктивного исполнения. Предложен вариант исполнения порошкового огнетушителя, устраняющий конструктивные недостатки, присущие системе хранения и транспортировки огнетушащего порошкового состава внутри корпуса огнетушителя, учитывающий безразмерный комплекс эффективности и результаты его натуральных огневых испытаний.

Ключевые слова: огнетушитель, огнетушащий порошок, конструкция, пористая емкость, твердые частицы, движение, эффективность, испытания

JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS AND DEVELOPMENT OF POWDER FIRE EXTINGUISHERS OF A PROMISING DESIGN FOR EXTINGUISHING FIRES AT OIL AND GAS INDUSTRY FACILITIES

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 powder fire extinguishers in terms of the effectiveness of their design are considered. A variant of the powder fire extinguisher design is proposed, which eliminates the design shortcomings inherent in the system of storage and transportation of the fire extinguishing powder composition inside the fire extinguisher body, taking into account the dimensionless efficiency complex and the results of its full-scale fire tests.

Keywords: fire extinguisher, fire extinguishing powder, construction, porous container, solid particles, movement, efficiency, tests

Порошковые огнетушители (ОП), выпускаемые в России, имеют ряд недостатков. Основным из них является несовершенная система транспортировки огнетушащего

порошкового состава (ОПС) внутри корпуса огнетушителя, вследствие чего после выхода газа-вытеснителя его остаток в корпусе нередко превышает значения, установленные требованиями нормативных документов 15 % [1, 2].

Недостатки, присущие системе транспортировки ОПС внутри корпуса огнетушителя, устранены путем обоснования требований, предъявляемых к показателям назначения порошковых огнетушителей с учетом теоретических представлений о процессе движения частиц.

Требования к показателям, определяемым для ОП, можно условно разделить на «эксплуатационные» и «технические». Последние из них напрямую влияют на его назначение – огнетушащую способность.

Именно длина струи ОПС, масса оставшегося порошка и начальное значение давления в корпусе огнетушителя напрямую влияют на конечную цель применения порошкового огнетушителя – тушение очага горения. Анализ и обоснование требований, предъявляемых к ним, и их экспериментальное исследование помогут найти решения по повышению эффективности ОП.

Целью применения любого порошкового огнетушителя является успешная ликвидация возможного возгорания. В реальных условиях на объектах нефтегазовой отрасли, как правило, происходит горение не какого-то одного конкретного вида горючего материала, а нескольких видов, причем не редко в различных агрегатных состояниях. Следовательно, при прочих равных условиях, результат тушения наиболее эффективен при максимальном выходе огнетушащего порошка из корпуса огнетушителя.

Таким образом, главной задачей становится обоснование рациональных требований к параметрам ОП, определяющих полноту вытеснения огнетушащего порошка.

В результате проведенных натурных испытаний, а также анализа требований, предъявляемых к показателям назначения, внутренней системе хранения и транспортирования огнетушащего порошка, определены параметры, влияющие на эффективность. Для проведения данных испытаний взяты серийно выпускаемые, прошедшие процедуру подтверждения соответствия, огнетушители различных производителей и конструкций, а также экспериментальные и перспективные модели ОП. Каждая модель ОП подвергалась испытаниям не менее пяти раз. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения параметров показателей назначения порошкового огнетушителя

Модель ОП	$L_{\text{струи}}$, не менее, м		$\tau_{\text{подачи}}$, не менее, с		$P_{\text{раб}}$, МПа		Остаток ОПС, не более, %	
	треб.	фактич	треб.	фактич	треб.	фактич	треб.	фактич.
ОП-1(з)-АВСЕ	Не менее 2	2÷3	Не менее 6	6	В соответствии с технической документацией	1,6	Не более 15	6,7÷18,4
ОП-1(з)-АВС		2		5÷6		1,2÷1,4		36,2÷45,3
ОПэ-1		3÷4		6		0,8		1,5÷3,5
ОП-2(г)-АВСЕ-01		2÷4		7		1,2÷1,4		13,2÷19,5
ОП-2(з)-АВСЕ		3÷4		6÷7		1,4÷1,6		8,1÷18,1
ОП-2(з) – АВСЕ МИГ		4÷5		7÷8		1,6		3,8÷5,0
ОПэ-2		5÷6		7÷8		0,8		1,8÷2,9
ОП-4(з)-АВСЕ МИГ	Не менее 3	3÷5	Не менее 8	8÷9		1,4÷1,6		5,0÷8,3
ОП-4(з)-АВСЕ		3÷5		8		1,2÷1,6		9,0÷17,4

Нормативными документами не учитывается распределение основной массы ОПС во всем временном диапазоне выхода (только в средней трети временного промежутка).

По результатам проведенных экспериментов за значения длины $L_{\text{струи}}$ приняты расстояния, на которые распространялись компактные струи огнетушащего порошка. Время

подачи $\tau_{\text{подачи}}$ определялось как время выхода огнетушащих составов. Однако это не совсем корректно, так как для большинства испытанных образцов оно не сопровождается интенсивным выходом ОПС. Основная масса огнетушащих веществ выходит, как правило, за время, равное примерно половине времени подачи. Следовательно, важным аспектом является совмещение двух показателей: значение длины $L_{\text{струи}}$ и время подачи $\tau_{\text{подачи}}$. Равномерное и стабильное распределение облака ОПС в течение максимально возможного периода выхода будет способствовать поддержанию интенсивности подачи и возможности успешной ликвидации возгорания (рис. 1).



а) распределение облака ОПС на длину не менее 4 м при заряде массой 1 кг для экспериментальной модели порошкового огнетушителя ОП-1э



б) распределение облака ОПС на длину не менее 5 м при заряде массой 2 кг для экспериментальной модели порошкового огнетушителя ОП-2э

Рис. 1. Распределение облака ОПС экспериментальной модели ОП

Вытесняющий газ в корпусе ОП необходим для доставки ОПС к очагу горения. Следовательно, чем выше значение давления $P_{\text{раб}}$ внутри корпуса ОП, тем больше запас вытесняющего газа и выход огнетушащего вещества. С другой стороны, чем больше давление в корпусе огнетушителя, тем толще должны быть его стенки, а значит и конечная масса ОП будет больше.

Не смотря на то, что значения длины струи $L_{\text{струи}}$, времени подачи $\tau_{\text{подачи}}$ и давления в огнетушителе $P_{\text{раб}}$ соответствуют предъявляемым требованиям нормативных документов и технической документации производителей, значения остатка массы ОПС после срабатывания часто в них не укладывается.

Испытания показали, что часть образцов ОП по этому параметру превышает требуемые значения. На это влияет много факторов: слеживаемость ОПС, несовершенство системы хранения, транспортировки и выпуска из корпуса огнетушителя, нормативный допуск отрицательного результата тушения.

Совокупность всех этих факторов показывает, что минимальные значения параметров показателей назначения ОП должны иметь следующие значения:

1. Длина струи основной массы ОПС, не менее:
 - 3 м, при массе заряженного в огнетушитель ОПС от 1 кг до 3 кг;
 - 4 м, при массе заряженного в огнетушитель ОПС от 4 кг.

2. Масса остатка ОПС после разрядки огнетушителя – не более 5 % от начальной массы заряда.

3. Равномерное и стабильное распределение основной массы ОПС во временном диапазоне выхода ОТВ не менее 2/3 от времени подачи.

4. Давление в корпусе огнетушителя – не менее 0,8 МПа.

При обосновании требований и разработке ОП новой конструкции учитывались зависимости траекторий твердых частиц в потоке газа [3–5] и процесс движения частиц ОПС внутри корпуса, описанный по результатам экспериментальных данных [6–8].

На полноту выхода ОПС среди прочего влияет конструктивное исполнение системы его транспортировки из корпуса огнетушителя к очагу горения. Наличие на пути движения ОПС трубопроводов с различными диаметрами, сужений, резких поворотов оказывает влияние на конечное количество вышедшего порошка.

При проведении испытаний различных вариантов конструкций сосудов и элементов системы транспортирования ОПС оценена взаимосвязь характерных размеров, вместимость и количество соединенных сосудов, диаметры соединительных трубопроводов и выходного отверстия коллектора, соединяющего его с запорно-пусковым устройством (ЗПУ), а также количество газа, израсходованного для достижения эффекта вытеснения [8].

Анализ данных характеристик сосудов, вариантов исполнения и условий испытаний позволяет сделать вывод, что изменение относительной величины остатка ОПС в корпусе огнетушителя ($m_{ост}$) в зависимости от различных факторов может быть описано аналитическими выражениями.

Зависимость от диаметра трубки (d_i), соединяющей коллектор и запорно-пусковое устройство имеет следующий вид:

$$m_{ост} = -a_i \cdot \ln(d_i) + b_i,$$

где a_i и b_i – поправочные коэффициенты, учитывающие геометрические размеры системы транспортировки и выпуска ОПС в зависимости от ее исполнения.

Зависимость влияния энергии газа-вытеснителя на изменение массы остатка ОПС имеет следующее выражение:

$$m_{ост} = -x_i \cdot \ln(P_i \cdot V_i) + y_i,$$

где x_i и y_i – поправочные коэффициенты, учитывающие давление и свободный объем корпуса огнетушителя в зависимости от ее исполнения.

На основании предъявляемых к параметрам огнетушителей требований [2, 9] и обоснованно сформированного безразмерного комплекса π , характеризующего эффективность огнетушителя [8], разработана модель ОП с пористой емкостью для хранения ОПС [10].

Модель реализована в устройстве, сущность которого пояснена на рис. 2.

Крышка корпуса огнетушителя 3 имеет заправочный штуцер с обратным клапаном 5, через который осуществляется заполнение корпуса огнетушителя 2 вытесняющим газом.

Выходы из сосудов с пористой оболочкой для ОПС 1 соединены при помощи креплений 10 с общим коллектором для выхода ОПС 7, представляющим собой единый объем для смешения ОПС.

Общий коллектор для выхода ОПС 7 имеет количество входов, равное количеству сосудов с пористой оболочкой для ОПС 1, и один выход. Выходное отверстие из общего коллектора для выхода ОПС 7 посредством соединительной муфты 9 и трубки 8 соединено с запорно-выпускным устройством.

Модель порошкового огнетушителя

1. Заполнение сосудов с пористой оболочкой для ОПС 1 осуществляют вне корпуса огнетушителя 2 и крепят к общему коллектору для выхода ОПС 7, который посредством соединительной муфты 9 соединяется с трубкой 8. После установки их в корпус огнетушителя 2 производится герметизация при помощи крышки корпуса огнетушителя 3.

2. Закачку рабочего газа в корпус огнетушителя 2 производят через заправочный штуцер с обратным клапаном 5.

3. Выдавливание ОПС из сосудов с пористой оболочкой для ОПС 1 осуществляют сбрасыванием давления в корпусе огнетушителя 2 путем открытия запорно-выпускного устройства 4. Выход ОПС из сосудов с пористой оболочкой для ОПС 1 происходит через общий коллектор для выхода ОПС 7 по трубке 8 и запорно-выпускное устройство 4.

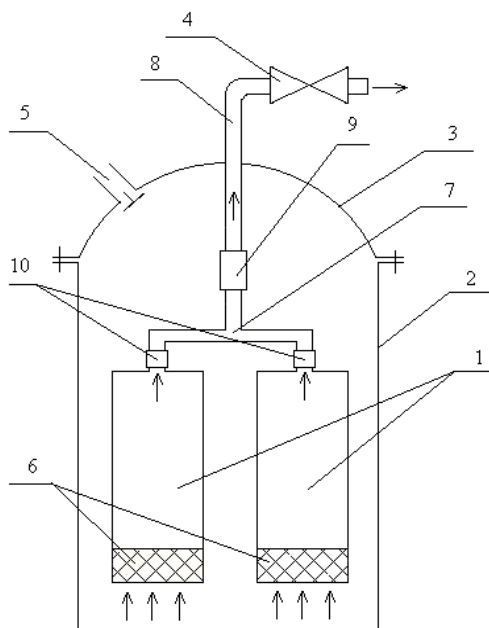


Рис. 2. Модель ОП с пористой емкостью для хранения ОПС:

1 – сосуды с пористой оболочкой для ОПС; 2 – корпус огнетушителя; 3 – крышка корпуса огнетушителя; 4 – запорно-выпускное устройство; 5 – заправочный штуцер с обратным клапаном; 6 – пористая оболочка; 7 – общий коллектор для выхода ОПС; 8 – трубка; 9 – соединительная муфта; 10 – крепления

В результате проведенного анализа требований, предъявляемых к показателям назначения, внутренней системе хранения и транспортирования огнетушащего порошка, а также натурных испытаний, изготовлена физическая модель ОП с исполнением системы хранения и транспортирования огнетушащего порошка (рис. 3) в виде отдельных изолированных друг от друга параллельно соединенных и вертикально ориентированных цилиндрических сосудов с пористой емкостью. За счет оптимизации достижения частиц ОПС его остаток существенно уменьшен при наименьшем количестве затраченного газа-вытеснителя (табл. 2).

Эффективность данной конструкции подтверждена при натурных, в том числе огневых, испытаниях. Расчет эффективности огнетушителя проводился с учетом сформированного безразмерного комплекса π_3 [11]:

$$\pi_3 = \frac{Q_{\text{опс}}}{PL_{\text{стр}} \tau_{\text{вых}}}$$

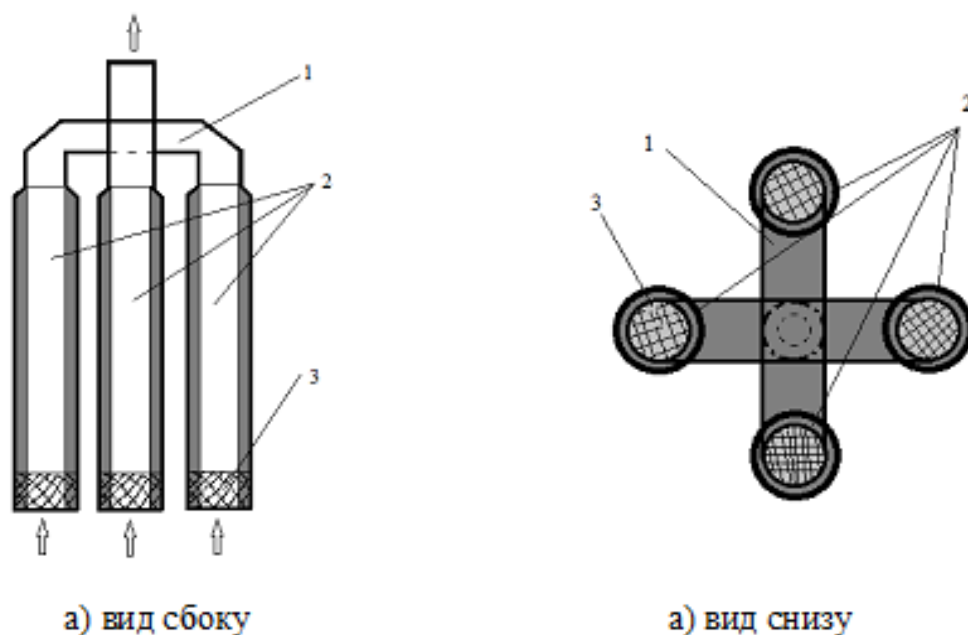


Рис. 3. Система хранения и транспортирования ОПС:
 1 – соединительный коллектор; 2 – сосуды для ОПС; 3 – пористый материал

Таблица 2. Результаты испытаний экспериментальной модели ОП с пористой емкостью для хранения ОТВ

Модель ОП	масса заряда ОПС, $m_{\text{опс}}$, кг	Длина струи ОПС, $L_{\text{струи}}$, м	Время выхода ОПС, $\tau_{\text{подачи}}$, с	Давление в корпусе ОП, $P_{\text{раб}}$, МПа	Результат тушения требуемого ранга МОП	Остаток ОПС, %	Значение комплекса эффективности π_3
ОП-1Э	1	3÷4	6	0,8	МОП ранга 13В потушен, повторного воспламенения нет	2,5	$16,98 \cdot 10^{-3}$
						1,5	
						3,5	
ОП-2Э	2	5÷6	6	0,8	МОП ранга 21В потушен, повторного воспламенения нет	2,9	$21,39 \cdot 10^{-3}$
						1,8	
						2,1	

Примечание: МОП – модельный очаг пожара

По результатам анализа и проведенных исследований сделано следующее заключение:

1. Обоснованы требования, предъявляемые к ОП, в части эффективности их конструктивного исполнения.
2. Предложен вариант ОП, содержащий коммуникацию выдавливания огнетушащего состава и сосуд с пористой оболочкой для ОПС, исключающей высыпание ОПС внутрь корпуса огнетушителя, отличающийся тем, что содержит не менее двух сосудов, соединенных параллельно, с отдельными входами вытесняющего газа и общим для всех сосудов выходом ОПС.
3. Эффективность изготовленной модели ОП подтверждена результатами натурных, в том числе огневых, испытаний и численными исследованиями с учетом сформированного безразмерного комплекса эффективности π_3 .

Литература

1. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2020).
2. ГОСТ Р 51017–2001. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2020).
3. Соболев А.А., Мельников П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. № 3 (17). С. 82–86.
4. Сугак А.В., Сугак Е.В. Равновесные траектории частиц в турбулентном потоке газа // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. С. 19.
5. Сугак Е.В., Сугак А.В. Моделирование турбулентных газодисперсных потоков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 161.
6. Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Полезная модель порошкового огнетушителя с пористым сосудом для огнетушащего состава // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 1. С. 79–82.
7. Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 4. С. 51–54.
8. Поляков А.С., Кожевин Д.Ф., Сорокин И.А. Совершенствование конструкции порошкового огнетушителя с пористой емкостью для огнетушащего вещества // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2019. № 1. С. 22.
9. ГОСТ Р 510572001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.05.2021).
10. Порошковый огнетушитель: пат. 188369 Рос. Федерация: МПК А62С13/00 (2006.01), 2018124520 / Поляков А.С., заявл. 04.07.2018; опубл. 09.04.2019, Бюл. № 10, 09.04.2019.
11. 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.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 343.2

ОЦЕНОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ СОСТАВА ПРЕСТУПЛЕНИЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИНЫ И УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Г.А. Агаев, доктор юридических наук, профессор;

В.Н. Сафонов, кандидат юридических наук, доцент.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Е.А. Зорина, кандидат юридических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

Предпринимается попытка рассмотреть теоретико-правовые и практические аспекты тех судебных казусов, которые сопряжены с отступлениями от закона при оценке и учете оценочных признаков состава преступления.

Ключевые слова: преступление, состав преступления, признак состава преступления, оценочные признаки состава преступления, постоянные, переменные, позитивные и негативные признаки состава преступления

EVALUATIVE FEATURES OF CORPUS DELICTI AND THEIR SIGNIFICANCE FOR DETERMINING GUILT AND CRIMINAL LIABILITY

G.A. Agaev; V.N. Safonov.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation.

E.A. Zorina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article attempts to consider the theoretical, legal and practical aspects of those judicial incidents that involve deviations from the law when assessing and taking into account the evaluative features of the corpus delicti.

Keywords: crime, corpus delicti, attribute of corpus delicti, evaluative attributes of corpus delicti, constant, variable, positive and negative attributes of corpus delicti

Как и в любой другой отрасли, в науке уголовного права имеются институты, которые определяют его важность и значение на всех этапах развития права. В уголовном праве в первую очередь таким институтом является состав преступления. По-латыни «состав преступления» означает «corpus delicti» – дословно «корпус деликта», обозначающий строение и структуру преступления.

Таганцев Н.С. одним из первых в российской уголовно-правовой науке дал понятие состава преступления. По его мнению, он представляет собой совокупность характерных признаков преступного деяния¹. Развивая вышеназванную концепцию, А.О. Кистяковский, раскрывая содержание характерных признаков, соотносил их с необходимыми, указывая на то, что отсутствие даже одного из них свидетельствует о не преступности деяния². В целом вышеизложенных научных идей придерживалась основная масса дореволюционных ученых.

Вышеназванная научная гипотеза сохранилась и в советской уголовно-правовой доктрине. Например, А.А. Герцензон в своей работе, посвященной составу преступления, соотносил его с совокупностью признаков, образующих конкретное преступление³.

Развивая данную точку зрения, Н.Ф. Кузнецова указывала, что именно состав преступления является ядром противоправного (преступного) поведения, включающее в себя четкий перечень обязательных и исчерпывающих признаков, закрепленных в диспозиции нормы, в том числе характеризующих уровень общественной опасности деяния⁴.

В современной уголовно-правовой доктрине под составом преступления принято понимать совокупность закрепленных в уголовном законе обязательных субъективных и объективных признаков, характеризующих общественно-опасное деяние как преступление⁵.

Авторы считают, что это не просто совокупность признаков, а взаимообусловленная система, предполагающая единство и структурированность соответствующих признаков.

Следует особо подчеркнуть, что в теории уголовного права приняты различные варианты классификации признаков состава преступления. Например, несут свою смысловую и составообразующую функцию позитивные и негативные признаки. Дело в том, что большинство признаков сформулировано в законе в позитивной форме: в виде указания на те или иные качества (свойства) преступления. Все эти признаки принято называть позитивными. С логической точки зрения они выражаются в так называемых положительных понятиях⁶.

Иногда при описании признаков деяния встречаются признаки, описываемые в отрицательных понятиях. Например, при описании умышленно причиненного вреда здоровью средней тяжести законодатель ставит в качестве условия отсутствие в таком вреде последствий, перечисленных в ст. 111 Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ). Такие признаки принято считать негативными. Функциональная роль их такая же, как и у позитивных, а способ описания иной. Позитивные признаки являются основой построения нормы, выражения мысли законодателя.

Другой критерий классификации признаков состава преступления основан на степени их неизменности, устойчивости. Так, признаки состава преступления делятся на постоянные и переменные. Постоянные признаки сохраняют свою неизменность в течение всего времени действия нормы. Например, в составе причинения смерти по неосторожности (ч. 1 ст. 109 УК РФ) все признаки являются постоянными: «причинение смерти», «неосторожность». Постоянные признаки обычно входят в норму права, их толкование не нуждается ни в обращении к другим отраслям права, ни к другим статьям УК РФ.

Иное дело переменные признаки. Их содержание может измениться в течение действия уголовного закона. Переменные признаки делятся на две основные разновидности –

¹ Таганцев Н.С. Русское уголовное право. Часть Общая. СПб., 1902. Т. I. С. 336–337.

² Кистяковский А.О. Элементарный учебник общего уголовного права. М., 1907. С. 59.

³ Уголовное право. Общая часть / под ред. А.А. Герцензона. М., 1948. С. 282.

⁴ Кузнецова Н.Ф. Проблемы квалификации преступлений: лекции по спецкурсу «Основы квалификации преступлений». М., 2007. С. 7.

⁵ Уголовное право России. Общая часть / под ред. А.И. Рарога. М., 2009. С. 72; Гаухман Л.Д. Квалификация преступлений: закон, теория, практика. М., 2005. С. 32–33; Наумов А.В. Российское уголовное право: курс лекций: в 2-х т. М., 2004. Т. 1: Общая часть. С. 170–171; Кудрявцев В.Н. Общая теория квалификации преступлений. М., 2004. С. 59.

⁶ Уголовное право России. Общая часть: учеб. / под ред. Г.Л. Касторского, А.И. Чучаева. С. 146–147.

бланкетные и оценочные. Большинство переменных признаков – из числа бланкетных. Их конкретное содержание кроется в подзаконной норме или в норме иной отрасли права. Например, способ преступного действия, названный в ст. 264 УК РФ, определяется положениями Правил дорожного движения Российской Федерации.

Переменные признаки второй группы еще более приближены к изменяющейся обстановке, которую оценивают органы следствия, дознания, прокуратуры и суд. Поэтому с известной условностью их можно назвать «оценочными признаками»⁷.

Необходимо отметить, что в науке уделялось и уделяется немало внимания рассматриваемой категории и многочисленные работы как отечественных [1], так и зарубежных [2] ученых посвящены проблеме установления оценочных понятий в уголовном законодательстве.

Справедливости ради отметим, что оценочные признаки – и достоинство, и проблема уголовного права. С одной стороны, они позволяют более полно учесть правозначимые обстоятельства дела в процессах криминализации и квалификации деяний, а с другой – несут в себе риск неверного толкования, то есть ошибок, а по более решительным высказываниям исследователей – риск произвола правоприменителя.

И все же оценочные понятия полезны, функциональны и существование их в законе неизбежно. Нельзя согласиться с выдвинутым в литературе предложением, что уменьшение числа оценочных понятий в законодательстве ведет к его стабильности. Напротив, на взгляд авторов, искусственное уменьшение числа оценочных признаков способно привести к пробельности закона.

Между прочим, анализ действующего законодательства показывает, что оценочные понятия очень часто встречаются как в нормах Общей, так и Особенной частей УК РФ. Например, определение преступления содержит оценочное понятие «общественно опасное деяние». Является оценочным понятием и «малозначительность» деяния (ч. 2 ст. 14 УК РФ). Нормы важнейшего института обстоятельств, исключающих преступность деяния (гл. 8), содержат ряд оценочных признаков: «неожиданность посягательства», «действия, явно не соответствующие характеру и степени опасности посягательства». Встречаются эти понятия и в других институтах Общей части уголовного права Российской Федерации.

Нетрудно оценочные признаки обнаружить в нормах Особенной части УК РФ, где они обычно играют роль признаков деяния или последствий. В частности, к оценочным признакам состава преступления относятся: особая жестокость в п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ; издевательство, тяжкое оскорбление, аморальное поведение потерпевшего, длительная психотравмирующая ситуация в ст. 107 УК РФ; неизгладимое обезображивание лица в ч. 1 ст. 111 УК РФ; сведения, порочащие честь и достоинство другого лица в ст. 128.1 УК РФ, значительный ущерб в статьях о преступлениях против собственности. Большая часть диспозиции нормы о хулиганстве (ст. 213 УК РФ) принадлежит оценочным признакам: «грубое нарушение общественного порядка» и «явное неуважение к обществу». Эта норма – спорный пример сокращения оценочных признаков в составе преступления. Напомним, что в УК РСФСР аналогичная норма (ст. 206) содержала и другие оценочные понятия: «особая дерзость» и «исключительный цинизм». Некоторые исследователи считают, что отказ законодателя в ст. 213 УК РФ от этих оценочных признаков негативно отразился на эффективности нормы [3].

И это – неполный перечень оценочных признаков конкретных составов преступлений.

При этом констатация наличия или отсутствия оценочных признаков должна учитывать их дуалистическую роль: они не только более точно характеризуют деяние или последствие, но, со всей обязательностью отражаясь в сознании субъекта, становятся объективно-субъективной категорией.

Непонимание этого обстоятельства ведет к ошибкам правоприменения.

⁷ Кудрявцев В.Н. Указ. раб. С. 115.

Обращение к практике применения норм с оценочными признаками позволяет увидеть, во-первых, различную частоту распространенности ошибок применения таковых признаков и, во-вторых, различные уровни их понимания.

Наиболее распространенные ошибки – неверное понимание малозначительного деяния, что приводит к нередким неправомерным актам, хотя подходы к пониманию этих категорий достаточно сложившиеся.

Изучение практики применения оценочных понятий позволяет выделить три уровня их определенности, разработанности и качества применения.

Опыт применения одних оценочных признаков вполне можно назвать сложившимся (особая жестокость в составе квалифицированного убийства – п. «д» ч. 2 ст. 105 УК РФ, реальность угрозы убийством в ст. 119 УК РФ и др.).

Неоднозначно складывается практика применения других понятий. Показательной в этом отношении является ситуация с применением квалифицирующего признака – причинение значительного ущерба потерпевшему в составе умышленного уничтожения или повреждения чужого имущества (ст. 167 УК РФ). Рассмотрим эту проблему на примере умышленного повреждения или уничтожения транспортных средств. Диспозиция этой нормы содержит как минимум два оценочных признака – «повреждение» и «значительный ущерб». Общих рекомендаций по применению квалифицирующего признака – причинение значительного ущерба потерпевшему, предусмотренных примечанием 2 к ст. 158 УК РФ, оказалось недостаточным. Напомним, в соответствии с этим примечанием, значительный ущерб гражданину в статьях гл. 21, за исключением ч. 5 ст. 159, определяется с учетом его имущественного положения, но не может составлять менее пяти тысяч рублей. Указание на нижний допустимый размер причиненного вреда оказалось неэффективным, особенно в ситуации повреждения или уничтожения транспортных средств.

Суды регионов Российской Федерации по-разному понимают категорию «повреждение». Так, Т.А. Огарь и М.В. Шкеле, исследуя эту проблему, пришли к выводу об отсутствии единого понимания большинства признаков объективной стороны данного преступления: значительного ущерба, категории «повреждение чужого имущества». В одном случае суды придерживаются так называемого ограничительного подхода, когда с уголовной ответственностью связывается только такое повреждение транспортного средства, которое исключает использование автомобиля по целевому назначению, без ремонта и других восстановительных мер. Авторами приводятся примеры отказа в возбуждении уголовного дела и оправдательных приговоров судами Мурманской и Астраханской областей на том основании, что автомобили хотя и были повреждены, но не были выведены из строя. Противоположной является не менее распространенная практика так называемого широкого толкования термина «повреждение», когда основой обвинительного приговора является существенная утрата автомобилем потребительской стоимости [4].

Думается, что практика квалификации умышленного повреждения или уничтожения имущества, если эти деяния повлекли причинение значительного ущерба потерпевшему, нуждается в унификации. Это тем более необходимо с учетом требований положений Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ (ФЗ № 196-ФЗ), Правил дорожного движения Российской Федерации.

Так, в соответствии с положениями ст. 19 ФЗ № 196-ФЗ, запрещается эксплуатация транспортных средств при наличии у них технических неисправностей, создающих угрозу безопасности дорожного движения.

Перечень неисправностей транспортных средств и условия, при которых запрещается их эксплуатация, определяются Правительством Российской Федерации.

В соответствии с Перечнем неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация транспортных средств (являющимся приложением к Основным положениям по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанностям должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения) (Перечень), запрещается эксплуатация транспортных средств при наличии неисправностей, относящихся к семи видам агрегатов.

В частности, в соответствии с п. 4.1. Перечня запрещается эксплуатация транспортного средства, если не работают в установленном режиме стеклоочистители, а в соответствии с п. 4.2. – не работают предусмотренные конструкцией транспортного средства стеклоомыватели. Пункт 7 Перечня содержит и вовсе широкий список недостатков, наличие которых исключает эксплуатацию транспортного средства. Например, пункт 7.10 исключает эксплуатацию автомобиля, если ремни безопасности неработоспособны или имеют видимые надрывы на лямке.

Теоретически несложно представить себе ситуацию, когда незначительное в стоимостном выражении повреждение транспортного средства будет исключать использование автомобиля по утилитарному назначению, а значит влечь уголовную ответственность. Напрашивается риторический вопрос, неужели при повреждении буквально «копеечного» ремня безопасности возникает фактическое основание уголовной ответственности по ч. 1 ст. 167 УК РФ?

Поэтому авторы солидарны с Т.А. Огарь и М.В. Шкеле, которые приходят к резонному выводу: «Не только хозяйственную, но и иную ценность имущества должны принимать в расчет суды и следственные органы» [5].

И все же установление препятствия для использования транспортного средства, вызванного малозначительным повреждением агрегата (механизма), такого, как ремень безопасности или стеклоочиститель лобового стекла, а равно зеркала заднего вида не может быть достаточным основанием для привлечения к уголовной ответственности по ч. 1 ст. 167 УК РФ.

Отметим также, что практика применения квалифицирующего признака «неизгладимое обезображивание лица», несмотря на сложившуюся регламентацию пределов медицинского и эстетического критериев, также обнаруживает допущенные ошибки. Показательными стали материалы уголовного дела в отношении Донца и Родионова, рассмотренного по первой инстанции Калужским областным судом, а в кассационном порядке – Судебной коллегией Верховного Суда Российской Федерации (ВС РФ) по уголовным делам⁸. Осужденные признаны виновными в разбойном нападении на А., совершенном с применением насилия, опасного для жизни и здоровья, группой лиц по предварительному сговору, с применением предмета, используемого в качестве оружия, а также в покушении на убийство А., совершенном группой лиц по предварительному сговору, сопряженном с разбоем. Государственный обвинитель в кассационном представлении считал приговор незаконным, необоснованным и несправедливым, указал, что суд необоснованно исключил из предъявленного Родионову и Донцу обвинения квалифицирующий признак разбоя, предусмотренный п. «в» ч. 4 ст. 162 УК РФ – «с причинением тяжкого вреда здоровью потерпевшего». Опротестовывалось исключение из обвинения тяжкого вреда здоровью потерпевшего, выразившегося в неизгладимом обезображивании лица. Гособвинитель ставил под сомнение вывод суда о том, что, хотя рубцы кожи лица и являются неизгладимыми, однако, по мнению суда, они не являются обезображивающими, поскольку не придают лицу уродливого, отталкивающего и безобразного вида. Судебная коллегия по уголовным делам ВС РФ нашла приговор подлежащим отмене по следующим основаниям. Суд первой инстанции необоснованно исключил из предъявленного подсудимым обвинения квалифицирующий признак разбоя, предусмотренный в п. «в» ч. 4 ст. 162 УК РФ, – «с причинением тяжкого вреда здоровью потерпевшего», указав при этом в приговоре, что «ни в ходе предварительного следствия, ни в судебном заседании не было добыто достаточных доказательств, свидетельствующих о том, что действиями подсудимых такой вред был причинен А. Между тем, кроме других телесных повреждений, на лице, шее, руках и туловище

⁸ Официальный сайт Верховного Суда Российской Федерации. Кассационное определение от 28 мая 2009 г. № 85-009-15. URL: <https://www.vsr.ru/> (дата обращения: 15.06.2020).

А. имеются множественные рубцы от бледно-розового до ярко-розового цвета, некоторые относительно ровной, плоской поверхности возвышаются над уровнем окружающей кожи. В соответствии с п. 6.10 Правил определения степени тяжести вреда, причиненного здоровью человека, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 17 августа 2007 г. № 522, степень тяжести вреда, причиненного здоровью человека, выразившегося в неизгладимом обезображивании его лица, определяется судом. Производство судебно-медицинской экспертизы ограничивается лишь установлением неизгладимости данного повреждения, а также его медицинских последствий в соответствии с медицинскими критериями. Как видно из материалов дела, от нанесенных Родионовым и Донцом ударов ножом у потерпевшего А., 16-летнего учащегося средней школы, практически на всей поверхности лица, а именно: в области лба, щеки, верхней губы, нижней челюсти, образовались 10 неизгладимых рубцов, общей длиной 36,0 см, из них 4 неизгладимых рубца длиной от 5,5 см до 8,0 см проходят через весь лоб потерпевшего. Судебная коллегия отметила, что рубцы на лице потерпевшего А. хорошо заметны со значительного расстояния, изменяют естественный вид лица и обезображивают его. Таким образом, доводы кассационного представления относительно неверной оценки степени тяжести вреда, причиненного здоровью потерпевшего, выразившегося в неизгладимом обезображивании лица, влекущей отмену приговора с направлением дела на новое рассмотрение, являются обоснованными. Судебная коллегия определила приговор Калужского областного суда от 27 марта 2009 г. в отношении А.В. Родионова, Г.А. Донца отменить, дело направить на новое рассмотрение в тот же суд со стадии судебного разбирательства в ином составе судей.

Третий уровень понимания оценочных понятий составов преступления можно характеризовать как складывающийся, формирующийся. Речь идет об относительно новых составах преступлений с оценочными категориями, диспозиция которых содержит описание объективной стороны, конкретизация которой ограничена определенными пределами. Другими словами, в точности описание такой объективной стороны невозможно. Например, ст. 237 УК РФ содержит диспозицию, которая только в общих чертах описывает деяние путем описания его действий, не поддающихся полному перечню, и его признаков: сокрытие или искажение информации о событиях, фактах или явлениях, создающих опасность для жизни или здоровья людей либо для окружающей среды, совершенные лицом, обязанным обеспечивать население и органы, уполномоченные на принятие мер по устранению такой опасности, указанной информацией. Что понимать под такой информацией: силы природы, действия террористов, возможный сбой техники? Как оценить серьезность, достоверность этой информации? Каково соотношение этого деяния с преступлением, предусмотренным ст. 293 УК РФ?

В качестве характерного примера можно привести дело из практики, связанное с определением важности похищенных документов.

Так, установив, что осужденные завладели свидетельством о регистрации и паспортом технического средства на автомашину, а также уничтожили бланки протоколов об административном правонарушении и материалов о дорожно-транспортных происшествиях, суд квалифицировал их действия по ч.1 ст.325 УК РФ как похищение, уничтожение официальных документов, совершенные из корыстной и иной личной заинтересованности. Позицию суда следует признать ошибочной, поскольку свидетельство о регистрации и паспорт технического средства на автомашину не относятся к числу официальных документов, ответственность за похищение которых наступает по вышеуказанному закону, а являются важными личными документами, так как свидетельство о регистрации подтверждает соблюдение Правил о порядке регистрации транспортного средства в ГИБДД Российской Федерации, паспорт транспортного средства предназначен для упорядочения допуска транспортных средств к участию в дорожном движении, эти документы выдаются для реализации гражданами их личных прав. Президиум ВС РФ переквалифицировал действия осужденных в части похищения указанных документов с ч.1 ст.325 УК РФ на ч.2 ст.325

УК РФ, предусматривающую ответственность за похищение паспорта или другого важного личного документа. По факту уничтожения бланков протоколов и материалов о дорожно-транспортных происшествиях действия осужденных правильно квалифицированы по ч. 1 ст. 325 УК РФ⁹.

Таким образом, основываясь на материалах изученных уголовных дел, отметим, что результаты учета оценочных категорий напрямую влияют на наличие состава преступления, а потому признание их наличия требует убедительного основания.

Анализ действующего уголовного законодательства и российской судебной практики показывает, что оценочные признаки состава преступления не всегда учитываются на должном уровне. Потому проблема оценочных признаков состава преступления относится к числу не только доктринальных, но и актуальных правоприменительных проблем.

Литература

1. Гармышев Я.В., Егерев И.М., Пархоменко С.В. К вопросу о квалификации некоторых оценочных понятий в уголовном праве России // Всероссийский криминологический журнал. 2016. № 4.
2. Veršekys P. Evaluative features of corpus delicti. 2013.
3. Veršekys P. Evaluative Features of Corpora Delicti of the Criminal Acts Against the Economy and Business Order // Teisės apžvalga. 2016. 2 (14). pp. 210–228. DOI: 10.7220/2029-4239.14.13.
4. Волженки Б.В. Хулиганство // Уголовное право. 2007. № 5. С. 17–22.
5. Огарь Т.А., Шкеле М.В. Что считать уголовно наказуемым повреждением чужого имущества на примере транспортных средств // Уголовный процесс. 2018. № 3. С. 52–59.

УДК 342.6; 343.85

ББК 67.401; 67.408.144.12

ВЛИЯНИЕ АВТОРИТЕТА СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ НА ЗАЩИТУ ИХ ОТ НАСИЛИЯ

**В.А. Винокуров, доктор юридических наук, доцент,
заслуженный юрист Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.
Д.А. Митричев.
Главное управление МЧС России по Курской области**

Статья посвящена проблеме взаимосвязи авторитета представителей власти, к которым относятся сотрудники МЧС России, с возникающими проблемами, связанными с насилием в отношении представителей власти. Рассматривается связь между посягательством на достоинство личности сотрудников федеральных государственных органов и уровнем авторитета власти в государстве в целом, а также степень правовой защищенности сотрудников от насилия, установленной законодательством Российской Федерации. В результате рассмотрения судебной практики по делам о преступлениях, связанных с посягательством на представителей власти, обеспечивающих национальную безопасность, мнений ученых и правоведов о фундаментальных категориях данной области общественных отношений,

⁹ Обзор судебной практики за 2013 г. № 4: постановление Президиума Верховного Суда Рос. Федерации № 221-П13пр. // Официальный сайт Верховного Суда Рос. Федерации. URL: vsrf.ru (дата обращения: 15.06.2020).

авторами предложены пути решения проблем, связанных с насилием по отношению к представителям власти и, в частности, к сотрудникам МЧС России.

Ключевые слова: Конституция Российской Федерации, права и свободы человека и гражданина, достоинство личности, авторитет власти, МЧС России, уголовное наказание, правовое воспитание

INFLUENCE OF AUTHORITY OF EMPLOYEE OF EMERCOM OF RUSSIA ON PROTECTING THEM FROM VIOLENCE

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

D.A. Mitrichev. Main Department of EMERCOM of Russia in the Kursk region

The article is devoted to the problem of the relationship between the authority of the authorities, which include employees of EMERCOM of Russia, and the problems emerging in association with violence against employees of the authorities. The article considers the relationship between the infringement on the personal dignity of employees of federal state bodies and the level of authority of the authorities in the state as a whole, as well as the degree of legal protection of employees from violence captured in the legislation of the Russian Federation. As the result of the consideration of court practice in cases of crimes related to infringement on government officials who ensure national security, the opinions of scientists and legal experts on the fundamental categories of this field of public relations, the authors propose ways to solve problems tied to violence against government officials and, in particular, to employees of the EMERCOM of Russia.

Keywords: Constitution of the Russian Federation, human and civil rights and freedoms, dignity of the individual, authority of the authorities, EMERCOM of Russia, criminal punishment, legal education

Право на достоинство личности закреплено в Конституции Российской Федерации¹⁰, а именно в части 1 статье 21. В Основном Законе страны говорится, что достоинство личности охраняется государством, а также что ничто не может быть основанием для его умаления, то есть нет ни единого основания для его умаления. Из части 2 этой же статьи следует, что никто не должен подвергаться насилию, другому жестокому или унижающему человеческое достоинство обращению. Следовательно, унижающее обращение и насилие над человеком, по сути, является посягательством на достоинство его личности.

Рассматривая посягательство отдельными лицами на достоинство личности сотрудников федеральных государственных органов, следует отметить, что такие посягательства напрямую связаны с уровнем авторитета власти в государстве в целом, а, следовательно, с авторитетом органов государственной власти и авторитетом тех, кто служит в этих органах.

Сотрудники Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), наряду с сотрудниками иных федеральных органов исполнительной власти, обеспечивают, в том числе национальную безопасность в пределах своей компетенции¹¹. Однако, действуя на благо государства, указанные сотрудники иногда сталкиваются с противодействием

¹⁰ Официальный интернет-портал правовой информации (<http://www.pravo.gov.ru>). 2020. 4 июля. № 0001202007040001.

¹¹ См.: Положение о Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, утвержденное Указом Президента Российской Федерации от 11 июля 2004 года № 868 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 28. Ст. 2882.

со стороны определенной части населения, к числу которых относится посягательство на их жизнь и здоровье. Как правило, подобные противодействия осуществляются в виде посягательств на достоинство личности представителей власти, в основании которых лежит месть сотрудникам за осуществление ими властных полномочий или неприязнь к сотрудникам органов власти вообще, или неприятие их деятельности как в целом, так и в частности¹².

Под авторитетом Д.Н. Ушаков понимает «общепризнанное значение, влияние», а также «лицо, пользующееся авторитетом»¹³. Ожегов С.И. в первой части определения так же растолковывает понятие «авторитет», но во второй части раскрывает понятие авторитета через термины «влияние, признание»¹⁴. Из данных толкований следует, что авторитет подразумевает наличие под собой общественного признания среди людей и некоего «кредита доверия» к чему-либо, кому-либо. Кроме того, субъекты, обладающие авторитетом, оказывают определенное влияние, совершают действия в своей сфере деятельности, направленные на людей, которые, в свою очередь, признают их такими, то есть имеющими авторитет.

Ряд ученых обращались к теме авторитета вообще и авторитета власти в частности. Так, Е.А. Ларина под понятием «авторитет» подразумевает влияние определенного лица или общественного института, которое подкреплено наличием общего добровольного признания другими субъектами, а также право создавать определенные нормы, установления или право распоряжаться своими полномочиями, с расчетом на повиновение подчиненных субъектов, делая акцент на том, что авторитет должен быть основан на добровольных началах, чтобы иметь силу, что подчинение авторитетному субъекту должно быть добровольным и осознанным: «нужно повиноваться, ибо это правильно»¹⁵. Далее, переходя к понятию «авторитет власти», Е.А. Ларина отмечает, что авторитет власти можно понимать как наличие у органов власти возможности оказывать на поведение и действия населения влияние без применения насильственных методов, так как данная государству власть, ее авторитет подразумевает под собой всеобщее признание, доверие и добровольное подчинение при условии, что она осуществляется в соответствии с установленными ей же нормами в согласованности с общепринятыми принципами права¹⁶.

Обратимся также к мнению А.А. Кашкарова, который, рассматривая вопросы должностной преступности, отметил, что авторитет органа публичной власти или же авторитет, который был предоставлен должностному лицу данного органа в силу его полномочий на занимаемой им должности, находит свое выражение в качестве законодательного закрепления в формулировках, использующихся законодателем в Уголовном кодексе Российской Федерации (в основном, в главе 30), в частности, в таких формулировках, образующих и характеризующих квалифицированные составы преступлений, диспозиции статей, как «с использованием служебного положения», «должностные полномочия»¹⁷.

Таким образом, авторитет органа власти или должностного лица органа власти характеризуется наличием установленного для данного органа или должностного лица права совершать действия: 1) определенные собственной законной компетенцией и имеющие

¹² См.: приговоры по уголовным делам по составам главы 30 Уголовного кодекса Российской Федерации // Информационное агентство Судебные решения Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://судебныерешения.рф/> (дата обращения: 03.03.2020).

¹³ Ушаков Д.Н. Большой толковый словарь русского языка. Современная редакция. М.: ООО «Хит-книга», 2017. С. 18.

¹⁴ Толковый словарь русского языка: Ок. 100 000 слов, терминов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов; под ред. проф. Л.И. Скворцова. – 27-е изд., испр. – М.: Изд-во АСТ: Мир и Образование, 2016. С. 30.

¹⁵ Ларина Е.А. Проблемы обеспечения авторитета власти // Актуальные проблемы российского права. 2011. № 1. С. 15.

¹⁶ Ларина Е.А. Указ. соч. С. 16.

¹⁷ Кашкаров А.А. Авторитет органа публичной власти как системообразующий признак должностной преступности // Общество и право. 2017. № 1. С. 48.

властный характер; 2) имеющие характер требований, обязательных для исполнения подчиненными субъектами или адресатами данного требования.

Что касается принципов права, являющихся основной для властных, обязательных для исполнения действий и требований, которые совершаются федеральными органами исполнительной власти через выполнение своих должностных обязанностей государственными служащими, то к ним теоретики права относят законность, гуманизм и справедливость¹⁸. Данные принципы являются неотъемлемыми в осуществлении деятельности федеральных органов исполнительной власти, исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления.

В результате можем предложить следующее определение понятию «авторитет власти»: «Авторитет власти – это политико-правовое явление, которое характеризуется всеобщим доверием и добровольным, осознанным признанием подчиненными субъектами наличия у государственной власти, ее органов, установленных законодательством данного государства, прав совершать определенные действия, оказывать влияние на жизнедеятельность населения при условии соответствия данных полномочий законодательству и общепризнанным нормам и принципам права и добровольного подчинения властным распоряжениям и их осознанного соблюдения подчиненными субъектами». Под подчиненными субъектами в данном случае понимаются граждане России, а также иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие и/или осуществляющие свою деятельность на территории России.

Обратимся к авторитету одного из федеральных органов исполнительной власти – МЧС России¹⁹, отметившему в 2020 г. свое 30-летие²⁰, его сотрудникам, наделенным определенными государственно-властными полномочиями.

Формально авторитет МЧС России базируется на функциях, которые на него возложены пунктом 3 Указа Президента Российской Федерации от 11 июля 2004 г. № 868 «Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» и пунктом 1 Положения, утвержденного данным Указом. К числу таких функций, в частности, отнесены: деятельность по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; обеспечение пожарной безопасности; обеспечение безопасности людей на водных объектах.

Следует отметить, что в указанной сфере деятельности различными федеральными законами²¹ вопросы защиты населения и решение проблем, связанных с безопасностью людей, возложены именно на МЧС России как на федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный для решения данных задач. Как правило, действия сотрудников МЧС России легко узнаваемы, видны, весьма оперативны, а потому практически всегда положительно оцениваются населением. Иные федеральные органы исполнительной власти либо оказывают МЧС России содействие в решении поставленных перед ним задач, либо согласовывают с ним свои действия.

¹⁸ См., например: Теория государства и права: учебник / под ред. д-ра юрид. наук, проф., заслуженного деятеля науки Российской Федерации А.В. Малько и д-ра юрид. наук, проф. А.Ю. Саломатина. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во «Юридический центр», 2016. С. 123–125.

¹⁹ См.: Структуру федеральных органов исполнительной власти, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 21 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2020. № 4. Ст. 346.

²⁰ Российский корпус спасателей (на правах государственного комитета РСФСР), явившийся предтечей современного Министерства, был образован постановлением Совета Министров РСФСР от 27 декабря 1990 года № 606 «Об образовании Российского корпуса спасателей» // СП РСФСР. 1991. № 6. Ст. 93.

²¹ См.: федеральные законы «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»; «О пожарной безопасности»; «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1994. № 35. Ст. 3648; Ст. 3649; 1995. № 35. Ст. 3503.

Таким образом, авторитет сотрудников МЧС России (а, значит, и Министерства в целом), осуществляющих защиту населения, спасающих людей, попавших в сложные чрезвычайные ситуации, оценивается населением несравнимо выше положения, в котором находятся сотрудники иных федеральных органов исполнительной власти (полиции, Росгвардии, службы исполнения наказаний и др.), выполняющих работу по противодействию преступности, по охране общественного порядка, обеспечению общественной безопасности, по привлечению к ответственности лиц, нарушающих установленный порядок, то есть также осуществляющих защиту населения, но в иных формах.

Несмотря на довольно высокий авторитет сотрудников МЧС России, не умаляя авторитет сотрудников иных федеральных органов исполнительной власти, обратим внимание на проблему эффективности норм уголовного закона, защищающих сотрудников федеральных органов исполнительной власти как представителей власти от посягательств на них, в частности, от применения к ним насилия, умаляющего достоинство их личности.

По итогам анализа судебной практики по делам, связанным с применением насилия в отношении сотрудников органов власти, таких как угрозы применения насилия, непосредственного применения психического и физического насилия, связанного с ущербом здоровью, угрозой жизни сотрудников, влекущие к ограничению их конституционного права на достоинство личности, выявляется определенная тенденция выбора мер наказания виновных в совершении данных преступлений. Поскольку по большей части преступления являются однотипными (угроза или применение насилия по мотивам мести или прочим личным убеждениям), то суд в большинстве случаев совершения преступлений в отношении сотрудников назначает наказание в виде штрафа. В исключительных случаях при наличии совокупности преступлений при покушении на жизнь сотрудников органов власти суд назначает наказание в виде лишения свободы. Система наказаний за подобные преступления стабильно функционирует, но механизм устрашения перед санкцией за посягательство на представителей власти не срабатывает в полной мере, поскольку слабо влияет на формирование правовой сознательности граждан.

Причиной недовольства граждан действиями или бездействиями представителей власти – сотрудников различных органов, уполномоченных защищать и население, и конкретного человека в различных областях, являются и явная незаинтересованность решить проблему в действиях сотрудников, и затягивание рассмотрения дела по существу, и невозможность несправедливого решения вопроса. Для исключения изложенных причин для недовольства или снижения их количества и остроты авторами предлагались конкретные меры. Со стороны населения – это правовое обучение и воспитание (на всех уровнях) для формирования правосознания. Со стороны федеральных органов власти – это изменение показателя эффективности работы сотрудников: исключение количества формальных действий и пустых ответов и введение данных о числе лиц, права и свободы которых были защищены (восстановлены) конкретным сотрудником и в целом органом власти²².

Как видно, защита сотрудников МЧС России и других федеральных органов исполнительной власти от посягательства (насилия, от умаления их достоинства, то есть от любых действий, ухудшающих их профессиональную эффективность, подрывающих авторитет власти в целом) в Российской Федерации, по большей части, обеспечивается нормами уголовного закона. К сожалению, конституционные нормы не выступают напрямую в качестве защитных, но, безусловно, являются базой для формирования норм уголовного и административного законодательства, ограждающих сотрудников силовых структур от неправомерных посягательств на их жизнь, здоровье и деятельность.

В то же время стоит отметить, что для повышения воспитательной функции уголовного закона следует добиться того, чтобы в случаях применения физического насилия в отношении сотрудников федеральных органов исполнительной власти или же в случае угрозы жизни

²² См., например: Винокуров В.А. Самосуд как крайняя степень самозащиты // Юридическая мысль. 2017. № 1 (99). С. 103–104.

и здоровью этих лиц судьями применялись более суровые наказания, а также, возможно, присуждение выплат сотрудникам определенных сумм за моральный вред. Нелишним будет и широкое информирование населения о привлеченных к ответственности лиц, позволивших себе проявить неуважение к представителю власти, выполняющему свою работу. Кроме ужесточения наказаний самим федеральным органам исполнительной власти следует совершенствовать направления своей деятельности, связанные с правовым воспитанием населения, пропагандой правового мировоззрения и осведомленности о своих правах, их законной защите и обязанностях, что и будет, по своей сути, политико-нравственной составляющей правового государства, позволяющей обеспечивать формирование авторитета органов власти и их сотрудников и поддерживать его на высоком уровне.

Наглядность тяжести наказания, наряду с формированием адекватного правового уважительного восприятия деятельности федеральных органов исполнительной власти, признания их авторитета, даст положительный результат в разрешении актуальных проблем, связанных с посягательством (с применением насилия) на сотрудников указанных органов (в частности МЧС России), защитой сотрудников силовых структур от данных посягательств, негативно влияющих на их деятельность, исключая некомпетентное личное субъективное восприятие, связанное с неприязнью граждан по отношению к сотрудникам указанных органов в данной области.

Литература

1. Винокуров В.А. Самосуд как крайняя степень самозащиты // Юридическая мысль. 2017. № 1 (99). С. 100–105.
2. Кашкаров А.А. Авторитет органа публичной власти как системообразующий признак должностной преступности // Общество и право. 2017. № 1. С. 46–49.
3. Ларина Е.А. Проблемы обеспечения авторитета власти // Актуальные проблемы российского права. 2011. № 1. С. 14–20.
4. Теория государства и права: учеб. / под ред. д-ра юрид. наук, проф., заслуженного деятеля науки Российской Федерации А.В. Малько и д-ра юрид. наук, проф. А.Ю. Саломатина. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во «Юридический центр», 2016. 432 с.

УДК 614.8

ПРЕВЕНТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОВЕРОК ПО ФАКТУ ПОЖАРОВ

П.А. Ткачев, кандидат юридических наук, профессор;

А.В. Меньшиков, кандидат педагогических наук, доцент;

Е.А. Осокин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Профилактическая работа направлена на обеспечение пожарной безопасности посредством информирования населения о причинах пожаров. Проверка по факту пожара, проводимая дознавателем государственного пожарного надзора, направлена на установление причин пожара. Надлежащая проверка по факту пожара является основой для профилактической работы органов государственного пожарного надзора. Авторами проанализированы случаи ненадлежащих проверок и сформулированы их причины.

Ключевые слова: проверка по факту пожара, дознаватель государственного пожарного надзора, уголовный процесс, поджог, профилактика пожаров, пожарная безопасность, причина пожара

PREVENTIVE VALUE OF FIRE CHECKS

P.A. Tkachev; A.V. Menshikov; E.A. Osokin.

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

The importance of checking on the fact of a fire in the fire safety system is considered. The place of verification on reports of a crime in the criminal process has been identified, the features of verification on the fact of a fire are revealed. The connection between the check on the fact of a fire and the prevention of fires has been revealed.

Keywords: check on the fact of fire, interrogator, criminal procedure, terrorism, arson, fire prevention, fire safety, cause of fire

В настоящее время в нашем государстве действует государственная программа Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах», утвержденная Правительством Российской Федерации. Сроки реализации данной программы установлены с 2013 по 2030 гг. В настоящее время идет третий этап реализации данной программы (2021–2024 гг.). Объем финансирования данной программы в среднем составляет около 200 млрд руб. в год. Согласно данным этой программы по состоянию на март 2020 г. количество зарегистрированных пожаров снижалось с 139 703 в 2016 г. до 132 074 в 2018 г. [1]. С 2020 г. МЧС России осуществляет регистрацию пожаров в зданиях и сооружениях. Согласно докладом МЧС России, которые обобщают и анализируют правоприменительную практику, наибольшее количество пожаров происходит на открытых территориях (около 63 %). В зданиях и сооружениях происходят около 33 % пожаров. Но пожары в зданиях и сооружениях уносят большее количество жизней. Наибольшее количество пожаров происходит в зданиях и сооружениях, относящихся к низкому риску, при этом в них преобладают жилые помещения. Данные статистики получены, в том числе, и благодаря проверкам по фактам пожаров.

Проверка по факту пожара, проводимая на досудебной стадии уголовного процесса до возбуждения уголовного дела, первой задачей имеет определение причины возникновения огня, а также выявления в данном событии признаков состава преступления. Проверка по факту пожара может закончиться отказом в возбуждении уголовного дела, но даже и в этом случае значение проверки по факту пожара трудно переоценить. Дознаватель, выявляя причины пожара, закрепляет их в процессуальных документах, которые подлежат статистическому учету. Обобщение статистических данных по фактам пожаров непосредственно влияет на направления профилактической работы, которая является одним из важнейших направлений деятельности государственного пожарного надзора (ГПН) [2]. Профилактическая деятельность ставит задачу информирования субъектов о причинах возникновения пожаров в целях повышения пожарной безопасности. По факту пожара проводится проверка дознавателями ГПН. При выявлении в произошедшем событии признаков состава преступления происходит возбуждение уголовного дела. Дознаватели ГПН могут самостоятельно осуществлять дознание или передать дело по подследственности другим компетентным органам. При отсутствии признаков состава преступления осуществляется отказ в возбуждении уголовного дела. В любом случае при проверке выясняется причина возникновения пожара.

Проверки по делам о пожарах преследуют не только цель привлечения к ответственности лица, виновного в совершении правонарушения, повлекшего пожар. Еще одной, очень важной целью проверок является профилактика пожаров [3]. Профилактика пожаров является важной составляющей пожарной безопасности, но при осуществлении этой деятельности на практике возникают некоторые сложности [4]. В ходе проверки по факту пожара дознаватель выявляет причины пожара. Эти причины могут быть установлены им самостоятельно, либо с помощью специалистов и экспертов, привлекаемых дознавателем в ходе проверки. Выявление причины пожара позволяет органам ГПН, на которые возложены функции профилактики пожаров, эффективно проводить эту деятельность. Разъяснительная работа содержит и разбор реальных

случаев пожаров, произошедших в близлежащих населенных пунктах, с указанием причин пожаров. Таким образом, результаты проверки, становясь известными широкому кругу лиц, служат инструкцией к действиям по устранению аналогичных причин в жизни других лиц. Несомненно, что профилактические меры приносят результат не во всех случаях. Отдельные категории граждан игнорируют любые здравые идеи. К таким категориям относятся лица, злоупотребляющие алкоголем, ведущие асоциальный образ жизни. Но большая часть общества, зная о причинах возникновения пожара, выявленных в ходе проверки, постарается, при возможности, устранить их в своей деятельности.

Поджог может быть самостоятельным преступлением, например, при умышленном уничтожении чужого имущества, но также пожар является одним из средств совершения иных преступлений, потому что огонь потенциально может причинить значительный вред имущественным и неимущественным благам. Так, при совершении террористических актов преступники посягают не только на здоровье, жизнь, имущество граждан. Еще одной целью является государство и порядок управления, а преступления совершаются общеопасным способом с целью запугивания населения. Устрашение с помощью пожара также возможно по тем же причинам. Неразборчивость огня, быстрое его распространение вполне может вызвать дестабилизацию обстановки, что и является целью преступников террористической направленности. Таким образом, сам террористический акт может спровоцировать дальнейшее развитие негативных последствий, которые могут перерасти в чрезвычайную ситуацию (ЧС). Сама по себе ЧС представляет из себя опасную обстановку, а сопряженная с террористическим актом становится тяжелым испытанием для людей и органов управления. С точки зрения выяснения причин пожара данный вид преступлений представляет определенную сложность [5].

В любом случае проверка по факту пожара осуществляется в рамках уголовно-процессуальных норм. Даже если выносится постановление об отказе в возбуждении уголовного дела, данная деятельность, по сути, является уголовно-процессуальной деятельностью [6].

Основанием для проверки является заявление либо сообщение о преступлении. Сообщение о преступлении как повод для возбуждения уголовного дела позволяет системе поводов быть универсальной и позволяет выявлять максимальное количество преступлений [7]. Данное сообщение может быть выявлено должностным лицом и оформлено в виде рапорта. Данное правило позволяет некоторым ученым говорить о том, что сообщение о преступлении как самостоятельный повод не существует, как повод в данном случае выступает рапорт должностного лица о выявлении преступления [8]. Но Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации (УПК РФ) не упоминает рапорт в качестве повода для возбуждения уголовного дела. Дознаватели ГПН после получения сообщения о пожаре обязаны провести проверку на предмет причины пожара и наличия состава преступления [9]. Специальное законодательство в сфере пожарной безопасности определяет понятие пожара и зоны пожара. Данные определения связаны с горением, опасностью, значительным вредом для материальных и нематериальных ценностей. Огонь уничтожает на своем пути все имевшиеся носители информации. При проведении проверки по заявлениям и сообщениям по делам о пожарах дознаватель ГПН должен выявить причины возникновения пожара [10].

Статьей 144 УПК РФ определены способы и методы осуществления проверки сообщений о преступлении. Указанные способы и методы проведения проверки напрямую зависят от обстановки пожара. Дознаватели ГПН, прибывающие на место пожара, практически одновременно с подразделениями, осуществляющими тушение пожара, могут оперативно зафиксировать обстановку, которая может быть нарушена при тушении пожара [11].

На практике зачастую возникают сложности с проведением проверок по таким делам. В качестве примера можно привести апелляционное постановление от 26 сентября 2019 г. № 22К-5403/2019 по делу № 22К-5403/2019. Данное дело было рассмотрено в Ростовском областном суде. После рассмотрения апелляционной жалобы заявителя Л.В. Ткаченко суд постановил отменить постановление Красносулинского районного суда Ростовской области

от 5 августа 2019 г., которым оставлена без удовлетворения жалоба Л.В. Ткаченко. Этим же постановлением было признано необоснованным постановление об отказе в возбуждении уголовного дела дознавателя отдела надзорной деятельности и профилактической работы (ОНД и ПР) по Красносулинскому району НД и ПР Главного управления (ГУ) МЧС России по Ростовской области. Суть данного дела заключается в том, что дознаватель отказал в возбуждении уголовного дела по факту пожара. В своем постановлении при этом он неоднократно упоминает факт пожара, приводит показания свидетелей, которые заявляли о факте поджога квартиры несовершеннолетними. Проигнорировав данные заявления, он и вынес данный отказ. Впоследствии, суд, не разобравшись в деле, в первоначальной жалобе отказал. В рамках данного дела заявитель указал, что дознаватель допустил бездействие, не провел полную проверку на установление всех обстоятельств пожара. В итоге дознаватель указал причину пожара – неосторожное обращение с огнем детьми, при этом в итоговом выводе отрицает наличие самого факта пожара. Таким образом, суд, признав односторонность и неполноту проверки, пришел к выводу о повторном проведении проверки, но уже непосредственно самим руководителем органа дознания. Анализируя данное судебное постановление, можно сделать вывод о том, что ненадлежащее проведение проверки приводит, во-первых, к нарушению субъективных прав потерпевших, а во-вторых, что не менее важно, не позволяет установить реальную причину пожара.

Незнание причин пожара в дальнейшем не позволит улучшить меры противопожарной защиты. Случаи ненадлежащего проведения проверки по факту пожара не являются редкостью. Так, прокурором Шарыповского района Красноярского края отменено постановление об отказе в возбуждении уголовного дела, вынесенное дознавателем отделения ОНД и ПР по г. Шарыпово Шарыповскому и Ужурскому районам ГУ МЧС России по Красноярскому краю от 25 октября 2019 г. в связи с получением жалобы. Материалы дела направлены на дополнительную проверку. Дознавателем не было выявлено, кто именно из несовершеннолетних, каким образом, в каком конкретно месте поджег утеплитель, повлекший пожар. Дознаватель не узнал и процессуально не закрепил ответ на вопрос о том, была ли между несовершеннолетними предварительная договоренность о поджоге, кто был его инициатором [12]. В другом случае в рамках дополнительной проверки, проведенной дознавателем ОНД и ПР Сафоновского района, была назначена оценочная судебная экспертиза для определения суммы причиненного пожаром ущерба [13].

Авторами приведены типовые ситуации, зафиксированные в судебных постановлениях, в которых проводится дополнительная проверка по факту пожара.

Анализ судебной практики позволяет выделить типичные причины проведения дополнительных проверок по факту пожара. К ним можно отнести халатное отношение к проверке. В этих случаях дознаватель, не проводя проверку, в документах отражает причины пожара, которые не имеют никакого отношения к фактическим обстоятельствам. Следующей причиной является проведение проверочных мероприятий не в полном объеме. В этом случае причина пожара определяется верно, но дополнительная проверка направлена на выявление обстоятельств, важных для дальнейшего уголовного или гражданского дела по факту пожара.

Направлениями преодоления указанных недостатков, по мнению авторов, является повышение юридической и технической подготовки дознавателей ГПН. Повышению эффективности работы дознавателей также будет способствовать методическое обеспечение дознания по делам о пожарах.

Таким образом, проверка по делам о пожарах занимает важное место в обеспечении пожарной безопасности, профилактике пожаров. При проверке выявляются причины пожара, что позволяет в дальнейшем предотвращать возникновение других пожаров.

Литература

1. О государственной программе Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности

людей на водных объектах»: постановление Правительства Рос. Федерации от 15 апр. 2014 г. № 300. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

2. Козлова А.С., Чуйков Д.А., Сметанкина Г.И. Единая государственная система учета пожаров и их последствий как инструмент пожарной статистики // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. № 10. С. 153–155.

3. Место расследования пожаров в работе по их профилактике / А.Д. Полячков [и др.] // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1 (9). С. 370–372.

4. Антонченко В.В. Проблемы профилактической работы в сфере обеспечения пожарной безопасности // Актуальные проблемы российского права. 2019. № 1. С. 73–79.

5. Современные методы поиска и обнаружения пиротехнических составов на месте пожара / М.В. Хромов [и др.] // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы формирования культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. 2018. С. 397–400.

6. Проблемы осуществления проверок заявлений и сообщений о преступлениях по делам о пожарах / Л.С. Муталиева [и др.]; сост. Т.В. Мусиенко [и др.] // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 98–100.

7. Панова Ю.А., Сметанкина Г.И., Дорохова О.В. Основание производства проверки по факту пожара // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 697–699.

8. Рыжаков А.П. Поводы и основание для возбуждения уголовного дела. Комментарий к ст. 140 УПК РФ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

9. Ткачев П.А., Меньшиков А.В., Латыров З.М. Проверка заявлений и сообщений о преступлениях по делам о пожарах // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. 2020. № 2 (47). С. 60–63.

10. Борзунова Н.Ю. Оценка доказательств и принятие итогового процессуального решения по делам, подследственным Государственной противопожарной службе МЧС России // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. 2018. № 3 (40). С. 59–65.

11. Плотникова Г.В., Уланов А.Г. Ошибки и недостатки при осмотре места пожара // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2018. № 4 (8). С. 146–149.

12. Решение Шарыповского городского суда от 14 сент. 2020 г. № 2-1349/2019 2-57/2020 2-57/2020 (2-1349/2019;)~М-1276/2019 М-1276/2019 по делу № 2-1349/2019. URL: <https://sudact.ru> (дата обращения: 08.02.2021).

13. Решение Сафроновского районного суда от 11 февр. 2020 г. № 2-135/2020 2-135/2020 (2-1529/2019;) ~М-1430/2019 2-1529/2019 М-1430/2019 по делу № 2-135/2020. URL: <https://sudact.ru/> (дата обращения: 08.02.2021).



ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 004.932.2

АДАПТИВНОЕ СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ В СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ

О.А. Королев.

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

Для повышения эффективности процессов координирования и управления действиями служб оперативного реагирования МЧС России при возникновении чрезвычайных ситуаций, в том числе на автомобильном транспорте, необходимо обеспечить своевременную доставку достаточной для принятия решения информации о происшествии. Запоздалые и неточные сведения о чрезвычайной ситуации с учетом быстро меняющихся условий на месте происшествия приводят к искаженной картине случившегося и могут иметь катастрофические последствия. Таким образом, ситуационная осведомленность в реальном времени имеет решающее значение для управления силами и средствами МЧС России. Современные методы реагирования на чрезвычайные ситуации используют наземное видеонаблюдение за местом происшествия для получения ситуационной информации. В данной статье предлагается математический аппарат быстрого трехмерного косинусного преобразования для сжатия и передачи видеоинформации о чрезвычайных ситуациях, в частности на автомобильном транспорте. Приведены графики результатов моделирования алгоритма в виде зависимости степени коэффициента сжатия от сигнала/шум для различных вариантов реализации предложенного алгоритма.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, автомобильный транспорт, дискретное косинусное преобразование, сложность передачи, сжатие и восстановление

ADAPTIVE SPECTRAL CONVERSION OF VIDEO INFORMATION ABOUT EMERGENCIES IN ROAD TRANSPORT IN SURVEILLANCE SYSTEMS

O.A. Korolev. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences

In order to increase the efficiency of the processes of coordination and management of the actions of the emergency response services of EMERCOM of Russia in the event of emergencies, including in road transport, it is necessary to ensure the timely delivery of information about the incident sufficient for making a decision. Belated and inaccurate reporting of an emergency, given the rapidly changing conditions at the scene, leads to a distorted picture of what happened and can have catastrophic consequences. Thus, situational awareness in real time is critical for managing the forces and assets of EMERCOM of Russia. Modern emergency response techniques use ground-based video surveillance of the scene to obtain situational

information. This article proposes a mathematical apparatus for a fast three-dimensional cosine transform for compressing and transmitting video information about emergency situations, in particular, in road transport. The graphs of the results of modeling the algorithm are shown in the form of the dependence of the degree of compression ratio on the signal/noise for various versions of the proposed algorithm.

Keywords: emergency situations, road transport, discrete cosine transform, transmission complexity, compression and recovery

Введение

В соответствии со статистическими данными МЧС России в 2019 г. на фоне тенденции по уменьшению главного показателя аварийности – числа дорожно-транспортных аварий (ДТА) на 3,2 % наблюдался рост количества ДТА с тяжкими последствиями, повлекшими за собой 364 погибших, 1 614 пострадавших и 1 250 спасенных человек. Решение задачи обеспечения безопасности дорожного движения напрямую зависит от внедрения технологий интеллектуализации транспортной системы страны. Повышение оперативности обработки информации и принятия решений в области обеспечения безопасности дорожного движения в городе, а также эффективности процессов координирования и управления действиями служб оперативного реагирования МЧС России при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС), в том числе на автомобильном транспорте, невозможно без своевременной ситуационной осведомленности в реальном времени, имеющей определяющее значение для принятия решения оперативными службами МЧС России. Это позволяет уменьшить время реагирования на ЧС, а значит существенно снизить количество погибших и пострадавших в ДТА, техногенных транспортных авариях и катастрофах, что, безусловно, уменьшит потери экономики России, в том числе и за счет экологического ущерба, повысит эффективность транспортного комплекса России [1].

Эффективное реагирование органов управления МЧС России на ЧС на автомобильном транспорте не может быть реализовано без обеспечения своевременной доставки информации о происшествии с места события.

Современные методы реагирования на ЧС используют наземное видеонаблюдение за местом происшествия для получения ситуационной информации. При этом основными недостатками наземного видеонаблюдения являются:

- 1) ограничение по углу обзора и невозможность реагирования на события вне поля зрения;
- 2) необходимость использования большого количества наземных средств видеофиксации для отображения полной картины происшествия;
- 3) отсутствие эффективных методов передачи больших объемов визуальных данных при ограниченности канала связи.

Скоординированные автономные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) решают эти проблемы быстро, обеспечивая одновременный просмотр сцены с различным разрешением и с использованием меньшего количества камер. Они также имеют возможность проникать в труднодоступные и угрожающие для жизни и здоровья спасателей локации.

В последнее время наиболее популярными технологиями передачи стали БПЛА, имеющие камеры высокого разрешения. Такие камеры обеспечивают высококачественную съемку ЧС, но для передачи видеoinформации с требуемой точностью необходимы новые методы кодирования и декодирования изображений.

С момента публикации известной книги [2] о спектральных преобразованиях сигналов более 30 лет назад было разработано много новых алгоритмов расширений, модификаций, обновлений и улучшений как теоретических, так и практических подходов в реализации дискретных косинусных преобразований (ДКП) и дискретных синусоидальных преобразований (ДСП). Хотя упомянутая выше книга была сосредоточена исключительно на быстрых алгоритмах и приложениях ДКП типа II (ДКП-II), которые стали основой многих установленных

международных стандартов кодирования изображений/видео [3], а также ДКП с другими формами были подробно исследованы и реализованы в различных мультимедийных системах. Полный набор ДКП и ДСП, называемые дискретными тригонометрическими преобразованиями, нашли свое применение в приложениях для цифровой обработки видеoinформации, среди них, например, известные DCT/DST-IV, DCTIV/ST-IVES и DCT-II/DST-II используются для эффективной реализации ортогональных преобразований с перекрытием [4] и создания банков фильтров с косинусной/синусной модуляцией реконструкции изображений (известных как модифицированные дискретные преобразования косинуса/синуса (ДКП/ДСП) или эквивалентно модулированные преобразования с перекрытием (MLTS) [4, 5]) для высококачественного преобразования/поддиапазонного аудио-кодирования.

Развитие технологий передачи видеoinформации привело к появлению целого набора различных методов реализации ДКП, составляющих весь класс дискретных унитарных преобразований, включая их определения, математические свойства, отношения к преобразованию Кархунена – Лоева (KLT) [6], с акцентом на быстрые алгоритмы аппроксимации и эффективной реализации в целочисленной области. ДКП и ДСП - это преобразования с действительными значениями, которые отображают целочисленные сигналы в коэффициенты с плавающей точкой.

Часто распространенные подходы ДКП и ДСП для устранения операций с плавающей запятой используют методы целочисленных приближений с произвольной точностью и производительностью. Такие методы представляют собой современные технологии преобразования для высокоскоростной и оперативной доставки видеoinформации в реальном времени. С другой стороны, целочисленные ДКП с недорогой и маломощной реализацией на программируемых схемах могут применяться для создания высокопроизводительных устройств на кристалле в интеллектуальных информационно-управляющих транспортных системах.

Модели и методы исследования

В работе предлагается новый алгоритм ДКП с адаптацией к транспортным сюжетам ЧС, полученным из различных камер наблюдения на транспорте. При этом для эффективной оценки качества преобразования были использованы различные видеопотоки, в частности изображений ДТА, а для оценки сложности были определены количества арифметических операций на пиксель, что является необходимой элементной вычислительной базой для создания миниатюрных портативных видеосистем передачи и анализа видеoinформации в составе БПЛА [7].

На рис. 1 приведена структурная схема видеoinформационной системы передачи изображений о ЧС, позволяющая реализовать следующие основные функции:

- 1) прием видеoinформации о ЧС и формирование последовательности изображений ДТТ;
- 2) пирамидально-рекурсивное разбиение изображений и формирование неравномерной сетки на основе полигонально-рекурсивного метода (ПРМ) [8] для создания видеофрагментов переменного размера и последующего выполнения ДКП;
- 3) формирование трехмерных видеофрагментов в зависимости от:
 - скорости движения транспортных средств;
 - степени корреляции соседних пикселей;
 - высоты видеосъемки;
- 4) выполнение адаптивного ДКП и формирование матриц коэффициентов ДКП;
- 5) адаптивное сканирование полученных коэффициентов: вертикальное, горизонтальное или зигзагообразное в зависимости от расположения коэффициентов в матрице ДКП;
- 6) арифметическое кодирование.

Процесс восстановления сжатых изображений включает те же функции, только в обратном порядке.

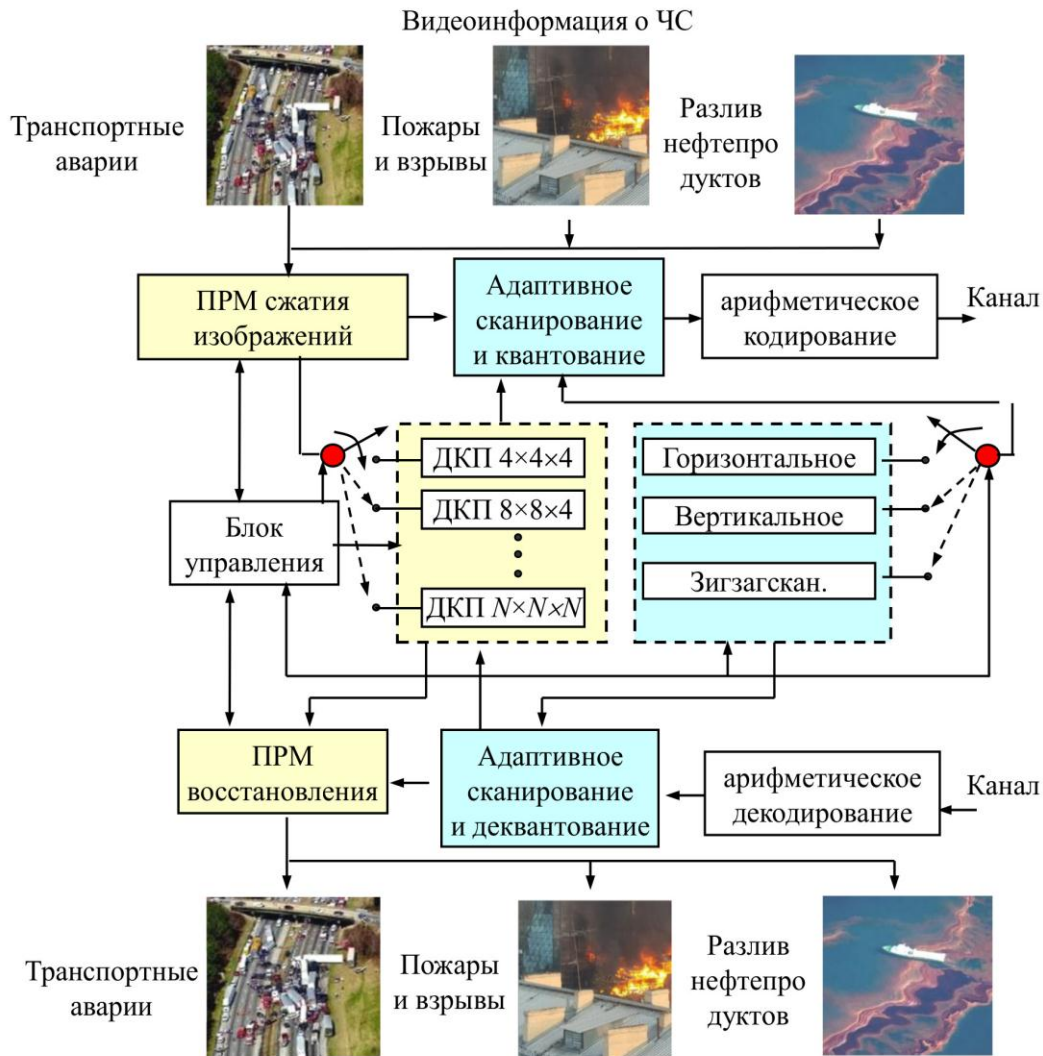


Рис. 1. Структурная схема видеосистемы передачи видеоинформации о ЧС

Рассмотрим основную функцию из вышеперечисленных.

Вычисление функций прямого и обратного трехмерного ДКП

Вычисление прямого трехмерного ДКП (3D ДКП) осуществляется над элементами изображений ДТП $X(k_1, k_2, k_3)$ с размером $N \times N \times N$ по следующей формуле [9, 10]:

$$X(k_1, k_2, k_3) = \frac{8}{N^3} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} \varepsilon_{k_3} \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} \sum_{n_3=0}^{N-1} x(n_1, n_2, n_3) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N} (2n_1 + 1)k_1\right), \quad (1)$$

где $k_1, k_2, k_3 = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, а $x(n_1, n_2, n_3)$ – представляют собой значения яркости элементов исходного видеофрагмента размером n_1, n_2, n_3 .

Вычисление функции обратного ДКП осуществляется по формуле:

$$x(n_1, n_2, n_3) = \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} \sum_{k_3=0}^{N-1} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} \varepsilon_{k_3} X(k_1, k_2, k_3) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N} (2n_1 + 1)k_1\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N} (2n_2 + 1)k_2\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N} (2n_3 + 1)k_3\right)$$

где $n_1, n_2, n_3 = 0, 1, \dots, N - 1$ и $\varepsilon_{k_i} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{при } k_i = 0 \\ 1, & \text{в другом случае} \end{cases}, i = 1, 2, 3.$

Быстрый алгоритм вычисления ДКП

В работах [4, 11] рассмотрены четыре различных типа ДКП-I–ДКП-III и вычисление этих преобразований может быть сведено к вычислению ДКП типа IV. Поскольку алгоритмы включают в себя различные размеры матриц преобразований на разных этапах, они не так регулярны по структуре.

Алгоритм прямого ДКП перестраивает как входные, так и выходные точки данных, чтобы избежать некоторых избыточных шагов по выполнению операций сложения и умножения. Важным при вычислении ДКП является процесс декомпозиции и разделения. Исходный видеофрагмент (куб) данных рекурсивно разбивается на восемь подфрагментов (подкубов), обозначаемых нечетными-нечетными-нечетными, нечетными-нечетными-четными и т.д. Затем применяется операция обратного порядка битов для изменения порядка каждого подфрагмента в соответствии с его ориентацией [12, 13].

А) Математический аппарат алгоритма ДКП на основе преобразования радикса (radix).

Многие быстрые алгоритмы [14, 15] для вычисления ДКП были предложены с момента его первого введения в работе [2], однако большинство алгоритмов было предложено для вычисления 2^m -точечного ДКП. Недавно проведенные в Институте проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) исследования [16, 17] по обработке транспортных видеопотоков с переменной длиной видеофрагмента позволили реализовать вычисления ДКП с разложением на простые множители, что привело к эффективному вычислению ДКП с длиной, отличной от 2^m и, следовательно, иметь более широкий выбор длины последовательности для различных классов изображений ДТП, для которых в конечном итоге может быть реализован 3D ДКП.

В работе рассматривается новое применение быстрого алгоритма ДКП в обработке изображений ДТА на основе различных вариантов применения формата радикса (radix-3 и radix-6), затем краткое математическое описание вариантов ДКП и сравнение различных вариантов вычисления ДКП при обработке транспортной видеоинформации.

ДКП реальной последовательности данных $\{x(i): i = 0, 1, \dots, N - 1\}$ определяется как:

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \cos\left(\frac{\pi(2i+1)k}{2N}\right),$$

где $k=0, 1, 2, \dots, N-1$.

Реализация предложенного алгоритма предполагает использование три варианта радикс-формата:

Вариант I. ДКП на основе радикс-3.

Если $N = 3^m$, где m – положительное целое число, то можно реализовать следующие три формулировки, чтобы получить результат ДКП последовательности яркостей пикселей $\{x(i)\}$ вместо прямой реализации (1).

$$A(k) = X(3k) \sum_{i=0}^{\frac{N}{3}-1} \{a_i + b_i + c\} \cos\left(\frac{3\pi(2i+1)k}{2N}\right);$$

$$B(k) = X(3k+1) + X(3k-1) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{3}-1} \{(2a_i - b_i - c_i) \cos \alpha_i + (c_i - b_i) \sqrt{3} \sin \alpha_i\} \cos\left(\frac{3\pi(2i+1)k}{2N}\right);$$

$$C(k) = X(3k+2) + X(3k-2) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{3}-1} \{(2a_i - b_i - c_i) \cos 2\alpha_i + (b_i - c_i) \sqrt{3} \sin 2\alpha_i\} \cos\left(\frac{3\pi(2i+1)k}{2N}\right) \text{ для всех } k=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{3}-1,$$

где $a_i = x(i)$, $b_i = x\left(\frac{2N}{3} + i\right)$, $c_i = x\left(\frac{2N}{3} - i - 1\right)$; $\alpha_i = \frac{\pi(2i+1)}{2N}$ и $X(-i) = X(i)$ для всех $i=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{3}-1$.

Важно отметить, что значения коэффициентов: $A(k)$, $B(k)$ и $C(k)$ представляют собой значения $\frac{N}{3}$ -точки ДКП. А значения $B(0)=2X(1)$ и $C(0)=2X(2)$ можно получить из последовательности $\{X(k): k=0, 1 \dots N-1\}$ из $\{A(k): k=0, 1, \dots, \frac{N}{3}-1\}$, $\{B(k): k=0, 1, \dots, \frac{N}{3}-1\}$ и $\{C(k): k=0, 1, \dots, \frac{N}{3}-1\}$ с $2\frac{N}{3}-2$ добавлениями. Следовательно, можно реализовать N -точечный ДКП через реализацию трех $\frac{N}{3}$ -точечных ДКП. При этом вычислительные расходы такого процесса включают в себя формирование входных последовательностей из трех $\frac{N}{3}$ -точечных ДКП. В частности, для получения последовательности:

$$\left\{ (2a_b - b_b - c_i) \cos \alpha_i + (c_i - b_i) \sqrt{3} \sin \alpha_i : i = 0, 1, \dots, \frac{N}{3}-1 \right\},$$

для каждого i требуется два умножения.

Для вычисления последовательности:

$$\left\{ (2a_b - b_b - c_i) \cos 2\alpha_i + (b_i - c_i) \sqrt{3} \sin 2\alpha_i : i = 0, 1, \dots, \frac{N}{3}-1 \right\}$$

можно переписать выражение следующим образом:

$$(2 \cos \alpha_i ((2a_b - b_b - c_i) \cos \alpha_i + (b_i - c_i) \sqrt{3} \sin 2\alpha_i) - (2a_i - b_i - c_i),$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{3} - 1$, для каждого i требуется только одно дополнительное умножение.

Следовательно, как правило, для каждого i потребуется три умножения, чтобы получить все три входные последовательности. Однако, когда $i = \frac{1}{2}(\frac{N}{3} - 1)$, имеем $\alpha_i = \frac{\pi}{3}$. В таком случае

при вычислении этих элементов можно сохранить еще два умножения.

Таким образом, математическая сложность N для 3^m -точечного ДКП, реализуемого предложенным алгоритмом, определяется следующим набором уравнений:

$$M(N - \text{ДКП}) = N \log_3 N - N + 1$$

$$A(N - \text{ДКП}) = N \log_3 N - \frac{5}{2}(N - 1), \quad N = 3^m, m > 0.$$

Вариант II. ДКП на основе радикал-6.

Если $N = 6^m$, где m – положительное целое число, то можно реализовать шесть

формулировок, чтобы получить результат ДКП последовательности $\{x(i)\}$ вместо прямой реализации ДКП формулы (1):

$$A(k) = X(6K) \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{a_i + b_i + c_i + d_i + e_i + f_i\} \cos\left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N}\right) ;$$

$$B(k) = X(6k+1) + X(6k-1) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{(2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i - 2f_i) \cos\theta_i \{ (2a_i + b_i + c_i - d_i - e_i - 2f_i) \sqrt{3} \sin\theta_i \} \cos\left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N}\right)$$

$$C(k) = X(6k+2) + X(6k-2) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{(2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i - 2f_i) \cos 2\theta_i + (b_i + c_i - d_i - e_i - 2f_i) \sqrt{3} \sin 2\theta_i\} \cos\left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N}\right) ;$$

$$D(k) = X(6k+3) + X(6k-3) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{(2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i - 2f_i) \cos 3\theta_i\} \cos\left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N}\right)$$

$$E(k) = X(6k + 4) + X(6k - 4) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{ (2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i + 2f_i) \cos 4\theta_i - (b_i + c_i - d_i - e_i - 2f_i) \sqrt{3} \sin 4\theta_i \} \cos \left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N} \right) ;$$

$$F(k) = X(6k + 5) + X(6k - 5) =$$

$$= \sum_{i=0}^{\frac{N}{6}-1} \{ (2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i - 2f_i) \cos 5\theta_i - (b_i + c_i - d_i - e_i) \sqrt{3} \sin 5\theta_i \} \cos \left(\frac{6\pi(2i+1)k}{2N} \right) ;$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{6} - 1, \text{ где } a_i = x(i), b_i = x\left(\frac{N}{3} - i - 1\right), c_i = x\left(\frac{N}{3} + i\right),$$

$$d_i = x\left(\frac{2N}{3} - i - 1\right), e_i = x\left(\frac{2N}{3} + i\right), f_i = x(N - i - 1),$$

$$\theta_i = \left(\frac{\pi(2i+1)}{2N} \right) X(-i) = X(i) \text{ для всех } i = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{6} - 1.$$

Важно знать, что значения $A(k)$, $B(k)$, $C(k)$, $D(k)$, $E(k)$ и $F(k)$ - это все $\frac{N}{6}$ -точечные

ДКП. Аналогично приведенному выше разделу можно получить последовательность: $\{X(k): k = 0, 1, \dots, N - 1\}$ из $\{A(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$, $\{B(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$,

$\{C(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$, $\{D(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$, $\{E(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$ и

$\{F(k): k = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1\}$

с $5 \frac{N}{6} - 5$ числом сложений. Другими словами, можно реализовать N -точечный ДКП через

реализацию шести $\frac{N}{6}$ -точечных ДКП. Вычислительные затраты этого процесса

декомпозиции от 1 до 6 включают в себя формирование входных последовательностей из шести $\frac{N}{6}$ -точечных ДКП.

Для вычисления последовательности:

$$\left\{ \begin{array}{l} (2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i + 2f_i) \cos 4\theta_i - (b_i - c_i - d_i + e_i) \sqrt{3} \sin 4\theta_i, \\ i = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1 \end{array} \right\}$$

ее можно переписать как:

$$\left\{ 2 \cos 2\theta_i ((2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i + 2f_i) \cos 2\theta_i - (b_i - c_i - d_i + e_i) \sqrt{3} \sin 2\theta_i) - (2a_i - b_i - c_i - d_i - e_i + 2f_i) : i = 0, 1, \dots, \frac{N}{6} - 1 \right\},$$

для каждого i потребуется только одно дополнительное умножение. Следовательно, в общем случае для каждого i требуется восемь умножений, чтобы получить все шесть входных последовательностей. Однако при $N=36$ имеем $4\theta_1 = \frac{\pi}{6}$ и $2\theta_4 = \frac{\pi}{4}$. В этом случае можно

дополнительно сохранить одно умножение и три сложения во время вычисления этих элементов.

Следует отметить, что реализация 6-точечного модуля ДКП требует четырех нетривиальных умножений и 16 сложений. Следовательно, математическая сложность предлагаемого алгоритма задается следующими уравнениями:

$$M(N - \text{ДКП}) = \frac{4}{3} \log_6 N - \frac{25}{36} N \quad ;$$

$$A(N - \text{ДКП}) = 4N \log_6 N - \frac{19}{12} (N - 1) \text{ для всех } N=6^m, m>1.$$

В) Подсчет числа операций предложенного алгоритма 3D-ДКП.

Оценка вычислительной сложности 3D ДКП-II зависит от статистических и амплитудных свойств сигнала изображений. Для определения числа арифметических операций необходимо действовать строго по следующей схеме (рис. 2):

- 1) прием видеопотока и формирование списка кубов для выполнения ДКП;
- 2) перестановка строк в матрице ДКП, так как существует взаимно однозначное соответствие между последовательностями строк матриц преобразования;
- 3) использование механизма «бабочки» (рис. 3), подобного «бабочке» быстрого преобразования Фурье (БПФ) [18], но обладает следующим отличием: правило вычисления индекса элемента косинусной компоненты иное, чем у индекса синусного элемента.



Рис. 2. Схема оценки вычислительной сложности 3D ДКП

Индекс же элемента косинусной компоненты и «свободной» компоненты, а также индекса у результирующего элемента и аргументы косинуса и синуса вычисляются так же, как и для «бабочки» БПФ.

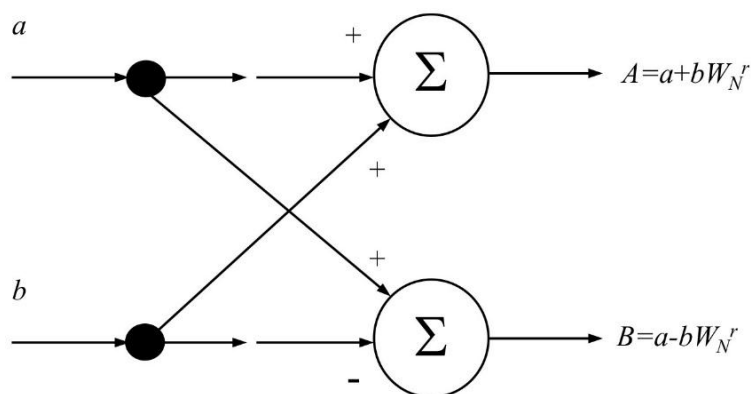


Рис. 3. Механизм «бабочки» для быстрого вычисления ДКП

Проведенные исследования в ИПТ РАН и обработка различных транспортных видео сюжетов показали, что предложенный алгоритм 3D ДКП требует, в среднем, $\log_2 N$ выполнения операции $\left(\frac{N^3}{8}\right)$ раз, а весь предложенный алгоритм 3D ДКП имеет сложность $\left(\frac{N^3}{8}\right) \log_2 N$.

4) вычисление тех же операций «бабочки», только в обратном порядке.

Современные методы реагирования на ЧС на транспорте используют наземное видеонаблюдение за местом происшествия для получения подробной видеoinформации до, во время и после аварии. В данной работе предложенный математический аппарат 3D ДКП для сжатия и передачи видеoinформации о ЧС, в частности на автомобильном транспорте, был проверен и протестирован над видеопотоками, полученными с разных высот с помощью беспилотников (рис. 4).



Рис. 4. Видеопотоки транспортных аварий:
а) с высоты 50 м; б) с высоты 150 м; в) с высоты 400 м

Обработка различных видеопотоков показала, что кадры, полученные с высоты 50 м, обладают значительно большей информацией об объекте аварии по отношению к фону (неподвижная часть изображения), то есть если считать фон изображения как шум, то отношение числа активных пикселей (принадлежащих объекту) к числу пикселей фона для кадров с высоты 50, 150 и 400 составляет, в среднем, 1,8, 0,7 и 0,4 соответственно. Следовательно, среднее значение числа операций, необходимых для вычисления 3D ДКП с помощью механизма «бабочки», равно $\left(\frac{7N^3}{8}\right) \log_2 N$ умножений и $\frac{3}{2}N^3 \log_2 N^3 - 3N^3 + 3N^2$

сложений (при этом механизм «бабочки» требует не более семи операций умножения и 24 операций). Отсюда общее количество операций умножения и сложения при тестировании предложенного быстрого алгоритма 3-D ДКП-II составило:

$$\left[\frac{24}{8} N^3 \log_2 N \right] + \left[\frac{3}{2} N^3 \log_2 N - 3N^3 + 3N^2 \right] = \frac{9}{2} N^3 \log_2 N - 3N^3 + 3N^2.$$

Следует отметить, что области фона на изображениях не подвергаются ДКП по времени из-за отсутствия движения, а над ними выполняется только 2D ДКП, то есть преобразование и сжатие осуществляются в пространственной области изображения.

Другой класс изображений транспортных аварий представляет собой видеопотоки, полученные с камер наблюдения на дорогах (рис. 5).



Рис. 5. Видеопотоки транспортных аварий с камер наблюдения на дорогах

Данный класс изображений характеризуется повышенной детализацией требуемых объектов и, следовательно, большим числом активных пикселей по сравнению с фоном.

Оценка вычислительной сложности алгоритмов ДКП

Различные варианты реализации алгоритмов ДКП выполняют различные режимы прямого 3D-ДКП в кодировании. Количество операций в различных классах показано в таблице. При декодировании количество операций зависит от количества нулевых коэффициентов в блоке видеофрагмента, подвергающего ДКП.

Таблица. Расчет числа арифметических операций на пиксель

Размер видеофрагмента	K_{add}		K_{mult}		$K_{add} + K_{mult}$	
	VRM	RCM	VRM	RCM	VRM	RCM
8×8×8	10.875	10.875	2.625	4.5	13.5	15.375
16×16×16	15.188	15.188	3.5	6	18.688	21.188
32×32×32	19.594	19.594	4.375	7.5	23.969	27.094
64×64×64	24.047	24.047	5.25	9	29.297	33.047
128×128×128	28.523	28.523	6.125	10.5	34.648	39.023
256×256×256	33.012	33.012	7	12	40.012	45.012
512×512×512	37.506	37.506	7.875	13.5	45.381	51.006
$2^{10} \times 2^{10} \times 2^{10}$	42.003	42.003	8.75	15	50.753	57.003
$2^{11} \times 2^{11} \times 2^{11}$	46.502	46.502	9.625	16.5	56.126	63.001
$2^{12} \times 2^{12} \times 2^{12}$	51.001	51.001	10.5	18	61.501	69.001

Количества требуемых сложений (K_{add}) и умножений (K_{mult}) составляют:

$$K_{add} = N^2 \left[\frac{3}{2} N \log_2 N - N + 1 \right] + N^2 \left[\frac{3}{2} N \log_2 N - N + 1 \right] + N^2 \left[\frac{3}{2} N \log_2 N - N + 1 \right] + N^2 \left[\frac{3}{2} N \log_2 N - N + 1 \right] = N^2 \left[\frac{9}{2} N \log_2 N - N + 1 \right],$$

$$K_{mult} = N^2 \left[\frac{1}{2} N \log_2 N \right] + N^2 \left[\frac{1}{2} N \log_2 N \right] + N^2 \left[\frac{1}{2} N \log_2 N \right] = \left[\frac{3}{2} N^3 \log_2 N \right].$$

1) Метод вектор-радика (vector-radix method-VRM). Наиболее известный алгоритм для выполнения быстрых прямых 2D ДКП с умеренной арифметической сложностью и имеющий регулярную структуру был сформулирован методом вектор-радика, подробно рассмотренный в работах [9, 18]. В методе вектор-радика [10] ($N \times N$)-точечный ДКП разлагается на сумму четырех ($N/2 \times N/2$)-точечных ДКП, а именно по четырем схемам: четных–четных, четных–нечетных, нечетных–четных и нечетных–нечетных индексированных элементов видеофрагмента данных. Процесс декомпозиции рекурсивно повторяется до тех пор, пока не останется тривиальная (2×2) точка ДКП. Вычислительная сложность алгоритма $N \times N$ ДКП, полученного на основе VRM, состоит из $\frac{3}{4} N^2 \log_2 N$ умножений и $3N^2 \log_2 N - 2N(N - 1)$ сложений, то есть он экономит 25 % умножений по сравнению с обычным методом строки–столбца.

2) Метод строки–столбца (row–column method-RCM) [19, 20]. Данный метод строки–столбца использует свойство делимости 2D ядер преобразования ДКП и последовательно применяет любой быстрый 1D алгоритм ДКП сначала к строкам блока видеофрагмента входных данных, далее транспонирует непосредственные результаты, а затем применяет 1D алгоритм ДКП к столбцам преобразованного блока видеофрагмента данных. Таким образом, для блока данных $N \times N$, где $N = 2^n$, RCM требует вычисления всего $2N$ при выполнении 1D N -точечных преобразований, а его вычислительная сложность составляет $N^2 \log_2 N$ операций умножений и $3N^2 \log_2 N - 2N(N - 1)$ операций сложений.

Результаты и обсуждения

Разработка и тестирование программ реализации предложенного алгоритма ДКП проводились над видеопотоками трех типов движения: малого, среднего и высокого. При этом важно отметить, что основным достоинством применения ДКП с переменным размером видеофрагмента является преобразование сигнала изображения из временной и пространственной области в спектральную область.

В процессе тестирования алгоритмов были использованы следующие модификации предложенного алгоритма: а) без адаптации к транспортным сюжетам (НДКП), б) с ограниченной адаптацией, то есть размер видеофрагмента 8×8 и 16×16 (ДКПОА) в) с адаптивным, то есть с любым размером видеофрагмента (АДКП).

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие основные выводы (рис. 6):

- 1) уменьшение сложности по сравнению с известным стандартом MPEG, в среднем более чем в 3–5 раз, и по сравнению с НДКП (JPEG) в 2–3 раза;
- 2) уменьшение значения ошибки (в данном случае, среднеквадратическое отклонение) при восстановлении результирующих изображений по сравнению с известными алгоритмами JPEG MPEG;
- 3) увеличение сигнала/шум по сравнению со всеми другими алгоритмами.

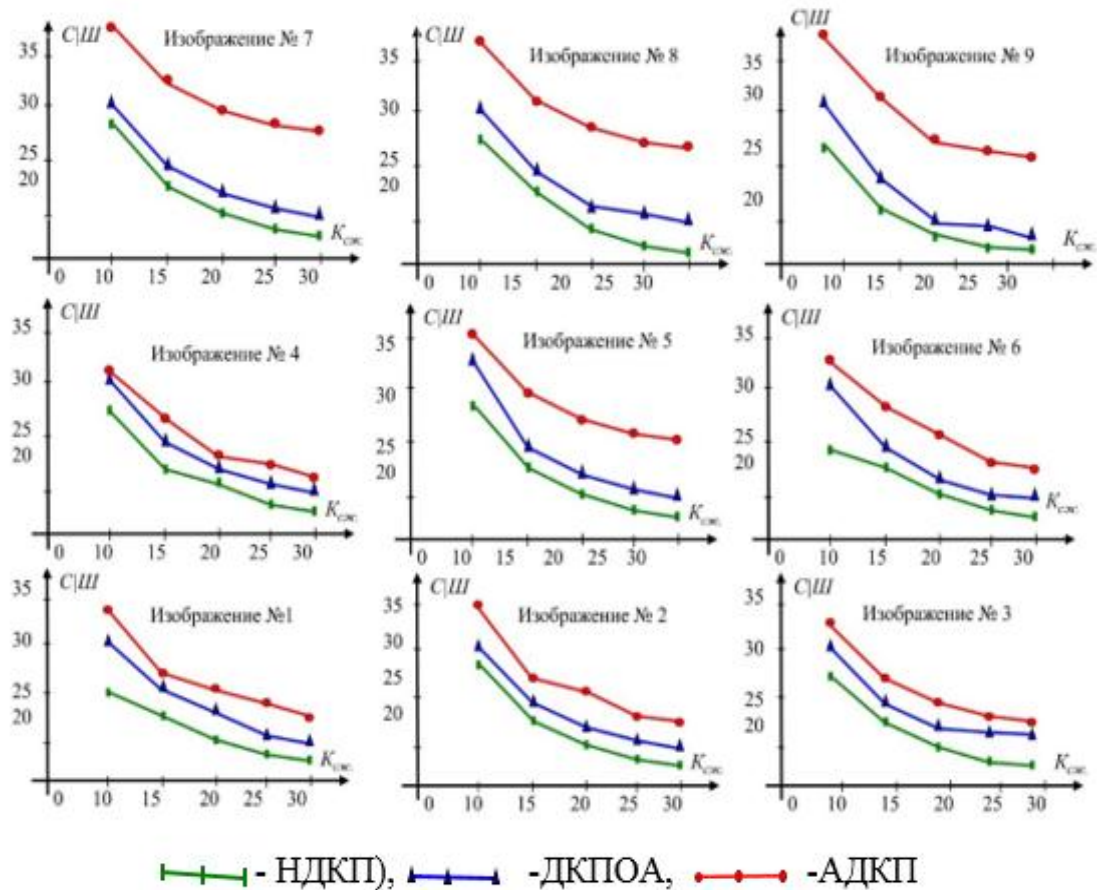


Рис. 6. Результаты тестирования программ реализации алгоритмов: HDKP, DKPOA и ADKP

Результаты экспериментов в виде графиков были получены при обработке девяти изображений из представительной выборки, сформированной в результате классификации транспортных сюжетов и подробно описанной в работе [21] (на рис. 6 изображения пронумерованы с 1 по 9).

В заключение необходимо отметить, что предлагаемый адаптивный быстрый алгоритм DKP транспортных сюжетов на основе радикс-механизма может быть использован для разработки высокопроизводительных портативных устройств передачи, а также для создания интеллектуальных камер видеонаблюдения, способных распознавать ЧС на автомобильном транспорте и в режиме реального времени передавать информацию об этом в МЧС России.

Заключение

Для создания эффективных систем видеонаблюдения за ЧС техногенного характера необходимо разрабатывать параллельные алгоритмы сжатия изображений со спецификой аномальных аварий, позволяющих своевременную и высококачественную доставку видеоинформации в соответствующие органы для принятия соответствующих решений.

На основе проведенных в ИПТ РАН экспериментов по обработке видеопотоков с различными статистическими свойствами сигнала изображений необходимо отметить следующее:

1) адаптация используемой спектральной косинусной функции к различным транспортным сюжетам с учетом амплитудных и статистических свойств сигнала изображений привела к существенному сокращению ошибки (до 2,5 раза) по сравнению с известными стандартами (MPEG4 и MPEG2), а по сравнению с стандартом (JPEG), где размер блока для

преобразования всегда фиксированный (8x8), уменьшение ошибки восстановления результирующих изображений составило 1,5–2 раза;

2) другим важным результатом, при сжатии транспортных изображений является уменьшение битовой скорости, выраженной числом бит на пиксель и соответствующей повышению степени сжатия (в три раза) при сохранении требуемого качества результирующих изображений;

3) учет статистических (корреляцию и однородность) и амплитудных (сходства яркости и цвета соседних пикселей) позволил уменьшить сложность (более чем в шесть раз) устройств сжатия и восстановления видеoinформации в транспортных системах наблюдения.

Литература

1. Малыгин И.Г., Сильников М.В. Интеллектуальные системы транспортной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 1 (29). С. 6–13.
2. Rao K.R., Yip P. Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications. Academic Press, Boston MA, 1990.
3. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
4. Wang Z. Fast algorithms for the discrete Wtransform and for the discrete Fourier transform // IEEE Trans. Accoust. Speech Signal Process. 1984. 32. pp. 803–816.
5. Ji L., Ming L.X. New DCT computation algorithm for VLIW architecture // 6th International Conference on Signal Processing. 2002. Vol. 1. pp. 41–44.
6. Clark R.J. Relation between the Karhunen-Loeve and cosine transform // Proc. IEEE. 1981. Vol. 128. pp. 359–360.
7. Dung N.D. Developing Models for Managing Drones in the Transportation System in Smart Cities // Electrical. Control Commun. 2019. 15. pp. 71–78.
8. Фахми Ш.С. Полигональная рекурсивная обработка видеoinформации // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2008. № 1. С. 42–51.
9. Hou H.S. A fast recursive algorithm for computing the discrete cosine transform // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. 1985. Vol. ASSP-33. pp. 1532–1539.
10. Chan Y., Siu W. Mixed-radix discrete cosine transform // IEEE Trans. Signal Process. 1993. Vol. 41. pp. 3157–3161.
11. Vetterli M., Nussbaumer H. Simple FFT and DCT algorithms with reduced number of operations // Signal Process. 1984. Vol. 6. № 4. pp. 267–278.
12. R. Westwater R., Furht B. The XYZ algorithm for real-time compression of full-motion video // Real-Time Imaging. 1996. Vol. 2. pp. 19–34.
13. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: Связь, 1980. 248 с.
14. A fast computational algorithm for the discrete cosine transform / H. W.-H. Chen [et al.] // IEEE Transactions on Communications. 2003. Vol. 25. pp. 1004–1009.
15. Королев О.А. Параллельный алгоритм преобразования транспортной видеoinформации // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2020. Т. 1. С. 338–344.
16. Malygin I.G., Korolev O.A. High-speed algorithm for transmitting video information about emergency situations on transport objects // Marine intellectual technologies. 2021. Vol. 1, № 1. pp. 64–70.
17. Modified route design for transport video systems on chip / S.S. Fahmi [et al.] // Marine intellectual technologies. 2020. Vol. 1. № 2. pp. 143–152.
18. Wu H.R., Paoloni F.J. The structure of vector radix fast Fourier transforms // IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing. 1989. Vol. 37. pp. 1415–1424.

19. Radix-2_2_2 algorithm for the 3-D discrete Hartley transform / S. Boussakta [et al.] // IEEE Transactions on Signal Processing. 2001. Vol. 49. pp. 3145–3156.

20. Boussakta S. Fast Algorithm for the 3-D DCT-II // IEEE Transactions on Signal Processing. 2004. Vol. 52. № 4. pp. 992–1001.

21. Малыгин И.Г., Королев О.А. Классификация изображений чрезвычайных ситуаций на автомобильном транспорте по статистическим и амплитудным свойствам // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 125–135.

УДК 614.844.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ТВЕРДОПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

В.В. Колчин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрено применение метода материального баланса при разработке средств твердопennого тушения на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты. Кратко изложены современные способы получения быстротвердеющей огнетушащей пены. Особое внимание уделяется рассмотрению процесса образования быстротвердеющей пены при взаимодействии пенообразующего силикатного раствора с газообразными продуктами сгорания газогенерирующего состава, содержащими не менее 63 об. % диоксида углерода. Приведен алгоритм и пример расчета материального баланса процесса получения быстротвердеющей огнетушащей пены с использованием газообразных продуктов сгорания газогенерирующего состава. Получено и проанализировано общее уравнение материального баланса вышеуказанного процесса. Показана информативность метода материального баланса при разработке средств твердопennого пожаротушения.

Ключевые слова: быстротвердеющая огнетушащая пена, материальный баланс, твердопennое тушение, пиротехнический газогенератор, гидрогель кремниевой кислоты

THE USE OF THE MATERIAL BALANCE METHOD FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN HARD FOAM EXTINGUISHING AGENTS

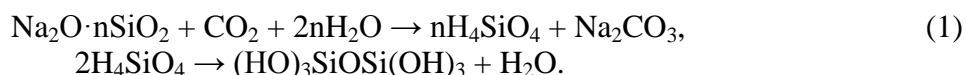
V.V. Kolchin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article discusses the use of the material balance method in the development and design of hard foam extinguishing agents based on foamed silicic acid hydrogel. Modern methods of producing fast-hardening fire-extinguishing foam are briefly outlined. Particular attention is paid to the consideration of the formation of a fast-hardening foam during the interaction of a foaming silicate solution with the gas phase of the combustion products of a gas-generating composition containing at least 63 vol. % carbon dioxide, and the corresponding reaction equations. An algorithm and an example of calculating the material balance of the process of obtaining a fast-hardening fire-extinguishing foam using the gas phase of the combustion products of a gas-generating composition are presented. The general equation of the material balance of the above process is obtained and analyzed. The information content and value of the material balance method in the development of solid-foam fire extinguishing means are shown.

Keywords: fast-hardening fire extinguishing foam, material balance, solid foam extinguishing, pyrotechnic gas generator, silicic acid hydrogel

В настоящее время как в России [1–4], так и за рубежом [5–7] наиболее широко исследуются быстротвердеющие огнетушащие пены на основе структурированных частиц кремнезема. В отличие от ранее разработанных композиций на основе мочевиноформальдегидных смол [8], они состоят полностью из негорючих веществ, преимущественно гидрогеля кремниевой кислоты, воды и солей щелочного металла. Так же имеются разработки модульных установок пожаротушения, размещаемых на различных типах объектов защиты [9, 10]. Сравнивая технологию получения современной быстротвердеющей пены с уже зарекомендовавшими себя компрессионными и воздушно-механическими пенами, можно найти существенное отличие, которое заключается в том, что образование быстротвердеющей пены идет в результате химической реакции между пенообразующим раствором силиката щелочного металла и отвердителем, в качестве которого преимущественно используются растворы кислот (уксусная и ортофосфорная), а также углекислый газ. Таким образом, методы, применяемые при проектировании химико-технологических процессов, могут также применяться при разработке современных средств твердопенного пожаротушения. Одним из таких методов является метод материального баланса. В данной статье рассмотрен материальный баланс процесса получения огнетушащей быстротвердеющей пены на основе гидрогеля кремниевой кислоты с использованием газообразных продуктов сгорания специального газогенерирующего (ГГ) состава [11].

Процесс получения вспененного гидрогеля кремниевой кислоты идет в несколько стадий. На первой стадии образуется гидрозоль ортокремниевой кислоты, который является основной формой существования свободной кремниевой кислоты в водном растворе, а на второй стадии происходит ее поликонденсация с образованием сложных линейных, разветвленных и смешанных структур. Взаимодействие силиката щелочного металла (жидкие стекла на основе силикатов натрия наиболее распространены при получении современных быстротвердеющих пен) с углекислым газом с последующей поликонденсацией ортокремниевой кислоты можно выразить следующим уравнением реакции:



В уравнении химической реакции (1) n – силикатный модуль, который представляет собой отношение числа грамм-молекул SiO_2 к числу грамм-молекул Na_2O и является важной характеристикой жидкого стекла. Известно, что чем выше силикатный модуль, тем меньшее количество углекислого газа необходимо для получения ортокремниевой кислоты [12].

Расчет любого материального баланса основывается на двух законах:

1) закон сохранения массы, который применительно к расчету материального баланса устанавливает, что общий массовый расход всех поступающих в смеситель компонентов (приход) равен общему массовому расходу огнетушащего вещества в виде быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты (расход):

$$\sum G_{\text{приход}} = \sum G_{\text{расход}}.$$

2) закон стехиометрических соотношений: если известен массовый расход хотя бы одного реагента в реакции, то можно определить массовый расход всех остальных компонентов, предварительно рассчитав молярные массы всех участников.

Теоретический материальный баланс представляет собой расчет на основе стехиометрического уравнения реакции с предположением, что в процессе участвуют чистые без примесей компоненты с их полной конверсией. В приведенном ниже расчете учитывается содержание примесей в компонентах. Под примесью в данном расчете следует понимать

вещества, не участвующие непосредственно в химической реакции, но входящие в состав компонентов получения огнетушащего вещества. В случае с раствором силикатов натрия – это вода и пенообразователь. Такие примеси в жидком стекле, как оксиды железа, алюминия, кальция, а также серный ангидрид не учитываются, так как их содержание непосредственно в жидком стекле составляет доли процента, а в пенообразующем силикатном растворе еще меньше. В случае с газогенерирующим составом учитывается только углекислый газ, азот и пары воды, количественные значения которых получены в результате термодинамического расчета в многофункциональном программном комплексе Терра, разработанном в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана и широко применяемом при моделировании высокотемпературных процессов [13]. Остальные продукты сгорания: газы – аммиак, метан и т.д., а также конденсированные продукты сгорания учитываются в расчете материального баланса как примеси (шлаковый остаток).

Материальный баланс необратимого процесса, каким и является образование кремниевой кислоты по вышеуказанному уравнению реакции, может быть рассчитан исходя из пропускной способности смесителя по компонентам либо из производительности получаемого целевого продукта (ортокремниевой кислоты). В случае получения огнетушащего вещества в виде быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты расчет материального баланса предпочтительнее производить, задавая выход целевого продукта, так как расход подачи огнетушащего вещества определяет успех тушения пожара.

Таким образом, исходными данными для расчета являются:

- а) массовый расход по силикату натрия $G_{Na_2O \cdot nSiO_2}$, кг/с;
- б) концентрация чистого силиката натрия в пенообразующем силикатном растворе $\omega_{Na_2O \cdot nSiO_2}$, масс. %;
- в) концентрация пенообразователя $\omega_{ПО}$, масс. %;
- в) концентрация диоксида углерода в продуктах сгорания газогенерирующего состава (ПСГГ) $\omega_{CO_2}^{ПСГГ}$, масс. %;
- г) концентрация воды в ПСГГ $\omega_{H_2O}^{ПСГГ}$, масс. %;
- д) концентрация азота в ПСГГ $\omega_{N_2}^{ПСГГ}$, масс. %;
- е) силикатный модуль.

Конверсия (полнота превращения) силиката натрия и углекислого газа приняты за единицу.

Расчет стехиометрического количества $G_{Na_2O \cdot nSiO_2}$, G_{CO_2} и G_{H_2O} , г/с, необходимого для получения ортокремниевой кислоты согласно уравнению реакции (1), осуществляется по формулам:

$$G_{Na_2O \cdot nSiO_2} = \frac{a \cdot M_{Na_2O \cdot nSiO_2} \cdot G_{H_4SiO_4}}{r \cdot M_{H_4SiO_4}} ;$$

$$G_{CO_2} = \frac{b \cdot M_{CO_2} \cdot G_{H_4SiO_4}}{r \cdot M_{H_4SiO_4}} ;$$

$$G_{H_2O} = \frac{c \cdot M_{H_2O} \cdot G_{H_4SiO_4}}{r \cdot M_{H_4SiO_4}} ,$$

где $M_{H_4SiO_4}$, M_{CO_2} и M_{H_2O} – молярные массы силиката натрия, углекислого газа и воды соответственно, г/моль; a , b , c , r – стехиометрические коэффициенты силиката натрия, углекислого газа, воды и ортофосфорной кислоты соответственно по уравнению реакции (1).

Количество чистого силиката натрия с учетом его конверсии, которое должно находиться в пенообразующем силикатном растворе, равно отношению стехиометрического количества силиката натрия к его степени превращения, выраженной в долях. Но так как установлена степень конверсии 1, то количество чистого силиката натрия в пенообразующем

силикатном растворе должно соответствовать его стехиометрическому количеству. Поэтому количество непревращенного силиката натрия будет равно нулю. Аналогичные соображения характерны для диоксида углерода и воды.

Расчет массового расхода пенообразующего силикатного раствора $G_{p-ра}$ и продуктов сгорания газогенерирующего состава $G_{псгг}$ определяется по формулам:

$$G_{p-ра} = \frac{G_{Na_2O \cdot nSiO_2} \cdot 100}{\omega_{Na_2O \cdot nSiO_2}} ;$$

$$G_{псгг} = \frac{G_{CO_2} \cdot 100}{\omega_{CO_2}^{псгг}} .$$

Таким образом, сумма массовых расходов пенообразующего силикатного раствора и продуктов сгорания газогенерирующего состава согласно закону сохранения массы представляет собой приход и записывается в левой части уравнения материального баланса. Рассмотрим правую часть уравнения – расход.

Как было сказано выше, количество образующейся ортокремниевой кислоты задается на начальном этапе расчета, а количество образующегося карбоната натрия $G_{Na_2CO_3}$ определяется по формуле:

$$G_{Na_2CO_3} = \frac{s \cdot M_{Na_2CO_3} \cdot G_{H_4SiO_4}}{r \cdot M_{H_4SiO_4}} ,$$

где $M_{Na_2CO_3}$ – молярная масса карбоната натрия, г/моль; s – стехиометрический коэффициент карбоната натрия в уравнении реакции (1).

Массовый расход воды и азота в продуктах сгорания газогенерирующего состава рассчитывается по формулам:

$$G_{H_2O}^{псгг} = \frac{G_{псгг} \cdot \omega_{H_2O}^{псгг}}{100} ;$$

$$G_{N_2}^{псгг} = \frac{G_{псгг} \cdot \omega_{N_2}^{псгг}}{100} .$$

Массовый расход шлаков (примесей) в продуктах сгорания рассчитывается по формуле:

$$G_{шлак}^{псгг} = G_{псгг} - G_{псгг} \cdot \left(\frac{\omega_{H_2O}^{псгг} + \omega_{N_2}^{псгг} + \omega_{CO_2}^{псгг}}{100} \right) .$$

Масса непрореагировавшей воды, но частично удерживаемой трехмерной структурой гидрогеля, определяется по формуле:

$$G_{H_2O}^{свобод} = G_{H_2O}^{псгг} + G_{p-ра} \cdot \left(\frac{100 - \omega_{Na_2O \cdot nSiO_2} - \omega_{ПО}}{100} \right) - G_{H_2O} .$$

Так как пенообразователь не принимает участия в химической реакции, то массовый расход пенообразователя G (ПО) равен произведению массового расхода коллоидного раствора на концентрацию пенообразователя.

Таким образом, окончательное уравнение материального баланса процесса получения огнетушащей быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты примет вид:

$$G_{p-ра} + G_{псгг} = G_{H_4SiO_4} + G_{Na_2CO_3} + G_{H_2O}^{свобод} + G_{N_2}^{псгг} + G_{по} + G_{шлак}^{псгг} \quad (2)$$

Схема материальных потоков процесса получения огнетушащей быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты, получаемого по технологии активации пенообразующего силикатного раствора газовой фазой продуктов сгорания газогенерирующего состава на входе в средство смешения компонентов и на выходе, представлена на рисунке.

Результаты расчета материального баланса процесса получения быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты для массового расхода по ортокремниевой кислоте 50 г/с, концентрации чистого силиката натрия 10 масс. % при значении силикатного модуля 2,9 представлены в таблице.

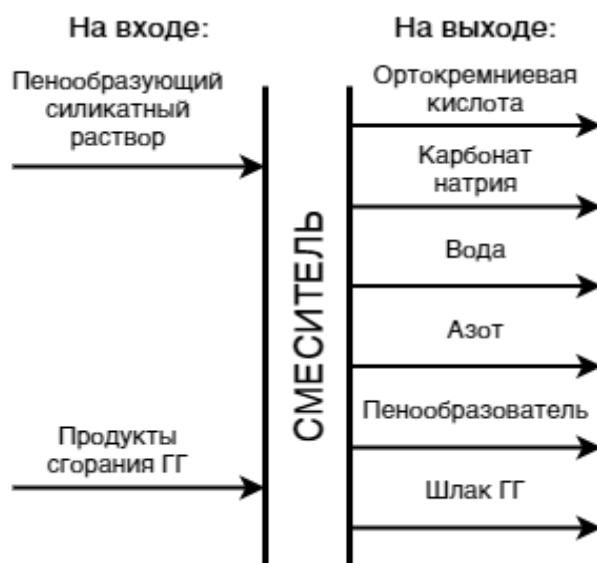


Рис. Схема материальных потоков

Таблица. Результаты расчета материального баланса

ПРИХОД:			РАСХОД:		
Компонент	г/с	масс. %	Компонент	г/с	масс. %
Пенообразующий силикатный раствор	423,93	95,75	H ₄ SiO ₄	50	11,29
			Na ₂ CO ₃	19,02	4,3
			N ₂	0,79	0,18
Продукты сгорания ГГ	18,80	4,25	H ₂ O	338,69	76,50
			ПО	25,44	5,75
			Шлак ГГ	8,80	1,99
СУММА:	442,73	100	СУММА:	442,73	100

Анализируя уравнение материального баланса рассматриваемого процесса (2), а также схему материальных потоков на рисунке и пример расчета, изложенный в таблице, можно сделать следующие выводы.

1) Массовый расход продуктов сгорания газогенерирующего состава позволяет определить необходимую площадь поверхности горения, зная плотность топлива и скорость горения. Полученные значения позволяют определить геометрию шашек, необходимую конструкцию газогенератора и количество теплопоглощающих элементов.

2) Значение массового расхода пенообразующего силикатного раствора позволяет определить параметры смешителя, необходимое давление вытеснения жидкого компонента, время работы устройства твердопенного тушения.

3) Сумма массовых расходов компонентов в правой части уравнения (2) за исключением расхода шлаков газогенерирующего состава, которые, согласно рассматриваемой технологии, остаются внутри газогенератора, позволяет определять массовый расход огнетушащего вещества.

4) Согласно стехиометрическому соотношению компонентов кратность пены определяет количество азота в продуктах сгорания газогенерирующего состава. Для того чтобы увеличить кратность пены, необходимо газовую фазу продуктов сгорания газогенерирующего состава подавать в избытке по сравнению со стехиометрическим соотношением.

Приведенная методика расчета материального баланса получения огнетушащей быстротвердеющей пены на основе вспененного гидрогеля кремниевой кислоты с использованием в качестве активатора процесса золе-, гелеобразования газовой фазы продуктов сгорания пиротехнического газогенерирующего состава, содержащей не менее 63 об. % диоксида углерода, позволяет осуществлять разработку средств твердотопливного пожаротушения и прогнозировать состав образующегося огнетушащего вещества.

Литература

1. Kuprin D.S. Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2017. Т. 81. № 1. С. 36–41. doi:10.1007/s10971-017-4392-1.

2. Silica foams for fire prevention and firefighting / A.V. Vinogradov et al. // *ACS applied materials & interfaces*. 2016. Т. 8. № 1. С. 294–301. doi:10.1021/acsami.5b08653.

3. Перспективы развития инновационных технологий получения и применения быстротвердеющей огнетушащей пены / Д.С. Куприн [и др.] // *Пожарная безопасность*. 2016. Т. 3. № 3. С. 207–209.

4. Куприн Д.С., Поляков А.С. Об эффективности переносных огнетушителей при тушении твердых горючих материалов автомобилей // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2020. № 4. С. 32–39.

5. Self-hardening thermoplastic foam for the inhibition of coal oxidation at low temperatures / Xi Z. [et al.] // *Combustion Science and Technology*. 2019. Т. 191. № 11. С. 1942–1959. doi:10.1080/00102202.2018.1539967.

6. Fire prevention and control using gel-stabilization foam to inhibit spontaneous combustion of coal: Characteristics and engineering applications / Xue D. [et al.] // *Fuel*. 2020. Т. 264. С. 116903. doi:10.1016/j.fuel.2019.116903.

7. Carbon dioxide sealing-based inhibition of coal spontaneous combustion: A temperature-sensitive micro-encapsulated fire-retardant foamed gel / Xue D. [et al.] // *Fuel*. 2020. Т. 266. С. 117036. doi:10.1016/j.fuel.2020.117036.

8. Копылов Н.П., Сушкина Е.Ю. Быстротвердеющая пена: история разработки и применения в пожаротушении // *Пожарная безопасность*. 2018. № 2. С. 78–83.

9. Kolpakov S.A., Krutolapov A.S., Mironchev A.V. Autonomous fire extinguishing systems for oil and oil products tank farms // *Problems of ensuring safety in the elimination of consequences of emergency situations*. 2018. Vol. 1. P. 293–296.

10. Kolpakov S.A., Krutolapov A.S., Mironchev A.V. On the issue of creating modular fire extinguishing installations for tank farms of oil and oil products // *Regional aspects of management, economics and law of the Northwestern Federal District of Russia. Interuniversity collection of scientific papers*. Saint-Petersburg, 2018. P. 123–127.

11. Способ получения вспененного гидрогеля кремниевой кислоты: пат. Рос. Федерация № 2720416 / Баев С.Н., Виноградов А.В., Виноградов В.В. [и др.]. Бюл. № 13.

12. Фиговский О.Л., Кудрявцев П.Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых наноконпозиционных материалов // *Инженерный вестник Дона*. 2014. Т. 29. № 2.

13. Трусов Б.Г. Программный комплекс TERRA для расчета плазмохимических процессов // *Матер.* 2002. Т. 3. С. 217–218.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агаев Гюлоглан Али оглы – проф. каф. уголовного права и тамож. расслед. СПб гос. ун-та аэрокосм. приборостр. (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А), e-mail: guloglanmvd@gmail.com, д-р юрид. наук, проф.;

Агеев Павел Михайлович – ст. науч. сотр. отд. испыт.и разработки науч.-техн. продукции в обл. пож. безопасн. НИИ перспект. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: pageev72@yandex.ru, канд. техн. наук;

Аникеев Алексей Алексеевич – нач. Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), тел. +7(423)246-94-27, e-mail: anikeev@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Астанков Алексей Михайлович – нач. лаб. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: astankovy@yandex.ru;

Брод Андрей Львович – врач травматолог-ортопед ФГБУЗ ФМБА России санатория «Архипо-Осиповка» (353488, Краснодарский край, с. Архипо-Осиповка, ул. Санаторная, д. 40), e-mail: practicsv@yandex.ru;

Вагин Александр Владимирович – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 388-69-68, e-mail: alexwagin@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Винокуров Владимир Анатольевич – проф. каф. теор. и истории гос-ва и права С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: pravo.kaf_tigr@mail.ru, д-р юрид. наук, доц., засл. юрист Российской Федерации;

Дворников Сергей Викторович – проф. каф. радиотехн. и оптоэлектрон. комплексов (Кафедра 21) С.-Петербур. гос. ун-та аэрокосм. приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67); проф. каф. радиосвязи Воен. акад. связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий проспект, д. 3), e-mail: practicsv@yandex.ru, д-р техн. наук, проф.;

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;

Елисеев Юрий Николаевич – нач. ИЦЭП СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: eliseev-@mail.ru, канд. техн. наук;

Захарова Елена Викторовна – Тюменский индустр. ун-т (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: zaharovaev@tyuiu.ru, канд. биол. наук, доц.;

Зорина Елена Андреевна – нач. каф. труд. права С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: zorina_lena@mail.ru, канд. юрид. наук, доц.;

Ивахнюк Григорий Константинович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: fireside@inbox.ru, д-р хим. наук, проф.;

Илюсизова Айсауле Серикбаевна – студент Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: oblاد@mail.ru;

Клейманов Петр Анатольевич – ст. препод. каф. спец. подгот. фак-та доп. проф. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), e-mail: kleymanov@yandex.ru;

Колчин Вадим Владимирович – аспирант 5-ого курса ин-та заочн. и дистанц. обуч. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: vadim.kolchin@mail.ru;

Копейкин Николай Николаевич – вед. науч. сотр. отд. пож. безопасн. транспорта НИИ перспект. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: knns1@mail.ru, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник;

Королев Олег Александрович – науч. сотр. лаб. проблем безопасн. трансп. систем Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13), e-mail: korolev@iptran.ru;

Королева Людмила Анатольевна – зам. нач. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: lyudamil@mail.ru, д-р техн. наук, доц.;

Лобатова Ольга Витальевна – ст. науч. сотр. отд. эксперт. пожаров и орг-ции подгот. экспертов ИЦЭП С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35), тел. раб. 8(812)441-06-83, e-mail: olgalobatova@mail.ru;

Ложкина Ольга Владимировна – доц. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: olojkina@yandex.ru, канд. хим. наук, д-р техн. наук, доц.;

Маевский Андрей Михайлович – рук-ль отд. морской робототехники С.-Петерб. гос. морского техн. ун-та (190121, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3), e-mail: maevskiy_andrey@mail.ru;

Мазур Андрей Семенович – зав. каф. хим. энергетики С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: mazugas@mail.ru, д-р техн. наук, проф.;

Малых Вадим Александрович – инж.-конструктор АО «НПП «Радар ммс» (197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37 Литер. А), e-mail: malyh_va@radar-mms.com;

Мальшев Сергей Алексеевич – магистрант ин-та заоч. и дистанц. обуч. ФГБОУ ВО СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: v9276061141@yandex.ru;

Марков Виктор Евгеньевич – нач. сектора судебных экспертиз ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Приморскому краю (690022, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, ул. Чапаева, 1 Д), тел. +7(423)231-28-46, e-mail: ipl@mchs25.ru;

Мельник Антон Анатольевич – нач. науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: melnik@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Меньшиков Андрей Владимирович – зав. каф. гражд. права С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

Мироненков Олег Вячеславович – науч. сотр. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: mironenkov70@gmail.com, канд. хим. наук;

Митричев Денис Александрович – ст. инж. нормат.-техн. отд. упр. надз. деят. и профилакт. работы ГУ МЧС России по Курской области (305000, г. Курск, ул. Можаяевская, д. 6), e-mail: pravo.kaf_tigr@mail.ru;

Михайлова Валерия Игоревна – аспирант каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: gidralera@rambler.ru;

Мокряк Анна Васильевна – науч. сотр. отд. инновац. и информ. технол. в экспертизе пожаров ИЦЭП СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: mokryakanna@mail.ru;

Николашин Сергей Юрьевич – доц. каф. горноспасат. дела и взрывобезопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nicolashins_65@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Осокин Евгений Александрович – студент ин-та заочн. и дистанц. обуч. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: anuta_list@list.ru;

Печайко Иван Александрович – студент Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (198005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1), e-mail: pechaikojohn@gmail.com;

Поляков Александр Степанович – проф. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф., заслуж. деят. науки РФ;

Принцева Мария Юрьевна – зам. нач. отд. инструмент. методов и техн. средств эксперт. пож. ИЦЭП 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;

Савчук Олег Николаевич – проф. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-25-85, e-mail: savchuk.o@igps.ru, канд. техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ, почетный проф. ун-та;

Савонин Сергей Викторович – доц. каф. хим. энергетики С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: s.s.v.72@inbox.ru, канд. техн. наук;

Сафонов Владимир Николаевич – доц. каф. уголовного права и тамож. расслед. С.-Петерб. гос. ун-та аэрокосм. приборостр. (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А), e-mail: svn205@gmail.com;

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, поч. работник науки и техн. РФ, лауреат премии Прав-ва РФ в обл. науки и техн., лауреат премии Прав-ва РФ в обл. образования РФ;

Сильников Михаил Владимирович – проф. каф. переподгот. и повыш. квалификации спец-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: silnikov.m@igps.ru, д-р техн. наук, проф.;

Смирнова Антонина Михайловна – аспирант каф. хим. энергетики С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), тел.: 494-93-27, e-mail: a.m.smirnova@technolog.edu.ru;

Сорокин Игорь Александрович – ст. препод. каф. физ.-хим. основ проц. горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: igor_40in@mail.ru;

Ткачев Павел Анатольевич – проф. каф. гражд. права СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ТКАЧЕВ.МЧС@mail.ru, канд. юрид. наук, проф.;

Турсенев Сергей Александрович – зам. нач. центра орг. науч.-исслед. и ред. деят. – нач. отд. инф. обеспеч. населения и технол. информ. поддержки РСЧС и пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Ударцева Ольга Владимировна – проф. каф. техносфер. безопасн. Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: oblاد@mail.ru, д-р техн. наук, доц.;

Хайдаров Андрей Геннадьевич – доц. каф. бизнес-информатики СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, канд. техн. наук, доц.;

Хахленов Аюка Викторович – магистрант ин-та заочн. и дистанц. обуч. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: hahlenoff@mail.ru;

Чешко Илья Данилович – вед. науч. сотр. отд. инстр. методов и техн. ср-в эксплуатации пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: idc48@mail.ru, д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ.



ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы, кандидат 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.

Вниманию 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
№ 2 (58) – 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 30.06.2021. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 21,5 Тираж 1000 экз. Зак. № 99

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149