

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**

PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT

**№ 2 (62)–2022**

**Редакционный совет**

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

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

**Члены редакционного совета:**

доктор технических наук, ассоциированный профессор (доцент) полковник гражданской защиты **Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич**, начальник Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан;

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 технических наук, доцент **Евтюков Станислав Сергеевич** заведующий кафедрой транспортных систем Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета;

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;

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 (г. Минск, Республика Беларусь);

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 Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор юридических наук, профессор **Агаев Гююлоглан Али оглы**, профессор кафедры уголовного права и таможенных исследований 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, кандидат социологических наук, профессор **Готчина Лариса Владимировна**, заведующий кафедрой уголовного права и криминологии Санкт-Петербургской академии Следственного комитета Российской Федерации;

доктор юридических наук, доцент **Винокуров Владимир Анатольевич**, профессор кафедры теории и истории государства и права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор юридических наук, доцент **Ишеков Константин Анатольевич**, доцент кафедры правовых основ управления факультета государственного управления Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

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**, начальник кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

#### **Члены редакционной коллегии:**

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

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**, профессор 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 полковник внутренней службы **Шидловский Григорий Леонидович**, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Секретарь коллегии:**

кандидат технических наук, доцент полковник 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***

- Паршина А.П., Калач А.В., Шарпов С.В.** Анализ и предварительная оценка причин аварийности нефтеперевозок танкерами ..... 6
- Андрюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н.** Экспериментальное определение прочностных и пластических свойств корпусов нефтегазового оборудования по твердости и их влияние на взрывопожарную опасность ..... 16
- Астанков А.М., Шаповалов П.В., Вагин А.В.** Обоснование структуры системы мониторинга технического состояния несущих металлоконструкций технологического оборудования объектов наземной космической инфраструктуры ..... 25

## ***ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ***

- Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф.** К вопросу определения частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности ..... 34
- Королев Д.С., Вытовтов А.В.** Анализ эффективности работы системы пожарной безопасности на основе цифрового двойника объекта защиты ..... 42
- Клочихин И.О., Васильев М.А., Минкин Д.Ю.** Определение свойств воздушной среды при тлении со свечением хлопка ..... 52
- Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С.** Информационная оценка оптимального управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля ..... 61

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

- Ивахнюк С.Г., Королева Л.А.** Научно-технические инновации по снижению концентрации техногенного CO<sub>2</sub> в атмосфере за счет повышения его абсорбции ..... 69
- Яцуценко В.Н., Мазаник А.И.** Анализ проблемной ситуации предметной области, связанной с риском возникновения заторных наводнений на территории Российской Федерации, и пути ее разрешения ..... 80
- Ложкин В.Н.** Исследование влияния торфяного пожара на комплексную безопасность автотранспортного движения ..... 88
- Мотыженкова М.Г.** Управление пожарными рисками при строительстве, ремонте и утилизации судов и кораблей надводного и подводного плавания ..... 94
- Спесивцев А.В., Вагин А.В.** Управление рисками при эксплуатации сложных объектов на основе нечетко-возможностных моделей ..... 104
- Лабинский А.Ю.** Расчет эффективности теплообменных аппаратов для оценки опасности возникновения чрезвычайных ситуаций ..... 115
- Ложкина О.В., Мальчиков К.Б.** Анализ структуры флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга в контексте контроля опасного воздействия на окружающую среду ..... 123
- Гутовский А.В., Корниецкая А.Б., Турсенев С.А.** Определение времени выполнения операций по установке бонового ограждения под лед ..... 135

## ***ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ***

- Газдиев А.М., Кузьмин А.А., Пермяков А.А.** Повышение огнестойкости волокнистых теплоизоляционных материалов применением аэрогелей ..... 144
- Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Иванов А.В.** Оценка способов вытеснения огнетушащих веществ из средств пожаротушения, предназначенных для тушения углеводородов ..... 154

**ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**Новиков В.Р.** Применение метода экспертных оценок при выборе автомобилей категории М1G для оснащения подразделений МЧС России ..... 164

**Информационная справка.** ..... 172

**Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере».** ..... 176

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](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

**ISSN 1998-8990**

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 656.073: 656.085.5

## АНАЛИЗ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИЧИН АВАРИЙНОСТИ НЕФТЕПЕРЕВОЗОК ТАНКЕРАМИ

**Анастасия Петровна Паршина.**

**Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.**

**Андрей Владимирович Калач**✉.

**Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия;**

**Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.**

**Сергей Владимирович Шарапов.**

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

✉ [a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)

*Аннотация.* Эксплуатация нефтяных танкеров связана с повышенной пожарной опасностью, которая возрастает в результате увеличения объема перевозок, старения конструкций судна, а также пренебрежения требованиями техники безопасности экипажем. В статье приведена краткая характеристика современных нефтеперевозок, проведен анализ аварийности, и сформирована статистика известных пожаров на нефтеналивных танкерах, определены некоторые особенности реализации пожароопасных ситуаций на танкерах. Данные материалы могут быть использованы при выборе и совершенствовании противопожарных мероприятий на нефтяных танкерах.

*Ключевые слова:* нефтеналивной танкер, пожар, взрыв, нефть, нефтеперевозки, пожароопасная ситуация

**Для цитирования:** Паршина А.П., Калач А.В., Шарапов С.В. Анализ и предварительная оценка причин аварийности нефтеперевозок танкерами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 6–15.

## ANALYSIS AND PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE CAUSES OF ACCIDENTS IN OIL TRANSPORTATION BY TANKERS

**Anastasiya P. Parshina.**

**Voronezh state technical university, Voronezh, Russia.**

**Andrey V. Kalach**✉.

**Voronezh institute of the FPS of Russia, Voronezh, Russia;**

**Voronezh state technical university, Voronezh, Russia.**

**Sergey V. Sharapov.**

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

✉ [a\\_kalach@mail.ru](mailto:a_kalach@mail.ru)

*Abstract.* The crew interconnects the operation of oil tankers with an increased fire hazard, which increases because of an increase in the volume of traffic, aging of the ship's structures, as well as neglect of safety requirements. The article provides a brief description of modern oil transportation, an analysis of accidents and statistics of known fires on oil tankers are formed, some

features of the implementation of fire-hazardous situations on tankers are determined. These materials can be used in the selection and improvement of fire prevention measures on oil tankers.

*Keywords:* oil tanker, fire, explosion, oil, oil transportation, fire situation

**For citation:** Parshina A.P., Kalach A.V., Sharapov S.V. Analysis and preliminary assessment of the causes of accidents in oil transportation by tankers // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 6–15.

## Введение

Нефть – ценное полезное ископаемое, которое все больше внедряется в производственные процессы изделий и продукции, без которых невозможно представить современное общество. Нефтегазовый комплекс доминантно определяет состояние отечественной экономики. Российский нефтегазовый комплекс является одним из крупнейших в мире и продолжает успешно развиваться [1]. Объемы добычи и переработки нефти с каждым годом увеличивается. В связи с этим возникает необходимость организации экономически эффективных способов транспортировки нефти и нефтепродуктов. Широкое применение в сфере нефтеперевозок получили нефтеналивные танкеры. Они способны транспортировать значительные объемы наливных грузов на большие расстояния.

Объемы перевозок, увеличение геометрических размеров танкеров и насыщение их различными техническими устройствами приводят к повышению вероятности возникновения пожароопасных ситуаций [2, 3].

Проблемы обеспечения пожарной безопасности самоходных судов заключаются в изолированности судна и трудностями, которые возникают при тушении пожаров. При этом нефтяные танкеры обладают дополнительно экологической опасностью [4]. Разливы нефти на водной поверхности приводят к загрязнению акватории, в результате чего гибнут представители флоры и фауны водного бассейна.

При этом изолированность судна затрудняет применение мероприятий по эвакуации людей с горящего судна. Нередко людям просто некуда эвакуироваться. Установлено, что в ходе тушения пожаров на танкерах пожарные подразделения сталкиваются со следующими трудностями:

- невозможность эффективной оценки обстановки в результате недостаточного естественного освещения и высокой плотности задымления;
- значительные затраты огнетушащих средств;
- высокое значение теплопроводности материалов, из которых изготовлены конструкции судна;
- насыщенность и разнообразие пожарной нагрузки;
- большая скорость распространения пожара по коридорам, шахтам трапов, вентиляционным каналам;
- сложность планировки и отсутствие безопасных эвакуационных путей и т.д. [5].

Применение на нефтяных танкерах систем автоматического пожаротушения значительно ограничиваются следующими факторами:

- в результате взрыва или теплового воздействия пожара, как правило, системы пожаротушения выходят из строя [6];
- в результате воздействия морской среды узлы и детали установок находятся в неисправном состоянии;
- невозможностью оперативного пополнения запасов катализатора для пенных систем пожаротушения.

Научная новизна исследования заключается в методе выявления основных направлений разработки противопожарных мероприятий, отличающегося от известных путем оценки сезонных циклов аварийности судоходства, характера и особенностей развития пожароопасных ситуаций на нефтеналивных танкерах с учетом расположения первичного очага возгорания и причин возникновения известных пожаров.

### Аналитическая часть

При разработке эффективных противопожарных мероприятий необходимо руководствоваться статистическими данными, характеризующими причины пожаров и взрывов на нефтеналивных танкерах, место возникновения пожара и пути его распространения, а также социальный, материальный и экологический ущерб.

По данным Национального исследовательского совета США, ежегодно в акваторию Мирового океана поступает около 1,5 млн кубических метров нефти и нефтепродуктов по причине аварий, связанных с транспортировкой (22 % от всех аварий) [7]. В результате пожаров и взрывов на различных видах танкеров за период с 2017 по 2021 г. травмировано и погибло 157 чел. (табл.) [8].

Таблица. Данные о погибших и травмированных при пожарах на танкерах

Тип судна	Количество пожаров	Число пострадавших в результате пожаров	
		погибших*	травмированных
нефтеналивной танкер	24	84	46
газовоз	2	20	0
химвоз	3	0	7

\* в том числе пропавшие без вести

Анализ аварийности нефтеналивных танкеров и обработка статистических данных осуществлялись по нескольким направлениям (рис. 1).

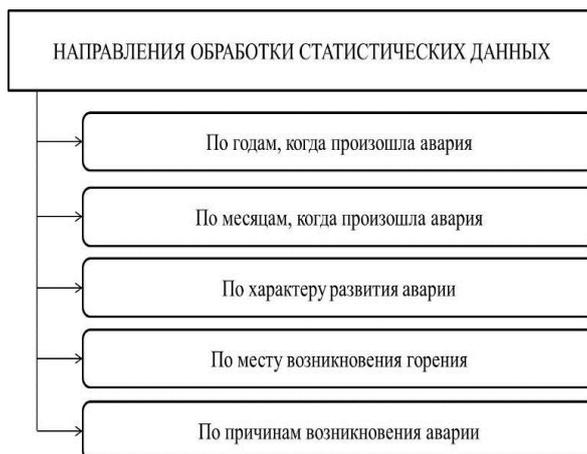


Рис. 1. Направления обработки статистики пожароопасных аварийных ситуаций на нефтяных танкерах

Всего за период с 2017 по 2021 г. на нефтеналивных танкерах произошло 24 пожара. Статистика за данный период приведена на рис. 2.

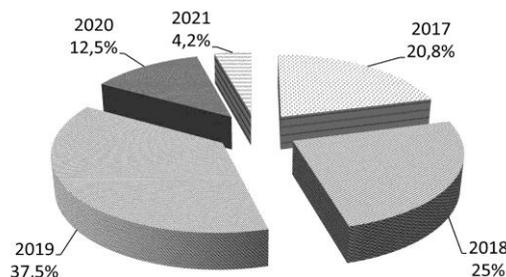


Рис. 2. Распределение пожароопасных ситуаций по годам: с 2017 по 2021 г.

Согласно данным информационных электронных ресурсов не зафиксировано ни одного пожара или взрыва на нефтеналивных танкерах в феврале, июле и ноябре [9–27]. Статистика аварий по месяцам, когда произошли аварии, представлена на рис. 3.

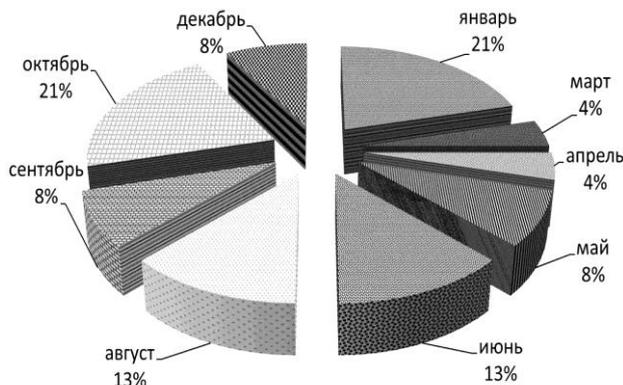


Рис. 3. Распределение пожароопасных ситуаций по месяцам

Таким образом, наибольшее количество пожаров на танкерах зафиксировано в январе и октябре. Данное обстоятельство может быть связано с сезонностью погодных условий. То есть в конце и в начале года часто происходят осенне-зимние штормы, которые оказывают значительное влияние на аварийность судоходства в целом. Таким образом, погодные условия оказывают значительное влияние на гидродинамические нагрузки на конструкции танкера, а также на вероятность возникновения пожаров и взрывов в результате столкновений двух судов. Это обстоятельство указывает на необходимость повышения эффективности и унифицирование требований к системам навигации.

Возникновение пожаров и взрывов на нефтеналивных танкерах может быть как взаимосвязанным, так и индивидуальным. Пожар может возникнуть в результате взрыва, а взрыв – в результате возникновения горения. Поэтому были рассмотрены статистические данные по характеру развития пожароопасной ситуации (рис. 4).

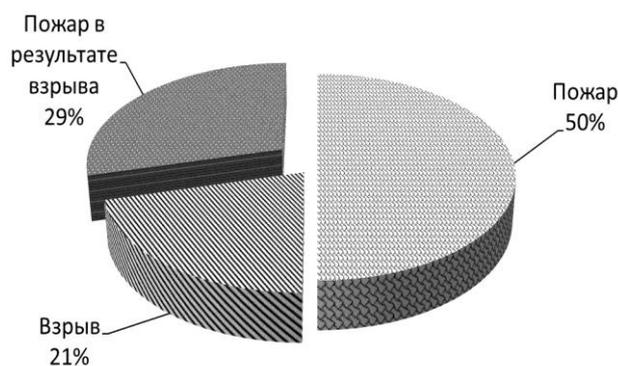


Рис. 4. Статистика пожароопасных аварийных ситуаций по характеру развития

Установлено, что в 29 % случаев пожар возникал в результате взрыва на судне. Самостоятельное возникновение пожара зафиксировано в 50 % случаев, а самостоятельных взрывов – 21 %. Исходя из того, что пожары происходят на танкерах чаще, а взрывы приносят больше человеческих жертв и материального ущерба, следует предусматривать комплексные мероприятия, направленные на защиту нефтеналивных танкеров как от пожаров, так и исключая возникновение взрывов.

При взрывах на танкерах автоматические системы противопожарной защиты выходят из строя в результате его разрушающего действия. Также применение автоматических систем объемного тушения неэффективно вследствие потери герметичности помещений в результате разрушения конструкций. То есть в 50 % случаев системы пожарной сигнализации и автоматические установки пожаротушения не выполняют противопожарную операцию.

Для повышения эффективности противопожарных мероприятий на нефтеналивных танкерах необходимо понимать, в каких частях судна они наиболее необходимы. Для этого были рассмотрены и проанализированы известные пожары и взрывы на нефтеналивных танкерах с целью установления места первоначального возникновения горения. Статистика пожаров и взрывов по месту их возникновения показана на рис. 5.

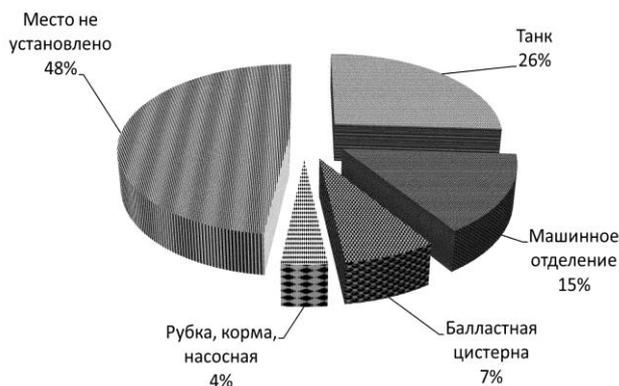


Рис. 5. Статистика пожаров и взрывов по месту их возникновения

К сожалению, место возникновения первоначального возникновения горения не установлено почти в половине случаев (44, 8 %). Исходя из известных данных, наиболее часто горение возникает в танке с нефтью или нефтепродуктом, что обусловлено взрывопожароопасными свойствами углеводородов. Пожары начинаются в машинном отделении в 15 % случаев. При этом горючим веществом является, как правило, жидкое топливо.

Согласно данным Lloid’s list за период с 2012 по 2017 г. данные о месте возникновения пожаров и взрывов отсутствуют в 61 % случаев. Аналогичным образом обстоит вопрос и с определением причины возникновения пожара или взрыва (рис. 6), что обусловлено трудностями, связанными с расследованием таких аварий. Нередко в результате пожара судно идет ко дну, и произвести осмотр места пожара и отработку версий в таком случае не представляется возможным [28].

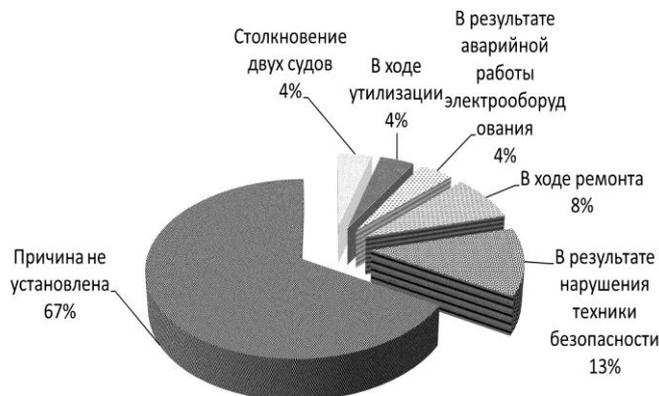


Рис. 6. Статистические данные о причинах возникновения пожаров и взрывов на нефтеналивных танкерах

Исходя из известных данных о причинах возникновения пожаров и взрывов на нефтеналивных танкерах, можно сделать вывод, что в ходе утилизации и ремонтных работ на нефтеналивных танкерах происходит 12 % пожаров. При этом для осуществления указанных работ прекращают работу автоматических систем противопожарной защиты. Данное обстоятельство позволяет полагать, что при возникновении таких пожаров система пожарной сигнализации и установки пожаротушения находились в нерабочем состоянии.

По результатам анализа, выполненного на основе длительности горения нефтеналивного танкера, в 12,5 % пожаров автоматические установки пожаротушения неэффективны.

### Заключение

Таким образом, дана краткая характеристика аварийности современных нефтеперевозок за период с 2017 по 2021 г. Повышение степени обеспечения пожарной безопасности нефтеналивных танкеров путем разработки эффективных противопожарных мероприятий, а также внедрения унифицированных требований к системе ее обеспечения невозможно без изучения и анализа известных пожаров и взрывов. Анализ и обобщение статистических данных о пожарах и взрывах на нефтеналивных танкерах за рассматриваемый временной период позволил установить рост количества взрывопожароопасных аварий, причем 22 % всех аварий составляют происшествия, связанные с транспортировкой нефти и нефтепродуктов. Установлено, что самыми «аварийными» месяцами являлись январь и октябрь, что обусловлено ухудшением погодных условий в акватории. Анализ аварийности нефтеналивных танкеров показал, что наибольшее число пожароопасных аварийных ситуаций связано с возникновением горения в машинном отделении. Из полученных результатов следует, что при разработке и внедрении противопожарных мероприятий и систем пожарной автоматики на нефтеналивных танкерах следует руководствоваться наиболее вероятными сценариями возникновения и развития пожароопасных ситуаций в различных частях (местах) нефтеналивных танкеров.

Кроме того, поскольку наиболее частой причиной возникновения пожара на нефтеналивном танкере является нарушение требований техники безопасности, то следует обратить особое внимание на порядок обучения экипажа правилам и требованиям охраны труда и мерам безопасной работы, а также тренировкам, направленным на отработку действий при возникновении пожара.

### Список источников

1. Некоторые проблемы обеспечения безопасности объектов нефтегазового комплекса в России / А.В. Калач [и др.] // Техносферная безопасность. 2020. № 1 (26). С. 71–76.
2. Современное состояние обеспечения пожарной безопасности на водном транспорте / А.В. Калач [и др.] // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. 2020. С. 353–359.
3. Современное состояние организации грузоперевозок и обеспечения пожарной безопасности на водном транспорте / А.В. Калач [и др.] // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 3–11.
4. Экспертное исследование и ликвидация последствий пожаров нефтепродуктов / С.В. Шарапов [и др.]: монография. СПб., 2017.
5. Анализ аварийности развития пожароопасной ситуации на нефтяном танкере / А.В. Калач [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4. С. 38–43.
6. Лоран Н.М., Калач А.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности и сценарное моделирование развития пожароопасной ситуации на нефтеналивном танкере // Техносферная безопасность. 2022. № 1 (34). С. 31–36.
7. Королев Д.С., Калач А.В. Прогнозирование зоны теплового излучения огненного шара пожара пролива, действующего объекта нефтегазовой отрасли // Пожарная

безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2021. С. 74–76.

8. Preliminary annual overview of marine casualties and incidents 2014–2021 // European maritime safety agency. Lisbon, 2022.

9. LPG tanker NAVIGATOR LEO fire, Gulf of Finland // FleetMon.

URL: <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2017/17223/lpg-tanker-navigator-leo-fire-gulf-finland/> (дата обращения: 25.02.2021).

10. В Восточном Китае три человека пропали без вести в результате аварии танкера // СИНЬХУА Новости. URL: [http://russian.news.cn/2017-03/20/c\\_136143189.htm](http://russian.news.cn/2017-03/20/c_136143189.htm) (дата обращения: 21.11.2021).

11. Взрыв на российском танкере VF Tanker-7 // Mortrans.info.

URL: <https://mortrans.info/allnews/vzryv-na-rossijskom-tankere-vf-tanker-7/> (дата обращения: 21.11.2021).

12. Tanker catches fire in Kiel Canal // Offshore-energy.

URL: <https://www.offshore-energy.biz/tanker-catches-fire-in-kiel-canal/> (дата обращения: 21.11.2021).

13. В Рижском заливе горит танкер с 7 тыс. тонн дизельного топлива // ТАСС.

URL: [https://tass.ru/proisshestviya/4281372?utm\\_source=google.com&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.com&utm\\_referrer=google.com](https://tass.ru/proisshestviya/4281372?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com) (дата обращения: 21.11.2021).

14. Пожар на судне в Петропавловске-Камчатском ликвидирован // Известия.

URL: <https://iz.ru/621030/2017-07-19/pozhar-na-sudne-v-petropavlovske-kamchatskom-likvidirovan> (дата обращения: 21.11.2021).

15. В результате пожара на танкере погибли 5 моряков // Mortrans.info.

URL: <https://mortrans.info/allnews/v-rezultate-pozhara-na-tankere-pogibli-5-moryakov/> (дата обращения: 21.11.2021).

16. Митник Л.М., Хазанова Е.С. Авария танкера Sanchi и нефтяное загрязнение Восточно-Китайского моря на изображениях РСА со спутников alos-2 и sentinel-1b и MSI со спутника sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы 17-й Всерос. открытой конф. М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2019. С. 304.

17. Tracking an oil tanker collision and spilled oils in the East China Sea using multisensor day and nightsatellite imagery / S. Sun [et al.] // Geophysical Research Letters. Vol. 45. P. 3212–3220.

18. Update on oil tanker SANCHI collision and on fire in the East China Sea // Ministry of transport of the people's Republic of China. 2018.

URL: [http://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/201801/t20180107\\_2969411.html](http://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/201801/t20180107_2969411.html) (дата обращения: 15.11.2021).

19. Хронология взрывов и пожаров на танкерах и газовозах с 2018 года // ТАСС.

URL: <https://tass.ru/info/6025521> (дата обращения: 21.11.2021).

20. Исаев А.В., Матузаев К.Б. О последствиях взрыва в негерметичном отсеке судна // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 12–18.

21. В Оманском заливе разгораются танкеры // Коммерсантъ.

URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3999728> (дата обращения: 22.11.2021).

22. Взрыв прогремел на нефтяном танкере в Южной Корее // Newsbel.

URL: <https://newsbel.by/09/28/vzryv-programmel-na-neftyanom-tankere-v-yuzhnoj-koree/> (дата обращения: 22.11.2021).

23. Iranian tanker reportedly struck by missiles in Red Sea // NPR.

URL: <https://www.npr.org/2019/10/11/769190659/iranian-tanker-reportedly-struck-by-missiles-in-red-sea> (дата обращения: 22.11.2021).

24. Tanker fire kills seven at shipyard in Indonesia // Offshore-energy.  
URL: <https://www.offshore-energy.biz/tanker-fire-kills-seven-at-shipyard-in-indonesia/#:~:text=Seven%20people%20died%20after%20an,Indonesian%20Ministry%20of%20Transportation%20said> (дата обращения: 22.11.2021).
25. Fire on oil tanker off sri lankan coast extinguished // NDNV News.  
URL: <https://www.ndtv.com/india-news/fire-on-oil-tanker-off-sri-lanka-coast-extinguished-2291331> (дата обращения: 22.11.2021).
26. Анализ аварийности на судах отечественного флота: состояние, причины, тенденции, необходимые меры / А.Л. Боран-Кешишьян [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 4 (101). С. 11–19.
27. На нефтяном танкере в Иркутской области произошло воспламенение паров нефтепродуктов // ТАСС.  
URL: [https://tass.ru/proisshestviya/12601523?utm\\_source=google.com&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.com&utm\\_referrer=google.com](https://tass.ru/proisshestviya/12601523?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com) (дата обращения: 21.11.2021).
28. Анализ аварийности на внутреннем водном транспорте / А.В. Калач [и др.] // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. 2020. С. 372–374.

## References

1. Nekotorye problemy obespecheniya bezopasnosti ob'ektov neftegazovogo kompleksa v Rossii / A.V. Kalach [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 1 (26). S. 71–76.
2. Sovremennoe sostoyanie obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na vodnom transporte / A.V. Kalach [i dr.] // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnyh situacij: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. 2020. S. 353–359.
3. Sovremennoe sostoyanie organizacii gruzoperevozok i obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na vodnom transporte / A.V. Kalach [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 3 (28). S. 3–11.
4. Ekspertnoe issledovanie i likvidaciya posledstvij pozharov nefteproduktov / S.V. SHarapov [i dr.]: monografiya. SPb., 2017.
5. Analiz avarijnosti razvitiya pozharoopasnoj situacii na neftyanom tankere / A.V. Kalach [i dr.] // Sibirskij pozharno-spatel'nyj vestnik. 2020. № 4. С. 38–43.
6. Loran N.M., Kalach A.V. Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i scenarnoe modelirovanie razvitiya pozharoopasnoj situacii na neftenalivnom tankere // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. № 1 (34). S. 31–36.
7. Korolev D.S., Kalach A.V. Prognozirovanie zony teplovogo izlucheniya ognennogo shara pozhara proliva, dejstvuyushchego ob'ekta neftegazovoj otrasli // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb., 2021. S. 74–76.
8. Preliminary annual overview of marine casualties and incidents 2014–2021 // European maritime safety agency. Lisbon, 2022.
9. LPG tanker NAVIGATOR LEO fire, Gulf of Finland // FleetMon.  
URL: <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2017/17223/lpg-tanker-navigator-leo-fire-gulf-finland/> (дата обращения: 25.02.2021).
10. V Vostochnom Kitae tri cheloveka propali bez vesti v rezul'tate avarii tankera // SIN'HUA Novosti. URL: [http://russian.news.cn/2017-03/20/c\\_136143189.htm](http://russian.news.cn/2017-03/20/c_136143189.htm) (дата обращения: 21.11.2021).
11. Vzryv na rossijskom tankere VF Tanker-7 // Mortrans.info.  
URL: <https://mortrans.info/allnews/vzryv-na-rossijskom-tankere-vf-tanker-7/> (дата обращения: 21.11.2021).
12. Tanker catches fire in Kiel Canal // Offshore-energy.  
URL: <https://www.offshore-energy.biz/tanker-catches-fire-in-kiel-canal/> (дата обращения: 21.11.2021).

13. V Rizhskom zalive gorit tanker s 7 tys. tonn dizel'nogo topliva // TASS.  
URL: [https://tass.ru/proisshestviya/4281372?utm\\_source=google.com&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.com&utm\\_referrer=google.com](https://tass.ru/proisshestviya/4281372?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com) (data obrashcheniya: 21.11.2021).
14. Pozhar na sudne v Petropavlovskoye-Kamchatskom likvidirovan // Izvestiya.  
URL: <https://iz.ru/621030/2017-07-19/pozhar-na-sudne-v-petropavlovskoye-kamchatskom-likvidirovan> (data obrashcheniya: 21.11.2021).
15. V rezul'tate pozhara na tankere pogibli 5 moryakov // Mortrans.info.  
URL: <https://mortrans.info/allnews/v-rezultate-pozhara-na-tankere-pogibli-5-moryakov/> (data obrashcheniya: 21.11.2021).
16. Mitnik L.M., Hazanova E.S. Avariya tankera Sanchi i neftyanoje zagryaznenie Vostochno-Kitajskogo morya na izobrazheniyah RSA so sputnikov alos-2 i sentinel-1b i MSI so sputnika sentinel-2 // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: materialy 17-j Vseros. otkrytoj konf. M.: Institut kosmicheskikh issledovanij Rossijskoj akademii nauk, 2019. S. 304.
17. Tracking an oil tanker collision and spilled oils in the East China Sea using multisensor day and night satellite imagery / S. Sun [et al.] // Geophysical Research Letters. Vol. 45. P. 3 212–3 220.
18. Update on oil tanker SANCHI collision and on fire in the East China Sea // Ministry of transport of the people's Republic of China. 2018.  
URL: [http://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/201801/t20180107\\_2969411.html](http://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/201801/t20180107_2969411.html) (data obrashcheniya: 15.11.2021).
19. Hronologiya vzryvov i pozharov na tankerah i gazovozah s 2018 goda // TASS.  
URL: <https://tass.ru/info/6025521> (data obrashcheniya: 21.11.2021).
20. Isaev A.V., Matuzaev K.B. O posledstviyah vzryva v negermetichnom otseke sudna // Energeticheskie ustanovki i tekhnologii. 2021. T. 7. № 2. S. 12–18.
21. V Omanskom zalive razgorayutsya tankery // Kommersant.  
URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3999728> (data obrashcheniya: 22.11.2021).
22. Vzryv progremel na neftyanom tankere v YUzhnoj Koree // Newsbel.  
URL: <https://newsbel.by/09/28/vzryv-progremel-na-neftyanom-tankere-v-yuzhnoj-koree/> (data obrashcheniya: 22.11.2021).
23. Iranian tanker reportedly struck by missiles in Red Sea // NPR.  
URL: <https://www.npr.org/2019/10/11/769190659/iranian-tanker-reportedly-struck-by-missiles-in-red-sea> (data obrashcheniya: 22.11.2021).
24. Tanker fire kills seven at shipyard in Indonesia // Offshore-energy.  
URL: <https://www.offshore-energy.biz/tanker-fire-kills-seven-at-shipyard-in-indonesia/#:~:text=Seven%20people%20died%20after%20an,Indonesian%20Ministry%20of%20Transportation%20said> (data obrashcheniya: 22.11.2021).
25. Fire on oil tanker off sri lankan coast extinguished // NDTV News.  
URL: <https://www.ndtv.com/india-news/fire-on-oil-tanker-off-sri-lanka-coast-extinguished-2291331> (data obrashcheniya: 22.11.2021).
26. Analiz avarijnosti na sudah otechestvennogo flota: sostoyanie, prichiny, tendencii, neobhodimye mery / A.L. Boran-Keshish'yan [i dr.] // Ekspluataciya morskogo transporta. 2021. № 4 (101). S. 11–19.
27. Na neftyanom tankere v Irkutskoj oblasti proizoshlo vosplamnenie parov nefteproduktov // TASS.  
URL: [https://tass.ru/proisshestviya/12601523?utm\\_source=google.com&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.com&utm\\_referrer=google.com](https://tass.ru/proisshestviya/12601523?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com) (data obrashcheniya: 21.11.2021).
28. Analiz avarijnosti na vnutrennem vodnom transporte / A.V. Kalach [i dr.] // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvyčajnyh situacij: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. 2020. S. 372–374.

*Информация об авторах:*

**Анастасия Петровна Паршина**, старший преподаватель кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), e-mail: parshina@vgasu.vrn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4842-2168>

**Андрей Владимирович Калач**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1а), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

**Сергей Владимирович Шарапов**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), профессор, доктор технических наук, e-mail: shcsv@mail.ru

*Information about the authors:*

**Anastasia P. Parshina**, senior lecturer at the department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (394006, Voronezh, 20th anniversary of October str., 84), e-mail: parshina@vgasu.vrn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4842-2168>

**Andrey V. Kalach**, head of the department of information security and protection of information constituting a state secret of the Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutsk str., 1a), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

**Sergey V. Sharapov**, professor of the department of criminalistics and engineering expertise of the Saint-Petersburg university of State fire servise of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), professor, doctor of technical sciences, e-mail: shcsv@mail.ru

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.04.2022; одобрена после рецензирования: 18.05.2022; принята к публикации: 30.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 27.04.2022; approved after review: 18.05.2022; accepted for publication: 30.05.2022

УДК 620.16

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРПУСОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТВЕРДОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЗРЫВОПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ**

**Александр Юрьевич Андриюшкин;**

**Машхура Умаровна Рустамова.**

**Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»**

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

**Елена Николаевна Кадочникова**✉.

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

**✉[vf10@yandex.ru](mailto:vf10@yandex.ru)**

*Аннотация.* По твердости материала рассчитаны и экспериментально определены прочностные и пластические свойства корпусов нефтегазового оборудования, показано их влияние на взрывопожарную опасность. Рассмотрены методы определения твердости по Виккерсу, Бринеллю, Роквеллу. Выявлена и обоснована взаимосвязь прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования с его твердостью. Проанализированы технологические операции изготовления корпуса и причины, приводящие к существенному изменению твердости материала корпуса, его прочностных и пластических свойств. Приведены линейные выражения для определения предела текучести и предела прочности материала корпуса по его твердости, измеренной методом Бринелля. Экспериментально по измеренной методом Бринелля твердости определены предел текучести и предел прочности корпуса из стали 09Г2С. Связанные с пластической деформацией, нагревом и охлаждением стали 09Г2С операции технологического процесса изготовления корпуса обуславливают его упрочнение, сопровождаемое существенным снижением пластичности. Для повышения пластичности материала корпуса рекомендован высокий отпуск при температуре 550–600 °С. Получены эмпирические линейные зависимости предела текучести и предела прочности для корпуса из стали 09Г2С от твердости. Измеренная твердость материала косвенно характеризует прочностные и пластические свойства корпуса нефтегазового оборудования, его надежность и безопасность.

*Ключевые слова:* твердость, предел прочности, предел текучести, пластичность, технологические операции, корпус нефтегазового оборудования

**Для цитирования:** Андриюшкин А.Ю., Рустамова М.У., Кадочникова Е.Н. Экспериментальное определение прочностных и пластических свойств корпусов нефтегазового оборудования по твердости и их влияние на взрывопожарную опасность // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 16–24.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRENGTH AND PLASTIC PROPERTIES OF OIL AND GAS EQUIPMENT HOUSINGS BY HARDNESS AND THEIR EFFECT ON EXPLOSION AND FIRE HAZARD

Aleksander Yu. Andryushkin;

Mashchura U. Rustamova.

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

E.N. Kadochnikova✉.

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

✉vf10@yandex.ru

*Abstract.* The strength and plastic properties of oil and gas equipment housings are calculated and experimentally determined by the hardness of the material, their effect on the explosion and fire hazard is shown. Methods of determination of hardness according to Vickers, Brinell, Rockwell are considered. The interrelation of the strength and plastic properties of the casing material of oil and gas equipment with its hardness is revealed and substantiated. The technological operations of manufacturing the housing and the reasons leading to a significant change in the hardness of the housing material, its strength and plastic properties are analyzed. Linear expressions are given for determining the yield strength and strength limit of the housing material by its hardness measured by the Brinell method. The yield strength and tensile strength of the 09G2S steel casing were determined experimentally from the hardness measured by the Brinell method. The operations associated with plastic deformation, heating and cooling of steel 09G2S of the technological process of manufacturing the housing cause its hardening, accompanied by a significant decrease in plasticity. To increase the plasticity of the housing material, high tempering at a temperature of 550–600 °C is recommended. Empirical linear dependences of yield strength and tensile strength for the 09G2S steel casing on hardness are obtained. The measured hardness of the material indirectly characterizes the strength and plastic properties of the casing of oil and gas equipment, its reliability and safety.

*Keywords:* hardness, tensile strength, yield strength, ductility, technological operations, oil and gas equipment housing

**For citation:** Andrushkin A.Yu., Rustamova M.U., Kadochnikova E.N. Experimental determination of strength and plastic properties of oil and gas equipment housings by hardness and their effect on explosion and fire hazard // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 16–24.

### Введение

Взрывопожарная опасность при транспортировке и переработке углеводородов связана с разгерметизацией корпусов нефтегазового оборудования, находящихся под воздействием внутреннего давления. Снижение прочностных и пластических свойств материала конструктивных элементов корпуса, обусловленное технологией его изготовления, может привести к появлению сквозных повреждений (разрывов, трещин) при эксплуатации и возникновению аварийной ситуации. Для безаварийной работы корпусов нефтегазового оборудования требуется определение прочностных и пластических свойств материала в процессе их изготовления и эксплуатации.

Прочностные и пластические свойства материала определяют в результате проведения испытаний с разрушением образцов, вырезаемых из испытываемой конструкции. В случае невозможности изготовления образца о прочностных и пластических свойствах материала конструкции можно судить косвенно, по его твердости. Измерение твердости материала конструктивных элементов корпуса проводят для косвенного определения прочностных и пластических свойств материала, выявления изменений этих свойств в результате

технологических воздействий при его изготовлении, а также при эксплуатации. Поэтому задача определения прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости актуальна [1–7].

Целью исследования является экспериментальное и расчетное определение прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости.

Задачи исследования:

1. Выявление и обоснование взаимосвязи прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования с его твердостью.
2. Экспериментальное определение прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости.

### Методы исследования

При производстве и эксплуатации корпусов нефтегазового оборудования часто определяют твердость материала. Твердость материала – это его сопротивление деформации на поверхности в небольшом объеме при механическом воздействии более твердого тела (индентора). Твердость связана с прочностными характеристиками материала, определяемыми при разрушении образцов: временное сопротивление  $\sigma_{\text{в}}$  (предел прочности при растяжении), предел текучести  $\sigma_{\text{т}}$ , модуль упругости  $E$ , предел выносливости  $\sigma_{-1}$  и другие.

В зависимости от свойств испытываемого материала, размеров и формы образцов применяют несколько методов определения твердости, отличающихся вдавливаемым при испытании индентором:

- метод Виккерса (ГОСТ 2999) – индентор в виде правильной четырехгранной алмазной пирамиды с углом  $136^\circ$  между противоположными гранями;
- метод Бринелля (ГОСТ 9012) – индентор в виде стального шарика определенного диаметра;
- метод Роквелла (ГОСТ 9013) – индентор в виде алмазного конуса с углом при вершине  $120^\circ$  и радиусом закругления 0,2 мм или стального шарика диаметром 1,5875 мм.

Для определения твердости материала конструктивных элементов корпуса используют переносные твердомеры статического или динамического действия. Например, электронный переносной твердомер ТЭМП-2 динамического действия предназначен для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля, Роквелла, Шора, Виккерса. Поверхность корпуса в месте измерения твердости шлифуют, шероховатость не должна превышать 2,5 мкм [8–12].

### Взаимосвязь прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования с его твердостью

Работоспособность конструкции корпуса обусловлена пластичностью материала, которая определяется как отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении  $\sigma_{\text{т}}/\sigma_{\text{в}}$ . Оптимально значение пластичности для различных металлов и сплавов  $\sigma_{\text{т}}/\sigma_{\text{в}}=(0,70–0,85)$ .

В процессе изготовления корпуса на различных технологических операциях осуществляется пластическая деформация материала, его нагрев и охлаждение. Пластическая деформация металлов и сплавов сопровождается упрочнением (наклепом), наблюдается рост предела текучести и прочности, возрастает твердость. При этом снижается пластичность и ударная вязкость материала, изменяются остаточные напряжения в конструкции корпуса. Остаточные напряжения в конструктивных элементах корпуса возникают при обработке давлением, механической обработке, сварке. Причиной возникновения существенных остаточных напряжений является неравномерное изменение размеров конструктивных

элементов корпуса. Например, при сварке остаточные напряжения обусловлены переходом металла из жидкого в твердое состояние, этот переход сопровождается усадкой металла [8–10].

По твердости судят о фактическом состоянии материала, его прочностных характеристиках, косвенно оценивают надежность и безопасность корпуса нефтегазового оборудования. По изменению твердости материала во времени определяют влияние условий эксплуатации на состояние корпуса, прогнозируют его долговечность. Метод измерения твердости материала широко распространен в практике, так как он отличается простотой процедуры и быстротой проведения испытаний. Главным преимуществом этого метода является непосредственное измерение твердости конкретного изделия без его разрушения. Для находящихся в эксплуатации корпусов твердость материала является единственным измеряемым параметром, так как отбор проб и образцов на действующем оборудовании невозможен.

Для различных металлов и сплавов получены приблизительные количественные зависимости между твердостью и прочностными свойствами. С достаточной для практики точностью предел текучести и предел прочности стали при растяжении можно косвенно определить по ее твердости. В настоящее время широко используется ряд эмпирических выражений, в которых предел текучести и предел прочности линейно зависят от твердости по Бринеллю [11, 12]:

$$\sigma_T = a \cdot \text{HB} \pm b; \quad \sigma_B = a \cdot \text{HB} \pm b, \quad (1)$$

где  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$  – предел текучести и предел прочности стали при растяжении, МПа; HB – твердость по Бринеллю, МПа;  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, по измеренной твердости материала корпуса нефтегазового оборудования можно косвенно определить его предел текучести и предел прочности.

### **Экспериментальное определение прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости**

Корпуса нефтегазового оборудования чаще всего представляют собой обечайку большого диаметра с приваренными к ней штуцерами и патрубками меньшего диаметра. Рассмотрим цилиндрический корпус с коническими переходами, выполненными обжимом торцов трубы (рис. 1). Для монтажа смежного оборудования и трубопроводов на корпусе к коническим переходам обечайки приварены фланцы, а к отверстиям в цилиндрической части обечайки – штуцера. Корпус изготовлен из хорошо свариваемой стали 09Г2С, имеющий следующие прочностные и пластические характеристики (труба в состоянии поставки):  $\sigma_T = 340$  МПа;  $\sigma_B = 490$  МПа;  $\sigma_T / \sigma_B = 0,693$ .

В результате технологических воздействий, связанных с пластической деформацией, нагревом и охлаждением, наблюдается упрочнение конструктивных элементов корпуса, сопровождаемое возникновением остаточных напряжений, что выражается в изменении твердости. Измерение твердости обечайки корпуса методом Бринелля проводилось с помощью электронного переносного твердомера ТЭМП-2 в 19 точках, подвергнутых технологическим воздействиям: обжиму – конические переходы обечайки, прошивке отверстий – цилиндрическая часть обечайки, сварке – приварка фланцев и штуцеров. Эмпирические значения предела текучести  $\sigma_T$  и предела прочности  $\sigma_B$  обечайки определялись в соответствии с ГОСТ 22761–77 и ГОСТ 22762–77 по измеренным значениям твердости HB (табл.).

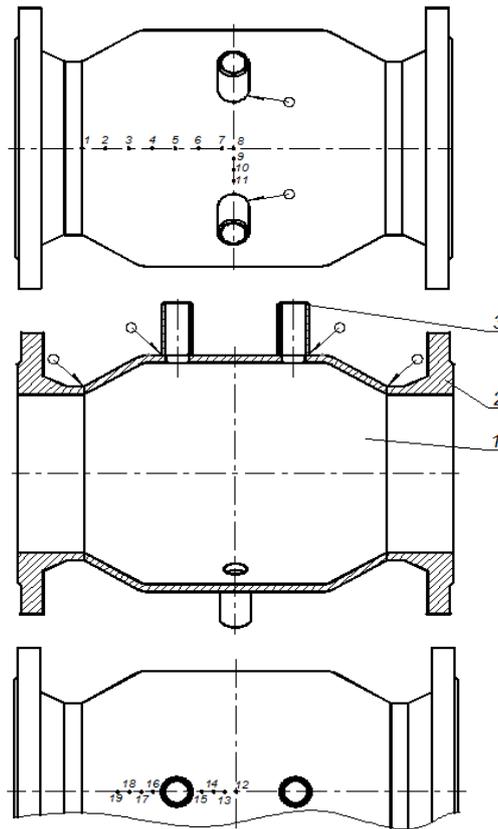


Рис. 1. Корпус: 1 – обечайка с коническими переходами; 2 – фланец; 3 – штуцер; 1–19 – точки измерения твердости обечайки

Таблица. Прочностные и пластические свойства стали 09Г2С на внешней поверхности корпуса в точках 1–19 (рис. 1)

№ точки	Экспериментальные данные				Расчетные данные	
	НВ, МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T / \sigma_B$	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
1	1330	400	487	0,821	398	483
2	1345	408	491	0,831	404	488
3	1375	415	493	0,842	416	497
4	1395	420	498	0,843	424	504
5	1414	426	505	0,844	431	510
6	1438	436	514	0,848	441	518
7	1445	450	525	0,857	443	520
8	1453	451	528	0,854	447	522
9	1455	452	529	0,854	447	523
10	1465	453	530	0,855	451	526
11	1478	456	531	0,859	456	530
12	1495	461	537	0,858	463	536
13	1500	462	538	0,859	465	538
14	1506	464	540	0,859	467	539
15	1510	465	541	0,860	469	541
16	1502	462	538	0,859	466	538
17	1496	461	537	0,858	463	536
18	1475	455	531	0,857	455	529
19	1460	452	529	0,854	449	525

Анализ результатов измерений твердости показывает, что она постепенно возрастает вдоль оси обечайки корпуса, от торца конического перехода с приваренным фланцем к центру обечайки (точки № 1–8) (рис. 2). Максимальные значения твердости наблюдаются в местах приварки штуцеров к цилиндрической части обечайки (точки № 8–19). Возникающее в результате технологических воздействий упрочнение обечайки корпуса существенно. По сравнению с прочностными параметрами заготовки (труба в состоянии поставки  $\sigma_T=340$  МПа;  $\sigma_B=490$  МПа), предел текучести стали вырос на 32,6 %, а предел прочности – на 7,7 %. При этом наблюдается значительное снижение пластичности обечайки корпуса  $\sigma_T/\sigma_B=(0,854–0,860)$  (точки № 9–19). Пластичность обечайки корпуса, по сравнению с пластичностью заготовки (труба в состоянии поставки  $\sigma_T/\sigma_B=0,693$ ), уменьшилась на 24 %.

СНиП 2.05.06–85 регламентирует пластичность материала для изготовления магистральных трубопроводов, рекомендуется  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$  – для углеродистых сталей,  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,8$  – для низколегированных сталей,  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,85$  – для дисперсионно-твердеющих упрочненных сталей,  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,9$  – для сталей с бейнитной структурой.

Учитывая, что сталь 09Г2С является низколегированной и рекомендованное для нее значение пластичности составляет  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,8$ , то необходимо повышение пластичности корпуса, имеющего после изготовления пластичность  $\sigma_T/\sigma_B=(0,821–0,860)$ , за счет высокого отпуска при температуре 550–600 °С.

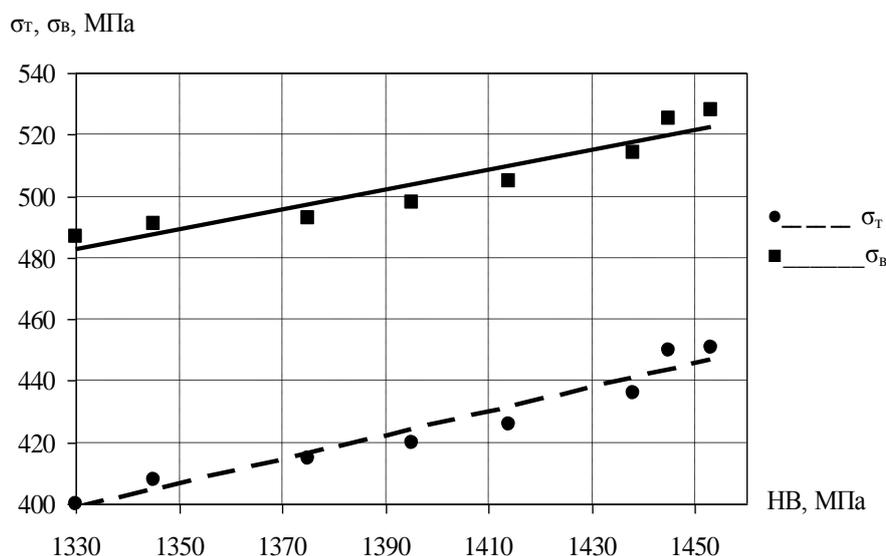


Рис. 2. Зависимость предела прочности  $\sigma_B$  и предела текучести  $\sigma_T$  обечайки корпуса от твердости по Бринеллю НВ вдоль ее оси (точки № 1–8 (рис. 1))

Аналогично выражениям (1) для определения предела прочности и предела текучести конструктивных элементов корпусов нефтегазового оборудования из стали 09Г2С получены эмпирические линейные зависимости (рис. 2):

$$\sigma_T=0,392 \cdot \text{НВ}-123; \quad \sigma_B=0,321 \cdot \text{НВ}+56. \quad (2)$$

Экспериментальные значения предела текучести и прочности для стали 09Г2С и значения, рассчитанные по формуле (2), близки (табл.).

Таким образом, связанные с пластической деформацией, нагревом и охлаждением стали 09Г2С операции технологического процесса изготовления корпуса обуславливают его упрочнение, сопровождаемое существенным снижением пластичности. Для повышения пластичности материала корпуса рекомендован высокий отпуск при температуре 550–600 °С.

## Результаты исследования и их обсуждение

Выявлена и обоснована взаимосвязь прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования с его твердостью. По измеренной твердости материала корпуса нефтегазового оборудования можно косвенно определить его предел текучести и предел прочности.

Проведено экспериментальное определение прочностных и пластических свойств материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости. Связанные с пластической деформацией, нагревом и охлаждением стали 09Г2С операции технологического процесса изготовления корпуса обуславливают его упрочнение, сопровождаемое существенным снижением пластичности. Для повышения пластичности материала корпуса рекомендован высокий отпуск при температуре 550–600 °С.

Получены эмпирические линейные зависимости предела текучести и предела прочности для корпуса из стали 09Г2С от твердости. Экспериментальные и расчетные значения предела текучести и предела прочности близки.

Цель исследования можно считать достигнутой – рассчитаны и экспериментально определены прочностные и пластические свойства материала корпуса нефтегазового оборудования по его твердости.

## Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Взрывопожарная опасность корпусов нефтегазового оборудования обусловлена прочностными и пластическими свойствами материала, зависящими от технологии их изготовления.

2. Твердость материала корпуса и его прочностные и пластические свойства косвенно взаимосвязаны.

3. Технологические операции, связанные с пластической деформацией, нагревом и охлаждением стали 09Г2С при изготовлении корпуса, обуславливают его упрочнение, сопровождаемое существенным снижением пластичности.

4. Для повышения пластичности материала корпуса рекомендован высокий отпуск при температуре 550–600 °С.

5. Получены эмпирические линейные зависимости предела текучести и предела прочности для корпуса из стали 09Г2С от твердости.

Таким образом, твердость материала косвенно характеризует прочностные и пластические свойства корпуса, его надежность и безопасность.

## Список источников

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // *International journal of disaster risk reduction*. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.

2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // *International journal of hydrogen energy*. 2011. Vol. 36. Iss. 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.

3. Quantification of oil spill risk / Etkin D.S. [et al.] // *Oil spill science and technology – fingas M*. 2-nd ed. Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.

4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // *Journal of loss prevention in the process industries*. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.

5. Андрюшкин А.Ю., Моисеев Д.И., Кадочникова Е.Н. Повышение энергетической эффективности и безопасности тепловых сетей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 37–43.
6. Комарицина В.Н., Сухорукова Н.Н. Исследования механики деформаций и разрушений и некоторые вопросы обеспечения безопасности и надежности трубопроводов с учетом особенностей технологического процесса // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 4. С. 116–119.
7. Зябиров Р.М., Веретин С.В., Афонин М.А. Анализ отказов и повышение надежности полевых магистральных трубопроводов // Технология нефти и газа. 2019. № 2 (121). С. 45–48.
8. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading / T. Shigeo [et al.] // Transactions of the Japan society of mechanical engineers: ser. B 00066(00645). 2000. Vol. 66. № 645. P. 1060–1067.
9. Загиров Н.Н., Рудницкий Э.А. Теория обработки металлов давлением. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 56 с.
10. Непершин Р.И. Теория и технологические аспекты процессов обработки металлов давлением. М.: МГТУ СТАНКИН, 2012. 183 с.
11. Кузнецов А.В., Шурайц А.Л. Влияние технологических дефектов на безопасность газовой запорной арматуры на примере цельносварных шаровых кранов // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 10. С. 40–44.
12. Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Петренко Ю.А. Материаловедение. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2020. 122 с.

## References

1. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // International journal of disaster risk reduction. 2013. Vol. 6. P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
2. Bauwens C.R., Chaffee J., Dorofeev S.B. Vented explosion overpressures from combustion of hydrogen and hydrocarbon mixtures // International journal of hydrogen energy. 2011. Vol. 36. Iss. 3. P. 2329–2336. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.04.005.
3. Quantification of oil spill risk / Etkin D.S. [et al.] // Oil spill science and technology – fingas M. 2-nd ed. Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, 2017. P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
4. Vianello C., Maschio G. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network // Journal of loss prevention in the process industries. 2014. Vol. 32. P. 5–17. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.004.
5. Andryushkin A.Yu., Moiseev D.I., Kadochnikova E.N. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti i bezopasnosti teplovyh setej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 37–43.
6. Komaricina V.N., Suhorukova N.N. Issledovaniya mekhaniki deformatsij i razrushenij i nekotorye voprosy obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti truboprovodov s uchetom osobennostej tekhnologicheskogo processa // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. 2017. Т. 7. № 4. S. 116–119.
7. Zyabirov R.M., Veretin S.V., Afonin M.A. Analiz otkazov i povyshenie nadezhnosti polevyh magistral'nyh truboprovodov // Tekhnologiya nefti i gaza. 2019. № 2 (121). S. 45–48.
8. Thermal stress and deformation in moderately thick shells of revolution of functionally graded material under thermal impulsive loading / T. Shigeo [et al.] // Transactions of the Japan society of mechanical engineers: ser. B 00066(00645). 2000. Vol. 66. № 645. P. 1060–1067.
9. Zagirov N.N., Rudnickij E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniem. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2011. 56 s.
10. Nepershin R.I. Teoriya i tekhnologicheskie aspekty processov obrabotki metallov davleniem. М.: MGTU STANKIN, 2012. 183 s.

11. Kuznecov A.V., Shurajc A.L. Vliyanie tekhnologicheskikh defektov na bezopasnost' gazovoj zapornoj armatury na primere cel'nosvarnykh sharovykh kranov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2013. № 10. S. 40–44.

12. Vorob'eva G.A., Skladnova E.E., Petrenko Yu.A. Materialovedenie. SPb.: BGTU «VOENMEKH» im. D.F. Ustinova, 2020. 122 s.

*Информация об авторах:*

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

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

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

*Information about the authors:*

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

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

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

**Информация о статье:**

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

**The information about article:**

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

УДК 629.7.08

## **ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Алексей Михайлович Астанков;**

**Павел Викторович Шаповалов.**

**Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия.**

**Александр Владимирович Вагин<sup>✉</sup>.**

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

**<sup>✉</sup>vagin@igps.ru**

*Аннотация.* Показана принципиальная структура системы мониторинга технического состояния несущих металлоконструкций технологического оборудования объектов наземной космической инфраструктуры с возможностью распознавания действующего режима нагружения. Приведен алгоритм логического блока для анализа совокупности результатов измерений, получаемых от датчиков и определения мест приложения действующих нагрузок с их количественной оценкой.

*Ключевые слова:* несущие металлоконструкции ферменного типа, система мониторинга, напряженно-деформированное состояние, безопасная эксплуатация технологического оборудования

**Для цитирования:** Астанков А.М., Шаповалов П.В., Вагин А.В. Обоснование структуры системы мониторинга технического состояния несущих металлоконструкций технологического оборудования объектов наземной космической инфраструктуры // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 25–33.

## **JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE OF THE SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF LOAD-BEARING METAL STRUCTURES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF GROUND-BASED SPACE INFRASTRUCTURE FACILITIES**

**Aleksey M. Astankov;**

**Pavel V. Shapovalov.**

**Mozhaisky Military space academy, Saint-Petersburg, Russia.**

**Aleksander V. Vagin<sup>✉</sup>.**

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

**<sup>✉</sup>vagin@igps.ru**

*Abstract.* The basic structure of the system for monitoring the technical condition of load-bearing metal structures of technological equipment of ground-based space infrastructure facilities with the possibility of recognizing the current mode of loading is shown. An algorithm of a logical unit for analyzing the totality of measurement results obtained from sensors and determining the locations of the application of active loads with their quantitative assessment is presented.

*Keywords:* load-bearing metal structures of truss type, monitoring system, stressed-strained state, safe operation of technological equipment

**For citation:** Astankov A.M., Shapovalov P.V., Vagin A.V. Justification of the structure of the system for monitoring the technical condition of load-bearing metal structures of technological equipment of ground-based space infrastructure facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 25–33.

## Введение

Одним из важнейших элементов объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) является технологическое оборудование (ТО) технических и стартовых комплексов, имеющее в своем составе несущие металлоконструкции (НМК). Качество выполнения задач с использованием ТО определяется главным образом высоким уровнем надежности НМК. Критичной в этом смысле частью НМК являются ферменные металлоконструкции, воспринимающие значительные статические и динамические нагрузки. Как правило, нагрузки носят циклический характер и влекут накопление с течением времени различного рода дефектов. Разрушение или потеря устойчивости НМК приведет к невыполнению целевой задачи, а последствия возможной аварии по масштабу могут быть отнесены к федеральному уровню [1]. Ситуация может осложняться тем, что многие НМК ТО выработали на сегодня назначенный ресурс (назначенные сроки службы) или близки к их исчерпанию, поэтому решение о допустимости дальнейшей эксплуатации, без капитального ремонта или замены, должно основываться на достоверных текущих и прогнозных оценках их технического состояния [2].

Такие оценки возможно получить на основе непрерывного или достаточно частого периодического приборного контроля параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) НМК при штатных и нештатных нагрузках с дальнейшим сопоставлением их с модельными значениями [3, 4].

Для оценивания технического состояния НМК в режиме реального времени и своевременного предупреждения лица, принимающего решение (ЛПР), о возникновении опасной ситуации целесообразно использовать интеллектуальную систему мониторинга (СМ).

Необходимо отметить, что применение автоматизированных непрерывных или периодических СМ не будет полностью решать проблему оценки технического состояния НМК ТО. В настоящее время пока еще невозможно обойтись без визуального обследования НМК перед и после пуска РН, а также периодических испытаний материалов, определения геометрических размеров критических элементов металлоконструкции, которые изменяются под действием внешних факторов. Данные мероприятия в комплексе с применением автоматизированной СМ позволят получать достоверную информацию о текущем техническом состоянии и прогнозировать возникновение нештатных ситуаций.

Работы по разработке и поэтапному внедрению интеллектуальных СМ и контроля состояния технически сложных объектов предусмотрены в подпрограмме «Приоритетные инновационные проекты ракетно-космической промышленности», входящей в государственную программу Российской Федерации «Космическая деятельность России».

### Цели и структура СМ технического состояния НМК ТО

Основной целью мониторинга НМК ТО является проведение непрерывного или периодического контроля нагрузок, усилий, перемещений, деформаций, напряжений в контрольных сечениях элементов конструкций для установления соответствия их фактического НДС расчетным значениям, а также упреждающего обнаружения опасных состояний.

Применение СМ повышает безопасность эксплуатации ТО путем снижения риска утраты НМК свойств, определяющих ее надежность, благодаря своевременному обнаружению на ранней стадии негативного изменения НДС, что, соответственно, предотвращает разрушения и переход НМК в ограниченно работоспособное или аварийное состояния.

СМ технического состояния позволяет [5, 6]:

- получать измерительную информацию в полном объеме и в установленные сроки независимо от сложности доступа к элементам НМК в процессе эксплуатации;
- обеспечить полную автоматизацию контрольных мероприятий;
- получить высокую информативность за счет многократных измерений контролируемых параметров НМК;
- добиться высокой достоверности результатов за счет исключения субъективного фактора вследствие автоматизации контроля, применения современных методов и средств измерений, использования оптимизированных алгоритмов обработки информации.

В настоящее время в большинстве современных СМ реализуется вариант, при котором датчики контроля НДС устанавливаются на наиболее ответственных элементах НМК. С их помощью непосредственно определяются деформации, нагрузки, перемещения, напряжения тех элементов, на которых эти датчики установлены. При использовании подобных систем предварительно проводится моделирование НДС металлоконструкции с учетом эксплуатационных режимов нагружения НМК и их комбинаций и формируется электронная база данных. При моделировании НДС необходимо учесть весь спектр нагрузок, действующих на НМК, в первую очередь это весовые, ветровые и газодинамические нагрузки от РН, оборудования и коммуникаций, а также инерционные, сейсмические, нагрузки от снега, льда и др. [7].

В процессе функционирования СМ сопоставляет измеренные деформации для тех элементов, где установлены датчики, с модельными значениями предельных деформаций для этих элементов и, в зависимости от настройки системы, либо сообщает о предельном уровне деформации элемента НМК или о приближении к нему, либо о том, что нагрузки находятся в пределах нормы. В таком варианте построения СМ НДС элементов конструкции, на которые датчики не установлены, оперативно не определяется, в том числе и расчетным путем.

Возможен и другой вариант. Для элементов НМК, на которых датчики не установлены, НДС оперативно определяется расчетным путем с использованием вычислительных средств, входящих в состав СМ. При этом предполагается, что существует математическая модель расчета НДС, исходными данными которой является определенный заранее режим нагружения.

Недостатком такого варианта является возникновение ошибок в оценке НДС в тех случаях, когда закон нагружения отличается от того, который был заложен в расчетный случай, что сказывается на достоверности выходных данных СМ [8].

Для повышения достоверности необходимо дополнить СМ способностью автоматического распознавания действующих нагрузок. Для этого система должна включать логический блок, который бы анализировал совокупность результатов измерений, получаемых от всех датчиков и по определенным признакам определял точки или области приложения нагрузки и производил ее количественную оценку. Затем, используя выявленный режим нагружения, оперативно уточнял НДС для всех элементов НМК, сопоставлял с данными измерений, определял степень опасности и информировал оператора о выявленных изменениях.

СМ должна производить проверку правильности произведенных оценок. Если предположить, что все каналы измерений исправны, то эту проверку можно провести по следующей схеме:

- приборное определение нагрузок или деформаций для элементов МК, на которых установлены датчики;
- анализ всей совокупности полученных результатов измерений и определение режима нагружения;
- численное моделирование НДС для всех элементов конструкции по определенному режиму нагружения (в том числе и для тех элементов МК, на которые установлены датчики);

– сопоставление результатов измерений деформаций или нагрузок для элементов МК с установленными датчиками с результатами моделирования их НДС для текущего режима нагружения;

– анализ результатов сопоставления и при необходимости корректировка режима нагружения.

Учитывая опыт создания подобных СМ строительных конструкций и исходя из особенностей эксплуатации ТО, СМ НМК должна включать в себя следующие элементы (рис.):

- датчики различных типов;
- аппаратуру коммутации средств измерений;
- устройства регистрации;
- подсистему поддержки и принятия решений, выполняющую функции управления, контроля функционирования СМ, обработки и анализа результатов измерений, формирования рекомендаций, а также дополнительной и служебной информации.

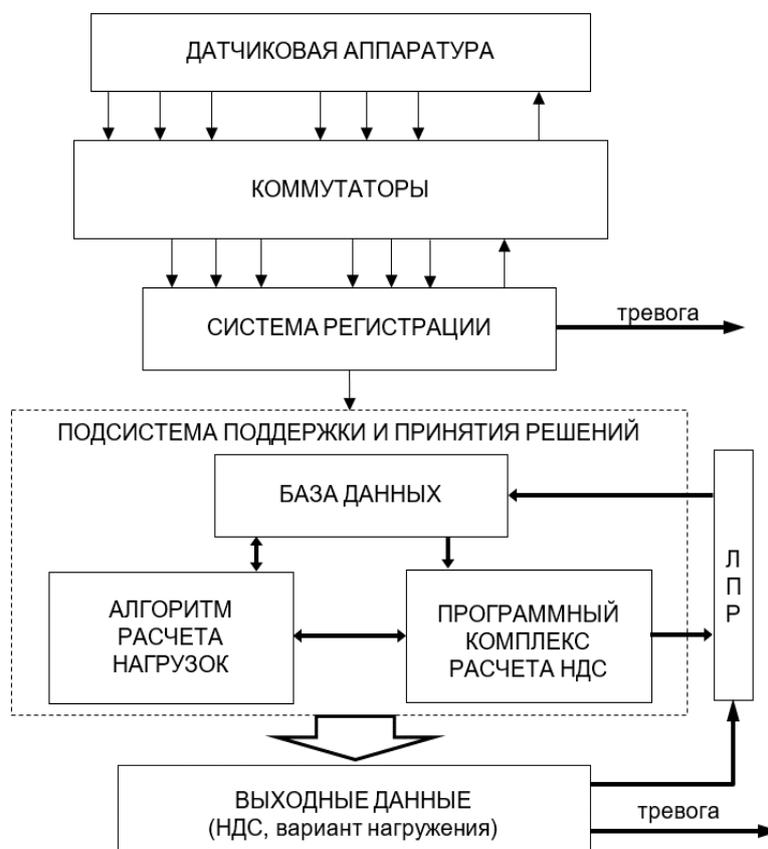


Рис. Структурная схема СМ технического состояния НМК ТО

В состав подсистемы поддержки и принятия решений входит база данных, программный комплекс моделирования НДС и алгоритм расчета действующего режима нагружения. База данных представляет собой матрицу значений, приведенных для каждого измерения, относительных деформаций всех элементов ферменной МК, включая и те элементы, на которых установлены датчики, для данного варианта приложения модельной нагрузки.

В качестве программного комплекса возможно использование любых существующих конечно-элементного анализа НДС, обладающих следующими возможностями:

- чтение входного массива данных (результатов измерений) в режиме реального времени;

– оперативного расчета НДС металлоконструкции (на основе использования ВЕАМ-элементов) с приемлемой точностью в статической и динамической постановке [9].

Алгоритм расчета нагрузки необходим для определения действующего режима нагружения, которое изменило параметры НДС металлоконструкции, то есть он должен распознавать нагрузку и реализовывать процесс выбора варианта нагружения из базы данных (по определенным критериям). Также он должен учитывать возможность отсутствия варианта нагружения в базе данных.

В качестве ЛПР может выступать дежурная служба стартового или технического комплекса, которая принимает решение по информации от СМ. В свою очередь, эта информация должна отражать лишь наличие или отсутствие опасности, причину и место ее возникновения, а также возможные действия по ее ликвидации.

### Определение действующего режима нагружения

Наиболее очевидным способом определения действующего режима нагружения является сравнение методом перебора совокупности результатов измерений НДС с результатами заблаговременно проведенных расчетов для разных вариантов режимов нагружения. В линейно деформируемых системах для каждого  $i$ -го элемента конструкции величина относительной деформации  $\varepsilon$  зависит от величины самой нагрузки  $F$ , от точки ее приложения и от различных комбинаций приложения нагрузки.

Сведя все относительные деформации, определенные по результатам данного  $k$ -го измерения в столбец, получим исходную матрицу значений относительных деформаций для  $k$ -го измерения:

$$E_k = (\varepsilon_1^k, \varepsilon_2^k, \dots, \varepsilon_s^k).$$

Сложность реализации этого метода заключается в том, что теоретически количество таких заранее подготовленных вариантов будет неприемлемым с точки зрения возможности проведения оперативного анализа нагрузки.

Однако число вариантов можно существенно сократить, если принять во внимание историю изменения эксплуатационных нагрузок в процессе работы СМ. Для решения описанных выше проблем предлагается использовать методику дискретно-временной локализации нагрузок [10]. Ее сущность состоит в следующем.

Так как СМ производит опрос датчиков периодически, то для нее появляющиеся изменения в деформациях несущих элементов под действием статических нагрузок за промежуток времени между двумя опросами, например, между опросом номер  $k$  и опросом номер  $k+1$ , означают появление вполне конечного, а не бесконечного числа нагрузок. При уменьшении промежутка времени между измерениями до некоторых пределов можно с уверенностью утверждать, что появляющиеся нагрузки будут единичными.

Введенная дискретизация по времени позволит при появлении изменений деформаций в контролируемых элементах за время между смежными измерениями провести сопоставительный анализ данного изменения с содержимым базы данных модельных значений и выявить наиболее близкий вариант приращения нагрузки за этот период. Таким образом, будет установлена точка или область приложения нагрузки или, иначе говоря, произведена локализация места прироста нагрузки.

Однако появляющиеся нагрузки будут отличаться одна от другой не только местом приложения и характером, но и величиной. Для приведения к конечному значению числа возможных нагрузок по их величине можно также пойти по пути их дискретизации, но в этом случае общее число вариантов, находящихся в базе данных, вырастеткратно числу шагов дискретизации по нагрузке. В связи с этим для решения задачи локализации целесообразно НДС элементов НМК оценивать не в абсолютных значениях напряжений или

относительных деформаций, а перейти к соответствующим соотношениям. Так, если какой-либо элемент фермы выбрать в качестве базового, то для каждого варианта нагрузки можно определить величину отношения контролируемого параметра в  $i$ -ом элементе к значению такого же параметра в базовом элементе. В качестве контролируемого параметра может быть выбрана относительная деформация  $i$ -го элемента, возникающая в результате действия некоторой сосредоточенной нагрузки  $F_g$ .

Для датчиков, установленных на элементе НМК, можно определить приведенную относительную деформацию элемента в виде:

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_\delta},$$

где  $\varepsilon_i$  – относительная деформация  $i$ -го элемента;  $\varepsilon_\delta$  – относительная деформация базового элемента.

В линейно деформируемых системах для каждого такого  $i$ -го элемента МК величина  $\bar{\varepsilon}_i$  не будет зависеть от величины самой нагрузки  $F_g$ , но будет зависеть от точки ее приложения. Сведя все приведенные относительные деформации, определенные по результатам данного  $k$ -го измерения в столбец, получим матрицу значений приведенных относительных деформаций для  $k$ -го измерения:

$$\bar{E}_k = (\bar{\varepsilon}_{k1}, \bar{\varepsilon}_{k2}, \dots, \bar{\varepsilon}_{ks}).$$

После проведения  $k+1$  измерения и построения аналогичной матрицы можно определить приращение приведенных относительных деформаций за период времени между этими двумя измерениями в виде:

$$\Delta \bar{E}_{k+1} = \bar{E}_{k+1} - \bar{E}_k = (\Delta \bar{\varepsilon}_{(k+1)1}, \Delta \bar{\varepsilon}_{(k+1)2}, \dots, \Delta \bar{\varepsilon}_{(k+1)s}),$$

где  $\Delta \bar{\varepsilon}_{(k+1)s} = \frac{\bar{\varepsilon}_{(k+1)s} - \bar{\varepsilon}_{ks}}{\bar{\varepsilon}_{(k+1)\delta} - \bar{\varepsilon}_{k\delta}}$  – относительная деформация  $i$ -го элемента;  $S$  – относительная деформация базового элемента.

В том случае, если произошло приращение силы  $F_g$  только по величине, но при этом не произошло изменение точки приложения этой силы, матрица приведенных относительных деформаций элементов фермы будет нулевой  $\Delta \bar{E}_{k+1} = [0]$ , в отличие от матрицы относительных деформаций, составленной для тех же элементов фермы, так как все элементы фермы при изменении нагрузки будут деформироваться.

По этому признаку можно идентифицировать характер изменения нагрузки. При этом, исходя из принципа суперпозиции, не имеет значения, какой именно была сама нагрузка: сосредоточенная, распределенная (в общем случае), момент или комбинированная. Важно, чтобы изменение всех составляющих сложной нагрузки было одинаковым.

Если при проведении  $k$ -го измерения сосредоточенная нагрузка  $F_g$  была равна нулю, а за промежуток времени между  $k$ -м и  $k+1$  измерениями она приобрела ненулевое значение,

то матрица приведенных относительных деформаций элементов фермы будет ненулевой  $\Delta \bar{E}_{k+1} \neq [0]$ . После этого СМ проводит сопоставительный анализ данной матрицы с содержимым базы данных модельных значений деформаций и выбирает из  $N$  его вариантов наиболее близкую (по некоторому критерию)  $n$ -ю матрицу, тем самым производя локализацию нагрузки  $F_g$ .

Далее СМ устанавливает значение этой нагрузки. Для этого она принимает данную модель нагружения за текущий расчетный случай, соответствующий нагружению за период времени между измерениями  $k$  и  $k+1$ , и либо по измеренным значениям приращений относительных деформаций решает обратную задачу, либо пошагово увеличивая расчетную величину усилия  $F$ , получает матрицу относительных деформаций контролируемых элементов наиболее близкую к матрице  $\Delta E_{k+1}$ :

$$\Delta E^{расч} = (\Delta \varepsilon_1, \Delta \varepsilon_2, \dots, \Delta \varepsilon_s).$$

База данных режимов нагружения составляется индивидуально для каждого объекта. В процессе работы СМ она пополняется и корректируется.

### Заключение

В работе предложена структура СМ технического состояния НМК ТО ОНКИ с возможностью распознавания действующего режима нагружения и использованию его в качестве исходных данных для оперативного уточнения НДС.

Способность системы автоматически распознавать действующий режим нагружения (величину и место приложения нагрузки) позволит повысить достоверность работы СМ, что увеличит вероятность обнаружения опасной ситуации и обеспечит, в конечном итоге, повышение безопасности эксплуатации ТО, включающего в свой состав НМК ферменного типа [11].

### Список литературы

1. Гроздов В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений. СПб.: Изд. дом KN+, 2000. 48 с.
2. Методики оценивания эффективности функционирования системы эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры, находящихся за пределами назначенных показателей ресурсов: НТО. Юбилейный: НИИ КС, 2011. 60 с.
3. Шаповалов П.В. Методика оценивания технического состояния несущих металлоконструкций стартового оборудования на основе комплексного инструментального и экспертного обследования // Проблемы управления и эксплуатации вооружения и военной техники Войск воздушно-космической обороны: материалы научн.-практ. конф. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. С. 45–53.
4. Обоснование оптимального набора методов неразрушающего контроля для получения требуемой информации о техническом состоянии объектов / Н.Д. Аникейчик [и др.] // Труды научно-технического семинара. Неразрушающий контроль объектов наземной космической инфраструктуры. СПб.: Изд-во ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. С. 79–85.
5. Системы мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений / Г.Г. Болдырев [и др.] // Жилищное строительство. 2010. № 10. С. 38–44.
6. Stolz C., Neumair M. Structural health monitoring, in-service experience, benefit and way ahead // Structural health monitoring. 2010. Vol. 9. P. 209–217. DOI: 10.1177/1475921710366655.
7. Шаповалов П.В., Шевченко А.В. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния несущих металлоконструкций стартового оборудования

в условиях ветровых и газодинамических нагрузок // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды 23-й Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: РАРАН, 2020. Т. 3. С. 302–307.

8. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под общ. ред. А.В. Перельмутера. 4-е изд. М.: СКАД СОФТ, 2014. 596 с.

9. Marwala T. Finite-element-model updating using computational intelligence techniques. Applications to structural dynamics // UK: Springer-Verlag London Limited. 2010. 254 p. DOI: 10.1007/978-1-84996-323-7.

10. Ведерников М.В., Марченко М.А. Дискретно-временная методика локализации нагрузок для ферменных конструкций // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. СПб.: ВКА им. Можайского, 2006. Вып. 26. С. 383–393.

11. 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.

### References

1. Grozdov V.T. Priznaki avarijnogo sostoyaniya nesushchih konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. SPb.: Izd. dom KN+, 2000. 48 s.

2. Metodiki ocenivaniya effektivnosti funkcionirovaniya sistemy ekspluatatsii ob"ektov nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury, nahodyashchihsya za predelami naznachennyh pokazatelej resursov: NTO. Yubilejnyj: NII KS, 2011. 60 s.

3. Shapovalov P.V. Metodika ocenivaniya tekhnicheskogo sostoyaniya nesushchih metallokonstrukcij startovogo oborudovaniya na osnove kompleksnogo instrumental'nogo i ekspertnogo obsledovaniya // Problemy upravleniya i ekspluatatsii vooruzheniya i voennoj tekhniki Vojsk vozdušno-kosmicheskoy oborony: materialy nauchn.-prakt. konf. SPb.: VKA im. A.F. Mozhajskogo, 2016. S. 45–53.

4. Obosnovanie optimal'nogo nabora metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya polucheniya trebuemoj informacii o tekhnicheskome sostoyanii ob"ektov / N.D. Anikejchik [i dr.] // Trudy nauchno-tekhnicheskogo seminar. Nerazrushayushchij kontrol' ob"ektov nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury. SPb.: Izd-vo VIKA im. A.F. Mozhajskogo, 2004. S. 79–85.

5. Sistemy monitoringa stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij / G.G. Boldyrev [i dr.] // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2010. № 10. S. 38–44.

6. Stolz C., Neumair M. Structural health monitoring, in-service experience, benefit and way ahead // Structural health monitoring. 2010. Vol. 9. R. 209–217. DOI: 10.1177/1475921710366655.

7. Shapovalov P.V., Shevchenko A.V. Teoreticheskoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nesushchih metallokonstrukcij startovogo oborudovaniya v usloviyah vetrovyh i gazodinamicheskikh nagruzok // Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti: Trudy 23-j Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: RARAN, 2020. Т. 3. S. 302–307.

8. Nagruzki i vozdejstviya na zdaniya i sooruzheniya / pod obshch. red. A.V. Perel'mutera. 4-e izd. M.: SKAD SOFT, 2014. 596 s.

9. Marwala T. Finite-element-model updating using computational intelligence techniques. Applications to structural dynamics // UK: Springer-Verlag London Limited. 2010. 254 p. DOI: 10.1007/978-1-84996-323-7.

10. Vedernikov M.V., Marchenko M.A. Diskretno-vremennaya metodika lokalizatsii nagruzok dlya fermennyh konstrukcij // Sbornik algoritmov i programm tipovyh zadach. SPb.: VKA im. Mozhajskogo, 2006. Vyp. 26. S. 383–393.

11. Astandkov A.M., Spesivcev A.V., Vagin A.V. Snizhenie riskov vzniknoveniya opasnyh posledstvij pri ekspluatatsii nasosnyh agregatov zapravochnogo oborudovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2016. № 1 (37). S. 6–14.

*Информация об авторах:*

**Алексей Михайлович Астанков**, начальник лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: [astankovy@yandex.ru](mailto:astankovy@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9236-2292>

**Павел Викторович Шаповалов**, научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: [shapovalov-pavel@yandex.ru](mailto:shapovalov-pavel@yandex.ru)

**Александр Владимирович Вагин**, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [vagin@igps.ru](mailto:vagin@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7966-4947>

*Information about the authors:*

**Alexey M. Astankov**, head of the laboratory of the military institute (Research institute) of Military space academy named after A.F. Mozhaisky (197082, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya str., 13), e-mail: [astankovy@yandex.ru](mailto:astankovy@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9236-2292>

**Pavel V. Shapovalov**, researcher at the Military institute (Research institute) of Military space academy named after A.F. Mozhaisky (197082, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya str., 13), e-mail: [shapovalov-pavel@yandex.ru](mailto:shapovalov-pavel@yandex.ru)

**Alexander V. Vagin**, associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [vagin@igps.ru](mailto:vagin@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7966-4947>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.02.2022; одобрена после рецензирования: 18.02.2022; принята к публикации: 24.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 10.02.2022; approved after review: 18.02.2022; accepted for publication: 24.05.2022

# ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.845.1

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

**Алексей Павлович Меркулов.**

**Управление по Калининскому району Главного управления МЧС России  
по г. Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Россия.**

**Дмитрий Федорович Кожевин**✉.

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

✉[Yagmort\\_KDF@mail.ru](mailto:Yagmort_KDF@mail.ru)

*Аннотация.* Аргументирована необходимость корректировки значений величин вероятности возникновения пожара при расчете величины индивидуального пожарного риска в зданиях различных классов пожарной опасности, так как с 2009 г. изменений в части статистических (вероятностных) данных, используемых в методиках по расчету пожарного риска, не вносилось. Рассмотрены решения данной проблемы в западных странах. Рассчитаны на основе статистических данных величины вероятности возникновения пожара в зданиях, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* пожарный риск, вероятность возникновения пожара, количество пожаров, нормативно-правовые акты, статистические данные

**Для цитирования:** Меркулов А.П., Кожевин Д.Ф. К вопросу определения частоты возникновения пожара в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 34–41.

## ON THE ISSUE OF DETERMINING THE FREQUENCY OF FIRE IN BUILDINGS OF VARIOUS CLASSES OF FUNCTIONAL FIRE HAZARD

**Aleksey P. Merkulov.**

**Department for the Kalininsky district of the Main directorate of EMERCOM of Russia  
for Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russia.**

**Dmitry Ph. Kozhevin**✉.

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

✉[Yagmort\\_KDF@mail.ru](mailto:Yagmort_KDF@mail.ru)

*Abstract.* The article argues for the need to adjust the values of the probability of fire occurrence when calculating the value of individual fire risk in buildings of various classes of fire hazard. Since 2009, no changes have been made in terms of statistical (probabilistic) data used in methods for calculating fire risk. Solutions to this problem in Western countries are considered. Calculated on the basis of statistical data, the magnitude of the probability of a fire in buildings located on the territory of Saint-Petersburg.

*Keywords:* fire risk, probability of fire, number of fires, regulatory legal acts, statistical data

**For citation:** Merkulov A.P., Kozhevnikov D.F. On the issue of determining the frequency of fire in buildings of various classes of functional fire hazard // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 34–41.

## Введение

В соответствии со ст. 6 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] обеспечение пожарной безопасности объекта защиты допускается обосновывать расчетом величины пожарного риска. Этот расчет для зданий различных классов функциональной пожарной опасности осуществляется в соответствии с приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденная данным приказом МЧС России (методика) [2].

Расчет пожарного риска является эффективным инструментом при отсутствии динамического нормирования в области обеспечения пожарной безопасности. В настоящее время этот «инструмент» используют при проектировании до 60 % объектов капитального строительства, и в будущем количество данных объектов будет только возрастать.

Целью работы является разработка методики определения частоты возникновения пожара.

## Анализ способов определения частоты возникновения пожаров

Расчетная величина индивидуального пожарного риска для рассматриваемого сценария пожара  $Q_B$  в зданиях рассчитывается по формуле:

$$Q_B = Q_n \cdot (1 - K_{ап}) \cdot P_{пр} \cdot (1 - P_э) \cdot (1 - K_{п.з}),$$

где  $Q_n$  – частота возникновения пожара в здании в течение года, год<sup>-1</sup>;  $K_{ап}$  – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;  $P_{пр}$  – вероятность присутствия людей в здании;  $P_э$  – вероятность эвакуации людей;  $K_{п.з}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Важнейшей величиной для расчета пожарного риска является частота возникновения пожара в здании в течение года, которая в соответствии с методикой [2] определяется на основании статистических данных, приведенных в приложении № 1 к этому документу. При отсутствии статистической информации допускается принимать  $Q_n=4 \cdot 10^{-2}$  для каждого здания. Причем величина частоты пожаров на различных объектах (большинстве) не меняется с годами, хотя с 2009 г. вышло уже три редакции методики [2].

Количество пожаров ежегодно снижается, а количество новых объектов увеличивается, следовательно, и значения величин частоты пожаров должны корректироваться, исходя из новых статистических данных. Существующая методика [2] не допускает применения частот возникновения пожаров, кроме приведенных в приложении № 1 к п. 8 методики [2], хотя в изначальной редакции была возможность использовать фактические статистические данные о пожарах. Причем в настоящее время в соответствии с методикой по расчету пожарного риска на производственных объектах (приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [3]) информацию о реализации пожароопасных ситуаций допускается принимать из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов.

Действующий ГОСТ 12.1.004–91 [4] в п. 2.8 допускает для эксплуатируемых зданий (сооружений) вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей проверять с использованием статистических данных по формуле:

$$Q_{\varepsilon} = \frac{n}{T} \cdot \frac{M_{\text{жс}}}{N_0}, \text{ год}^{-1},$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий пострадавших людей;  $T$  – рассматриваемый период эксплуатации однотипных зданий (сооружений), год;  $M_{\text{жс}}$  – число жертв пожара в рассматриваемой группе зданий (сооружений) за период, чел;  $N_0$  – общее число людей, находящихся в зданиях (сооружениях), чел.

Исходя из вышеизложенного и физического смысла величины, частота возникновения пожара может быть определена по общим правилам теории статистики:

$$Q_n = \frac{N_{\text{пожаров}}}{T \cdot N_{\text{зданий}}}, \text{ год}^{-1}, \quad (1),$$

где  $N_{\text{пожаров}}$  – количество пожаров в однотипных зданиях, ед.;  $N_{\text{зданий}}$  – количество зданий в рассматриваемой группе зданий (сооружений) за период, ед.;  $T$  – период, год.

В иностранных источниках данные о вероятностях возникновения пожаров содержатся в нормативных документах [5, 6], где вероятность возникновения пожара определяется по зависимости:

$$P_i = a \cdot A^b, \text{ год}^{-1},$$

где  $a$  – отношение числа пожаров в однотипных зданиях ( $N_{\text{пожаров}}$ ) к числу зданий в рассматриваемой группе зданий ( $N_{\text{зданий}}$ ) за период  $T$ ;  $b$  – общее количество пожаров, деленное на максимальную площадь здания, ед/м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь здания, м<sup>2</sup>.

В основе этой методики лежит экономический анализ в части страховых выплат при пожарах [7, 8], которые были обоснованно привязаны к площади страхуемого здания. Причем коэффициенты «а» и «b» получены при анализе пожаров в зданиях, расположенных в Европе, с 1966 по 1987 г.

Данная зависимость применена в российском пособии [9], в котором коэффициенты «а» и «b» взяты из иностранных нормативных документов [6], что в корне противоречит заложенному в зависимость смыслу, так как количество пожаров на однотипных объектах и их количество различно в США, Великобритании, Китае и России, поэтому применение этих коэффициентов в России неправомерно. Данные коэффициенты должны определяться для каждой страны и периодически корректироваться, так как вероятность пожара зависит от двух основных факторов, характерных для каждого государства:

– нормирование в области обеспечения пожарной безопасности (особенности нормативно-правовой базы);

– количество объектов защиты данного типа.

Именно от требований нормативно-правовых актов в области пожарной безопасности зависит частота возникающих пожаров, таких как: требования по оснащению объектов первичными средствами пожаротушения, требования к системам пожарной автоматики, требования к конструктивным и объемно-планировочным решениям, а также к размещению и доступу на объект подразделений пожарной охраны.

Критическая оценка применения методики [6] была проведена в США и Великобритании [10–12], в результате анализа которой был сделан вывод о необходимости корректировки коэффициентов и неприменимости определенных в Великобритании коэффициентов для США. В целом в Европе и США уделяется значительное внимание анализу статистических данных о пожарах и применению их в качестве инструмента при обеспечении пожарной безопасности [13–19].

**Расчет частоты возникновения пожаров в зданиях  
различных классов функциональной пожарной опасности**

В Российской Федерации величина вероятности пожара для зданий различных классов функциональной пожарной опасности (Ф1–Ф4) приводится на один объект, а не в зависимости от площади рассматриваемого объекта защиты, поэтому при отсутствии данных для расчета коэффициентов «а» и «b» более корректно применять зависимость (1).

В качестве примера по зависимости (1) были рассчитаны и проанализированы данные по Калининскому району Санкт-Петербурга и городу в целом.

Для определения частоты возникновения пожара были собраны статистические данные за период с 2016 по 2021 г. о количестве зданий различных классов функциональной пожарной опасности в Калининском районе Санкт-Петербурга и в городе в целом, а также о количестве пожаров, произошедших в этих зданиях. Обобщенные данные приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Сводная таблица по зданиям различных классов функциональной пожарной опасности, расположенным в Калининском районе Санкт-Петербурга и в городе в целом за период с 2016 по 2021 г.**

Функциональное назначение объекта (класс функциональной пожарной опасности)	Количество данных объектов		Количество пожаров, на рассматриваемых объектах	
	Калининский район	Санкт-Петербург	Калининский район	Санкт-Петербург
Здания предприятий торговли (Ф3.1)	8 727	77 506	20	236
Здания учебно-воспитательного назначения (Ф4.1)	1 496	16 641	2	29
Здания здравоохранения и социального обслуживания (Ф3.4)	532	7 662	1	23
Административные здания (Ф4.3)	744	10 131	0	19
Здания сервисного обслуживания населения (Ф3.5)	1 188	13 157	3	68
Культурно-досуговые и религиозные здания (Ф2.1, Ф2.2, Ф3.7)	324	6 117	2	25
Здания жилого назначения (Ф1.3)	9 375	130 211	590	10 582
Здания производственного назначения (Ф5)	2 717	21 510	31	165

По формуле (1) определены величины частот возникновения пожаров в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности, расположенных в Калининском районе и в Санкт-Петербурге в целом. Полученные значения сведены в табл. 2 вместе с частотами возникновения пожаров, рекомендуемыми методикой [2].

Таблица 2. Расчетные и справочные данные по частотам возникновения пожаров

№ п/п	Функциональное назначение объекта (класс функциональной пожарной опасности)	Частота возникновения пожара в течение года [2]	Отношение количества пожаров в однотипных зданиях к количеству рассматриваемых зданий (частота возникновения пожара в течение года по формуле (1))	
			Калининский район	Санкт-Петербург
1	Здания предприятий торговли (Ф3.1)	2.03E-02	2.29E-03	3.04E-03
2	Здания учебно-воспитательного назначения (Ф4.1)	1.16E-02	1.34E-03	1.74E-03
3	Здания здравоохранения и социального обслуживания (Ф3.4)	8.88E-03	1.88E-03	3.00E-03
4	Административные здания (Ф4.3)	4.00E-02	–	1.88E-03
5	Здания сервисного обслуживания населения (Ф3.5)	–	2.53E-03	5.17E-03
6	Культурно-досуговые и религиозные здания (Ф2.1, Ф2.2, Ф3.7)	6.90E-03	6.17E-03	4.09E-03
7	Здания жилого назначения (Ф1.3)	2.60E-02	6.29E-02	8.13E-02
8	Здания производственного назначения (Ф5)	4.00E-02	1.14E-02	7.67E-03

Из данных табл. 2 следует, что по зданиям жилого назначения, культурно-досуговым и религиозным зданиям, а также зданиям здравоохранения и социального обслуживания расчетные и справочные значения соизмеримы, а по административным зданиям предприятий торговли и зданиям учебно-воспитательного назначения значения расчетных и справочных данных отличается на порядок.

Полученные результаты связаны с изменением количества пожаров на различных объектах с течением времени. По статистике [20, 21] количество пожаров в жилых зданиях на протяжении последних 10 лет практически не меняется, поэтому и численные значения вероятности пожаров для этих зданий по методике [2] остались справедливы и сейчас. Для зданий предприятий торговли количество пожаров с 2009 г. стабильно уменьшалось [20, 21] и в итоге снизилось на 30 % от изначального.

Данные табл. 2 и анализ статистики о пожарах [20, 21] показывают, что метод определения частоты возникновения пожаров по формуле (1) объективно отражает обстановку, связанную с пожарами на территории регионов и для России в целом, поэтому может применяться для определения частоты возникновения пожаров, а следовательно, и пожарного риска.

### Заключение

Исходя из вышеизложенного следует, что значения вероятности возникновения пожара, приведенные в приложении № 1 к п. 8 [2], не отражают текущую ситуацию с пожарами в России, поэтому появилась острая необходимость пересмотра справочных данных и корректировки взаимосвязей между вероятностью возникновения пожара и площадью объекта защиты с применением актуальной статистики о пожарах в стране.

Рассматриваемая проблема в отечественных научных статьях проработана недостаточно [22–26], поэтому в данном направлении необходимо проводить дальнейшие исследования.

### Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 05.02.2022).
4. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 25.03.2022).
5. International fire engineering guidelines. Edition 2005 (Международное руководство по противопожарной защите. Издание 2005 г.).
6. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.01.2022).
7. D’Addario R. Considerazioni sul tasso di premio delle assicurazioni incendi. Bari, 1940.
8. Rutstein R. The probability of fire in different sectors of industry // Fire Surv. 1979. № 8 (1). P. 20–23.
9. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2019. 242 с.
10. Мейнс М., Раш Д. Критическая оценка данных о структурном реагировании на пожар в соответствии со стандартом BS PD 7974-7, основанная на статистике пожаров США // Пожарная техника. 2019. С. 1243–1293.
11. Manes M., Rush D. Assessing fire frequency and structural fire behaviour of England statistics according to BS PD 7974-7 // Fire Safety Journal. 2020. № 7.
12. Manes M., Rush D. Probabilistic fire risk assessment in buildings using event tree analysis based on UK and USA fire statistics // Interflam 2019: conference. London, UK, 2019.
13. Fire Load Density Distribution in School Buildings and Statistical Modelling / A. Barnett [et al.] // Fire Technol. 2022. 58. С. 503–521.
14. Meacham B.J., van Straalen I.J. A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // Build Res Inf. 2018. № 46 (4). P. 444–462.
15. He Y. Linking safety factor and failure probability for fire safety engineering // J Fire Prot Eng. 2010. № 20. P. 199–216.
16. Khorasani N.E., Garlock M., Gardoni P. Fire load: Survey data, recent standards, and probabilistic models for office buildings // Eng Struct. 2014. № 1 (58). P. 152–165.
17. Fire load survey and statistical analysis / C. Thauvoye [et al.] // Fire Saf Sci. 2008. № 9. P. 991–1002.
18. The need for hierarchies of acceptance criteria for probabilistic risk assessments in fire engineering / R. Van Coile [et al.] // Fire Technol. 2018. № 55 (4). P. 1111–1146.
19. Risk tolerability limits for fire engineering design: methodology and reference case study / A.T. Mohan [et al.] // Fire Technol. 2021. № 57. P. 2235–2267.
20. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статист. сб. М.: ВНИИПО, 2018.
21. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статист. сб. М.: ВНИИПО, 2019.

22. Алпанов И.С., Нурболатов Н.А., Касенов Р.А. К вопросу о расчетах пожарного риска // Проблемы науки. 2019. № 9 (45). С. 44–47.
23. Холщевников В.В., Присадков В.И., Костерин И.В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность. 2017. № 1. С. 5–17.
24. Мешалкин Е.А., Бурбах В.А., Вантякшев Н.Н. О применении методик расчетов по оценке пожарных рисков // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 2. С. 23–31.
25. Панов А.А., Журавлев С.Ю., Журавлев Ю.Ю. Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. 2019. № 5. С. 9–18.
26. Перечень исходных данных при проведении расчета по оценке пожарного риска / Е.С. Кирик [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2020. № 3 (5). С. 5–21.

### References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. Zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
2. Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
3. Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (data obrashcheniya: 05.02.2022).
4. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 25.03.2022).
5. International fire engineering guidelines. Edition 2005 (Mezhdunarodnoe rukovodstvo po protivopozharnoj zashchite. Izdanie 2005 g.).
6. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.01.2022).
7. D'Addario R. Considerazioni sul tasso di premio delle assicurazioni incendi. Bari, 1940.
8. Rutstein R. The probability of fire in different sectors of industry // Fire Surv. 1979. № 8 (1). P. 20–23.
9. Posobie po opredeleniyu raschetnyh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennyh ob"ektov. M.: VNIPO, 2019. 242 s.
10. Mejns M., Rash D. Kriticheskaya ocenka dannyh o strukturnom reagirovanii na pozhar v sootvetstvii so standartom BS PD 7974-7, osnovannaya na statistike pozharov SSHA // Pozharnaya tekhnika. 2019. S. 1243–1293.
11. Manes M., Rush D. Assessing fire frequency and structural fire behaviour of England statistics according to BS PD 7974-7 // Fire Safety Journal. 2020. № 7.
12. Manes M., Rush D. Probabilistic fire risk assessment in buildings using event tree analysis based on UK and USA fire statistics // Interflam 2019: conference. London, UK, 2019.
13. Fire Load Density Distribution in School Buildings and Statistical Modelling / A. Barnett [et al.] // Fire Technol. 2022. 58. S. 503–521.
14. Meacham B.J., van Straalen I.J. A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // Build Res Inf. 2018. № 46 (4). P. 444–462.
15. He Y. Linking safety factor and failure probability for fire safety engineering // J Fire Prot Eng. 2010. № 20. P. 199–216.

16. Khorasani N.E., Garlock M., Gardoni P. Fire load: Survey data, recent standards, and probabilistic models for office buildings // Eng Struct. 2014. № 1 (58). P. 152–165.
17. Fire load survey and statistical analysis / C. Thauvoye [et al.] // Fire Saf Sci. 2008. № 9. P. 991–1002.
18. The need for hierarchies of acceptance criteria for probabilistic risk assessments in fire engineering / R. Van Coile [et al.] // Fire Technol. 2018. № 55 (4). P. 1111–1146.
19. Risk tolerability limits for fire engineering design: methodology and reference case study / A.T. Mohan [et al.] // Fire Technol. 2021. № 57. P. 2235–2267.
20. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 godu: statist. sb. M.: VNIPO, 2018.
21. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2019 godu: statist. sb. M.: VNIPO, 2019.
22. Alpanov I.S., Nurbolatov N.A., Kasenov R.A. K voprosu o raschetah pozharnogo riska // Problemy nauki. 2019. № 9 (45). S. 44–47.
23. Holshchevnikov V.V., Prasadkov V.I., Kosterin I.V. Sovershenstvovanie metodologii opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah i sooruzheniyah na osnove stohasticheskogo opisaniya opredelyayushchih ih processov i derev'ev sobytij // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. № 1. S. 5–17.
24. Meshalkin E.A., Burbah V.A., Ventyakshev N.N. O primenении metodik raschetov po ocenke pozharnyh riskov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2015. № 2. S. 23–31.
25. Panov A.A., Zhuravlev S.Yu., Zhuravlev Yu.Yu. Nezavisimaya oценка riska i iskhodnye dannye dlya rascheta pozharnogo riska v obshchestvennyh zdaniyah, sooruzheniyah i pozharnyh otsekah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti // Pozharovzryvobezopasnost'. 2019. № 5. S. 9–18.
26. Perechen' iskhodnyh dannyh pri provedenii rascheta po ocenke pozharnogo riska / E.S. Kirik [i dr.] // Aktual'nye voprosy pozharnoj bezopasnosti. 2020. № 3 (5). S. 5–21.

*Информация об авторах:*

**Алексей Павлович Меркулов**, начальник управления по Калининскому району Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу; магистр кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149)

**Дмитрий Федорович Кожевин**, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Yagmort\_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

*Information about the authors:*

**Aleksey P. Merkulov**, head of the department for the Kalininsky district of the Main directorate of EMERCOM of Russia for Saint-Petersburg; master of the department of criminalistics and engineering and technical expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave, 149)

**Dmitry F. Kozhevnikov**, chief of the physical and chemical bases of the burning and extinguishing processes department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Moskovskiy ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: Yagmort\_KDF@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.04.2022; одобрена после рецензирования: 22.05.2022; принята к публикации: 26.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.04.2022; approved after review: 22.05.2022; accepted for publication: 26.05.2022

УДК 614.8

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ОБЪЕКТА ЗАЩИТЫ**

**Денис Сергеевич Королев**<sup>✉</sup>.

**Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.**

**Алексей Владимирович Вытовтов.**

**Воронежский государственный технический университет;**

**Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж, Россия**

<sup>✉</sup>[otrid@rambler.ru](mailto:otrid@rambler.ru)

*Аннотация.* Современные реалии таковы, что цифровые технологии приобретают все большую популярность в различных направлениях деятельности, поэтому в статье поднимается актуальный вопрос по оценке эффективности применения цифрового двойника при разработке системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты. Авторами разработан цифровой двойник танкового музея и проведено моделирование возникновения и развития пожара, эвакуации людей, спрогнозировано развитие опасных факторов пожара и место их максимального воздействия на людей. В целях исключения избыточности системы противопожарной защиты, авторы провели эксперимент – анализ совместной работы приточно-вытяжной противодымной вентиляции и объемно-планировочных решений объекта.

*Ключевые слова:* моделирование, пожарная безопасность, цифровой двойник, риск, проектирование

**Для цитирования:** Королев Д.С., Вытовтов А.В. Анализ эффективности работы системы пожарной безопасности на основе цифрового двойника объекта защиты // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 42–51.

## **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE FIRE SAFETY SYSTEM BASED ON THE DIGITAL DOUBLE DEFENSE OBJECT**

**Denis S. Korolev**<sup>✉</sup>.

**Voronezh state technical university, Voronezh, Russia.**

**Alexey V. Vytovtov.**

**Voronezh state technical university;**

**Voronezh institute of advanced training of employees of EMERCOM of Russia, Voronezh, Russia**

<sup>✉</sup>[otrid@rambler.ru](mailto:otrid@rambler.ru)

*Abstract.* Modern realities are such that digital technologies are becoming increasingly popular in various areas of activity, therefore, the article raises the topical issue of evaluating the effectiveness of using a digital twin in the development of a fire safety system for a protected object. The authors of the work developed a digital twin of the tank museum and simulated the onset and development of a fire, the evacuation of people, predicted the development of fire hazards and the place of their maximum impact on people. In order to eliminate the redundancy of the fire protection system, the authors conducted an experiment to analyze the joint operation of the supply and exhaust smoke ventilation and space-planning solutions of the facility

*Keywords:* simulation, fire safety, digital double, risk, design

**For citation:** Korolev D.S., Vytovtov A.V. Analysis of the efficiency of the fire safety system based on the digital double defense object // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 42–51.

## Введение

Современные технологии в области строительства и проектирования объектов защиты различных классов функциональной пожарной опасности дают возможность за достаточно короткие сроки возводить здания и сооружения. Но в подавляющем большинстве случаев разрабатываемая документация содержит некоторые отклонения от требований строительных норм и правил, нормативных документов по пожарной безопасности, направленных на предупреждение возникновения пожаров, обеспечение условий для успешной эвакуации людей, локализацию и ликвидацию пожаров. Особенно это характерно для уникальных строений, не имеющих аналогов ни в российской, ни в мировой практике, где основными строительными элементами являются различные материалы по происхождению и показателям [1].

Анализ пожарной опасности показывает, что практически всегда в неконтролируемом горении участвуют строительные материалы или являются причинами распространения пламени, а конструктивные элементы, изготовленные из железобетона, кирпича, бетона, способны в условиях пожара в течение десятков минут сопротивляться огневому воздействию и не разрушаться. При этом стальные конструкции зданий при пожаре не горят, не распространяют огонь, но при 15–20 мин огневом воздействии теряют несущую способность. Несколько дольше при горении продолжают выполнять несущие функции массивные деревянные конструкции, однако они способствуют распространению огня и развитию пожара. Конструктивные элементы из пластмасс, а также отделочные, теплоизоляционные, кровельные и другие материалы в условиях пожара показывают себя по-разному и могут выделять опасные для человеческого организма токсичные продукты [2].

Таким образом, разработка системы обеспечения пожарной безопасности должна осуществляться на основе правильного выбора материалов и конструкций для строительства, ремонта и реконструкций зданий, с учетом особенностей их воспламенения и горения, поведения при термическом воздействии и т.д., что позволит уменьшить финансовые затраты на техническую реконструкцию, исправление проектных ошибок и исключить человеческие жертвы [3].

## Методы исследования

В условиях развития современных трендов все большую популярность набирает система цифровых двойников, которая представляет собой цифровую (виртуальную) копию физического здания, технологического процесса, системы или технического устройства, содержит сведения о состоянии основных элементов объекта защиты, позволяет прослеживать динамику их физического состояния в режиме реального времени (рис. 1) [4].

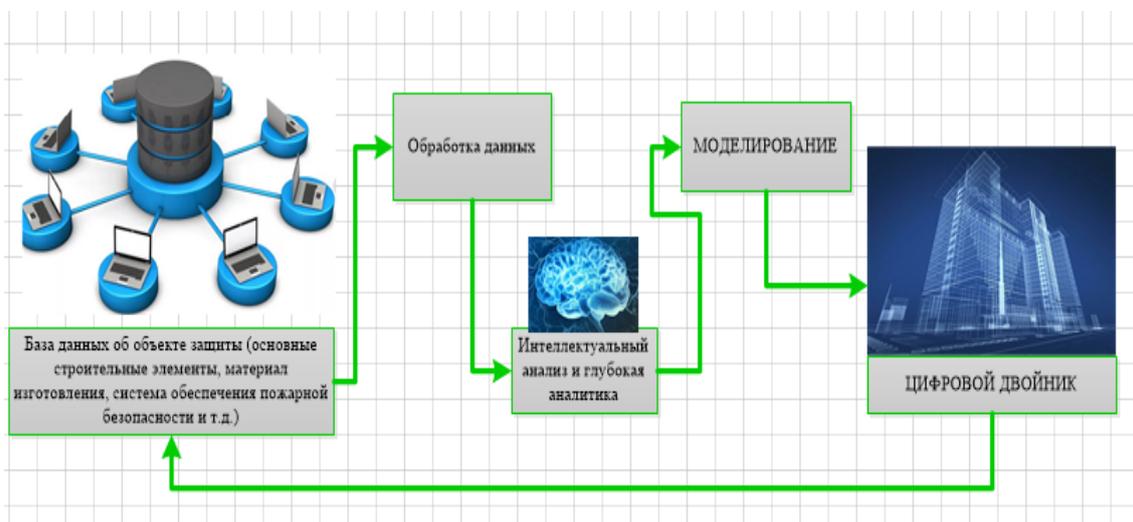


Рис. 1. Принципиальная схема понимания цифрового двойника

Данная концепция не является революционным направлением, но позволяет минимизировать участие человека при анализе значительных объемов информации: схем, чертежей, моделей, проектов, документов, заметок и т.д., отдавая сложную и рутинную аналитику данных искусственному интеллекту. Такой подход является наиболее предпочтительным, особенно в тех случаях, когда необходимо выполнить перепланировку здания или дополнить существующую систему обеспечения пожарной безопасности, исключая потенциальные ошибки, путем моделирования работы принятых решений.

Таким образом, цифровой двойник – это виртуальное представление исследуемого объекта защиты, который может выполнять следующие функции в области обеспечения пожарной безопасности [5, 6]:

- моделирование эвакуации людей при пожаре;
- моделирование распространения опасных факторов пожара;
- тестирование систем пожарной автоматики;
- информационное сопровождение.

Авторы исследования ставят перед собой задачу разработать цифровой двойник объекта защиты и провести анализ работы имеющейся системы обеспечения пожарной безопасности. В качестве объекта исследования выбрано здание проектируемого музея бронетанковой техники, расположенного в пос. Прохоровка Белгородской обл., включает в себя помещения различных классов функциональной пожарной опасности: Ф 2.2 (выставочный комплекс) и Ф 4.3 (помещения персонала/работников) (рис. 2, 3). В целях обеспечения пожарной безопасности в экспозиционных залах планируется применение углекислотного пожаротушения. Электропроводка должна быть скрытой, а защита от воздействия атмосферного электричества обеспечивается за счет использования молниезащиты. На путях эвакуации исключено применение сгораемых и токсичных полимерных материалов.

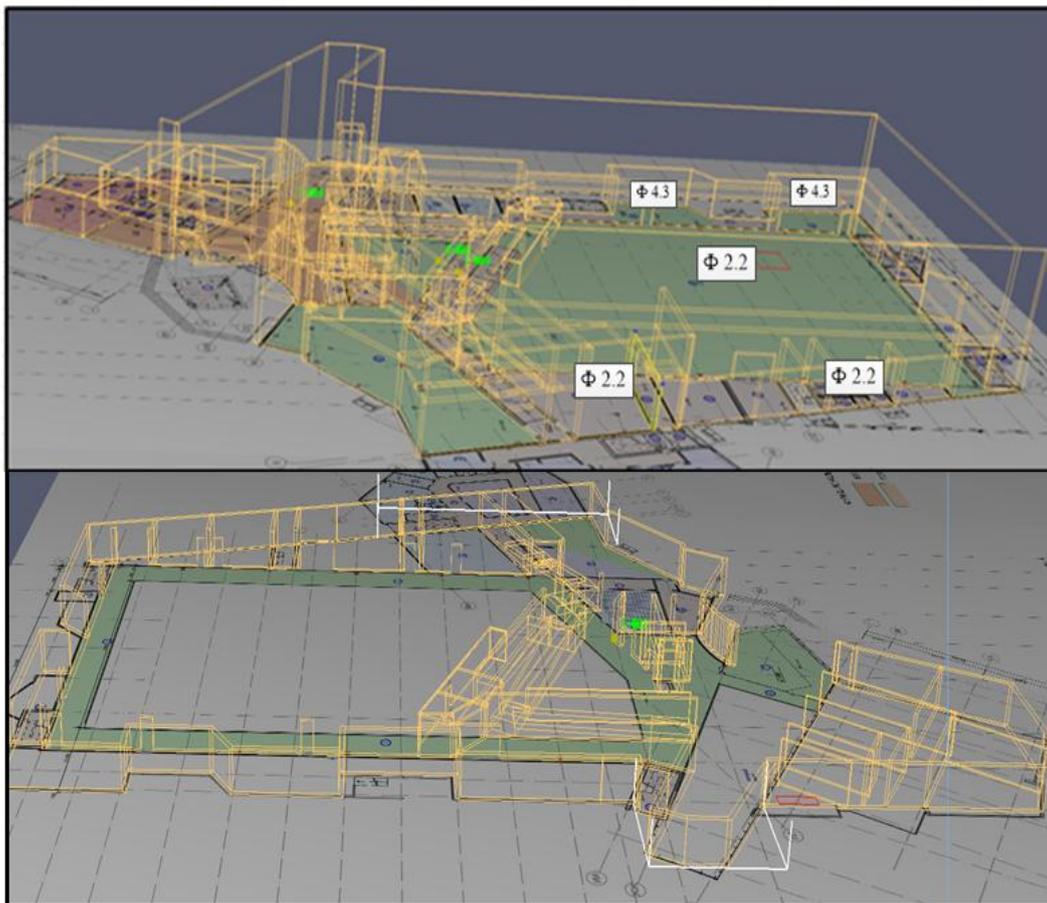


Рис. 2. Модель цифрового двойника объекта исследования

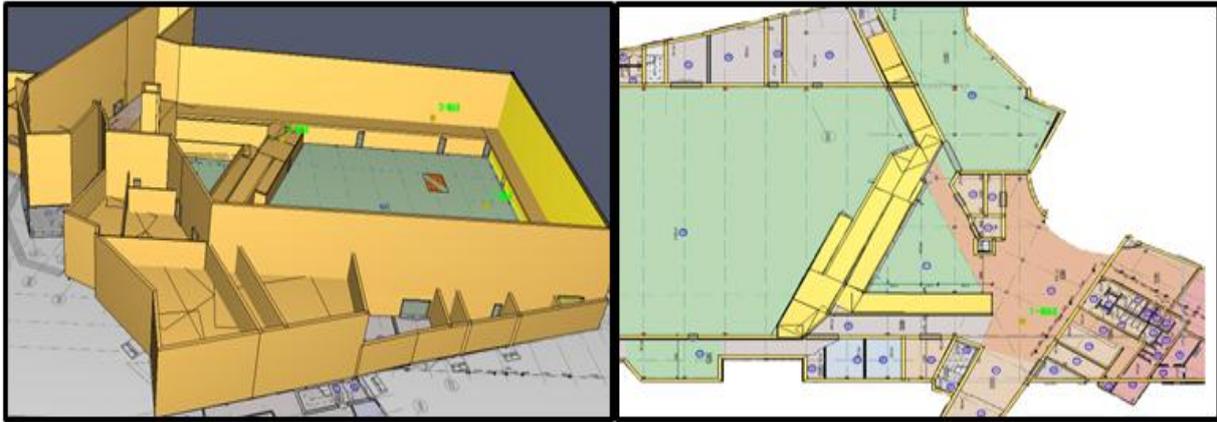


Рис. 3. Объемное представление объекта исследования

В выставочном комплексе находятся обслуживающий персонал и экскурсионные группы. Расчетная численность групп – 31 чел., с учетом экскурсовода. Длительность экскурсии 45 мин. Максимальная численность – 217 чел. Распределение групп по этажам осуществляется следующим образом: 1 этаж (5 групп: 2 группы уходят налево на смотровую площадку № 33; 2 группы направо № 30 с интервалом 10 мин; 1 группа накапливается в вестибюле) и 2 этаж (2 группы: 1 группа кинолекторий и 1 группа балкон зала № 33).

Одной из современных проблем разработки системы обеспечения пожарной безопасности в помещениях различных классов функциональной пожарной опасности является избыточность мероприятий, что негативно сказывается в целом на системе, а также в условиях финансового кризиса требует достаточно больших инвестиций [7].

В качестве примера рассмотрим несколько стандартных ситуаций. В первом случае уделим особое внимание системе оповещения о пожаре, где основным техническим элементом такой системы является оповещатель, а его одним из наиболее важных показателей – величина звукового давления [8, 9]. Так, неосведомленный человек (не проектировщик) не будет задумываться, а просто расставит речевые оповещатели в помещении, причем как можно чаще, при этом предусмотрит запас сечения проводов (кабелей), что в корне является неверным.

Компетентные специалисты-проектировщики пойдут по пути использования электроакустического расчета, что, безусловно, является правильным выбором, поскольку появится возможность индивидуального и эффективного подхода в решении проблемы обеспечения пожарной безопасности. Однако возможная ошибка полученных значений может привести к недостаточности применяемых мероприятий и тогда люди ничего не услышат, а избыточность в расчете может привести к таким явлениям, как реверберация и паразитное эхо, при которых ухудшается разборчивость речи и провоцируется паника.

Аналогичная ситуация и с системой противодымной защиты, которая представлена расставленными клапанами дымоудаления в соответствии с нормативными документами [10, 11]. При этом требования предписывают общие подходы и индикативную систему показателей, контроль которых возможен на двух этапах проектирования и ввода объекта в эксплуатацию. Классический расчетный способ определения параметров противодымной защиты строится на общенаучной методике тепло-массообмена при пожаре. При этом методика не позволяет учитывать множество факторов реального здания, которые могут быть смоделированы в цифровом двойнике объекта защиты.

В настоящее время компьютерное моделирование процесса эвакуации людей с большой вероятностью показывает задержку людского потока и места воздействия на них опасных факторов пожара, в частности дыма, поэтому целесообразно применение точечной расстановки клапанов дымоудаления в критических местах [12, 13].

Таким образом, при проектировании возникает огромное количество проблемных вопросов, которые можно решить, вооружившись арсеналом знаний и навыков. Поэтому цифровой подход представления объекта защиты позволит провести анализ эффективности работы системы дымоудаления, что и будет являться предметом исследования работы.

### Результаты исследования

Проведем анализ эффективности работы действующей системы обеспечения пожарной безопасности на объекте защиты. Для этого смоделируем пожар в выставочном зале первого этажа, где основной горючей нагрузкой будет являться выставочный экспонат (автомобиль). При этом по условию сценария неконтролируемое горение блокирует выход, расположенный на первом этаже, а на втором этаже – выход на лестничную клетку и кровлю. Примем три расчетные точки (рис. 4): Рт 1 – эвакуационный проход, максимально близко расположенный к очагу пожара; Рт 2 – смотровая площадка; Рт 3 – балкон, выходящий в атриум.



Рис. 4. Расчетные точки (Рт 1), очаг возгорания

Отметим, что данный сценарий является наиболее неблагоприятным, поскольку блокируются эвакуационные проходы и происходит стремительное распространение опасных факторов пожара (рис. 5).

Используя технологию цифрового двойника объекта исследования, на рис. 5 а визуализирована начальная стадия возникновения и развития очага горения на небольшом участке, который медленно распространяется по поверхности горючего материала [14]. Одновременно с этим вокруг зоны возгорания формируется конвективный газовый поток, стремительно поднимающийся к поверхности потолка. Горючая нагрузка прогревается на большую глубину, факел пламени увеличивается в объеме, поглощая прогретые слои горючего материала, происходит усиление газообмена и лучистого теплового потока в окружающем пространстве.

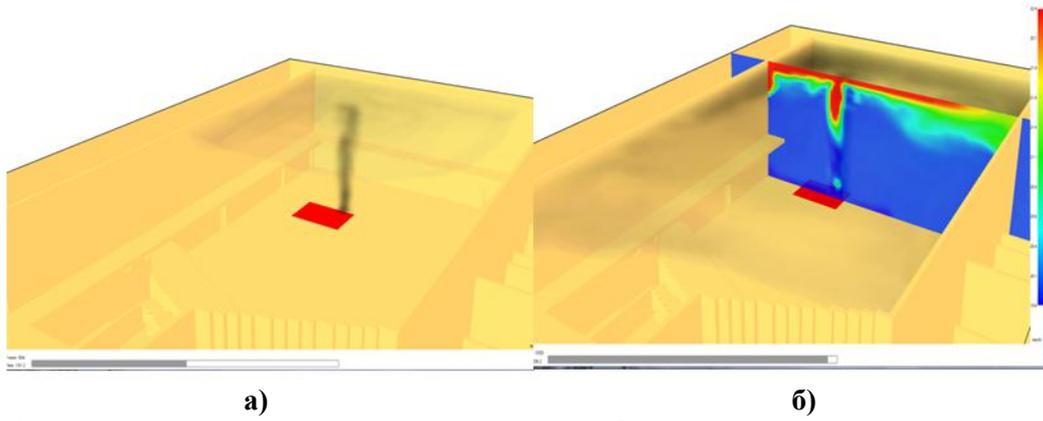


Рис. 5. а) начальная стадия распространения дыма; б) контрольная плоскость температуры

Все эти факторы способствуют к переходу к новой фазе развития горения [15]. В этом случае происходит быстрое повышение температуры в горящем помещении (рис. 5 б), а открытое пламя заполняет и прогревает горючие материалы зоны горения (рис. 6).

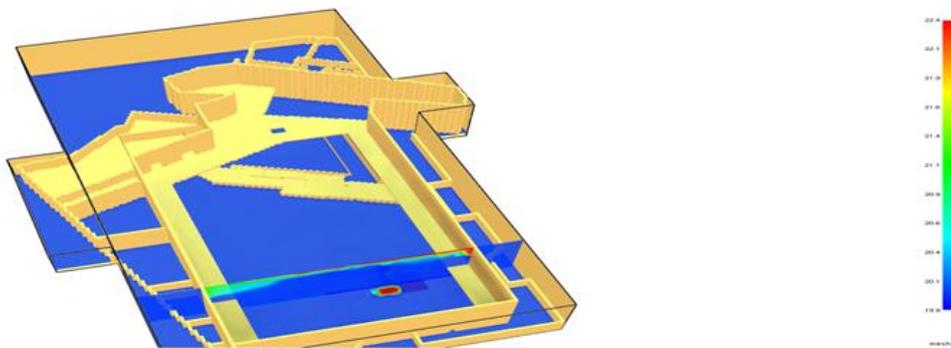


Рис. 6. Распределение теплового потока по зоне горения

Для проверки безопасной эвакуации людей произведем расчет времени эвакуации при пожаре, используя упрощенную модель движения людских потоков. Пути движения разбиты на участки, соответствующие параметрам нормативных документов (рис. 7).



Рис. 7. Основные участки эвакуационных путей

В результате компьютерного моделирования эвакуации людей при заданном сценарии было установлено, что минимальное время воздействия опасных факторов пожара наступает спустя 300 с. В рассматриваемом сценарии время эвакуации в сумме со временем начала эвакуации в расчетных точках составило 1,72 мин (Рт 1), 0,66 мин (Рт 2), 3,82 мин (Рт 3). При полученных значениях вероятность эвакуации оставляет 0,999. Пожарный риск не превышает нормативных значений. В существующей методике определения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности в сочетании с выполнением требований технического регламента расчетное обоснование выполнено в полной мере. При использовании подходов цифрового двойника объекта защиты возможно, например, проверить режимы совместной работы приточно-вытяжной и противодымной вентиляции. В рассматриваемом объекте защиты запроектирован коридор на первом этаже длиной более 15 м без проемов для естественного проветривания.

Нормативные документы регламентируют максимальный перепад давления на закрытых дверях эвакуационных выходов [16], он составляет 150 Па. Также регламентирован диапазон подпора от 20 Па до 150 Па в тамбур-шлюзах на входах в атриумы и пассажи с уровней подвальных и цокольных этажей. Пространственная реализация рассматриваемого коридора представлена на рис. 8.



Рис. 8. Коридор, защищенный противодымной вентиляцией

В рассматриваемом коридоре присутствуют три клапана дымоудаления и два клапана подпора воздуха. В цифровом двойнике объекта защиты анализируется перепад давления на закрытых дверях эвакуационных выходов при выходе из вспомогательного помещения и при выходе из тамбур-шлюза (контролируемые зоны обведены кругами). Контроль значения перепада давления реализован за счет измерителя в газовой фазе. Использование цифрового двойника позволяет проанализировать интерференцию работы различных элементов противодымной защиты и объемно-планировочных решений объекта [17–19]. В зоне I совместная работа систем приточной и вытяжной приводимой вентиляции обеспечила перепад давления в 80,3 Па при выходе из помещения в общий коридор, что менее 150 Па и соответствует нормам. Проектом предусмотрено избыточное давление в тамбур-шлюзе 110 Па (зона II). В исследуемом сценарии при совместной работе в коридоре создано вакуумметрическое разряжение вытяжными клапанами, а в тамбур-шлюзе – избыточное давление приточным клапаном. Перепад давления в зоне II составил 168,3 Па, что превышает нормативное значение (более 150 Па), что повлечет за собой полное блокирование эвакуационного выхода, которое может привести к гибели людей. Также на аэрогазодинамические процессы объекта защиты может значительно влиять ветровой поток с учетом вариации направления и силы давления. Представленный пример использования цифрового двойника позволяет провести исчерпывающее исследование, включающие в себя множество факторов на разных стадиях функционирования объекта.

## Заключение

Разработанный цифровой двойник бронетанкового музея позволил решить некоторые задачи:

- смоделировать различные процессы возникновения и распространение горения, воздействие и динамику изменения опасных факторов пожара, эвакуацию людей при неконтролируемом горении;
- провести анализ эффективности работы противодымной защиты и существующих объемно-планировочных решений на объекте защиты;
- обнаружить проблему в работе системы дымоудаления;
- оценить избыточность системы обеспечения пожарной безопасности.

Кроме того, применяемый подход в обеспечении пожарной безопасности объекта исследования может не только отражать его фактическое состояние, но и дает возможность предсказывать различные состояния, например распространение опасных факторов пожара при динамичной пожарной нагрузке, эвакуации различных групп населения и т.д.

### Список источников

1. Манапова И.У. Современные технологии строительства большепролетных зданий из железобетонных предварительно-напряженных конструкций // *Colloquium-journal*. 2020. № 2-2 (54). С. 125–126.
2. Обстановка с пожарами в Российской Федерации в 2021 году / Т.А. Чечетина [и др.] // *Пожарная безопасность*. 2022. № 1 (106). С. 98–115.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (одобр. Сов. Федерации 11 июля 2008 г.) // *Рос. газ*. 2008. № 163; *Собр. законодательства Рос. Федерации*. 2008. № 30 (Ч. I). Ст. 3579.
4. Пономарев К.С., Шутиков М.А., Феофанов А.Н. Цифровой двойник как инструмент цифровой трансформации предприятия // *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2019. № 4 (51). С. 19–23.
5. Michael W. Grieves *Digital Twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. LLC, 2014. 7 p.
6. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing / R. Rosen [et al.] // *IFAC PapersOnLine*. 2015. Т. 48. №. 3. С. 567–572.
7. Королев Д.С. Разработка предиктивного способа поведения цифрового оборудования, применяемого в нефтегазовой отрасли // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2021. № 2 (21). С. 7–12.
8. Королев Д.С. Обоснование применения показателя надежности пожарной автоматики как способа снижения пожарной и промышленной опасности технологических процессов // *Техносферная безопасность*. 2022. № 1 (34). С. 3–8.
9. Совершенствование способа предотвращения образования горючей среды в нефтегазовой отрасли на основе синтеза пожарной автоматики и интеллектуального алгоритма / Д.С. Королев [и др.] // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2022. № 1 (24). С. 29–36.
10. Гонтаренко Ю.В., Однолько А.А. Методика расчета параметров системы вытяжной противодымной вентиляции коридоров жилых и общественных зданий // *Техносферная безопасность*. 2021. № 1 (30). С. 85–93.
11. Гонтаренко Ю.В., Однолько А.А. Анализ проблематики в области противодымной вентиляции // *Техносферная безопасность*. 2020. № 4 (29). С. 12–22.
12. Савкин Е.О. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий // *Наука и общество в условиях глобализации*. 2019. № 1 (6). С. 52–58.
13. Андреев К.В. Методика оценки системы противодымной защиты // *Проблемы науки*. 2020. № 6 (54). С. 31–32.

14. Пузач С.В., Карпенко Д.Г., Копылов А.А. Некоторые особенности динамики опасных факторов пожара в атриуме // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. 2005. № 3. С. 26–45.

15. Бостанов А.Х. Расчет опасных факторов пожара в его начальной стадии // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. Т. 1. С. 766–769.

16. Выговтов А.В., Королев Д.С., Калач А.В. Способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 1–8.

17. Рахманов М.Л., Шишкин А.В. Современные цифровые технологии и цифровой двойник // Качество и жизнь. 2021. № 2 (30). С. 57–59.

18. Шпак П.С., Сычева Е.Г., Меринская Е.Е. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник Омского университета. Сер.: Экономика. 2020. Т. 18. № 1. С. 57–68.

19. Фролова А.В., Копылова Л.Е. Цифровые двойники в высокотехнологичном производстве: новые инструменты цифровой экономики // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. № 1 (224). С. 32–33.

### References

1. Manapova I.U. Sovremennye tekhnologii stroitel'stva bol'sheproletnyh zdaniy iz zhelezobonnyh predvaritel'no-napryazhennykh konstrukcij // Colloquium-journal. 2020. № 2-2 (54). S. 125–126.

2. Obstanovka s pozharami v Rossijskoj Federacii v 2021 godu / T.A. Chechetina [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2022. № 1 (106). S. 98–115.

3. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnej bezopasnosti: Feder. Zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (odobr. Sov. Federacii 11 iyulya 2008 g.) // Ros. gaz . 2008. № 163; Sobr. zakonodatel'stva RF. 2008. № 30 (Ch. I). St. 3579.

4. Ponomarev K.S., Shutikov M.A., Feofanov A.N. Cifrovoy dvojn timer kak instrument cifrovoj transformacii predpriyatiya // Vestnik MGTU «Stankin». 2019. № 4 (51). S. 19–23.

5. Michael W. Grieves Digital Twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. LLC, 2014. 7 p.

6. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing / R. Rosen [et al.] // IFAC PapersOnLine. 2015. T. 48. №. 3. S. 567–572.

7. Korolev D.S. Razrabotka prediktivnogo sposoba povedeniya cifrovogo oborudovaniya primenyaemogo v neftegazovoj otrasli // Sibirskij pozharно-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 2 (21). S. 7–12.

8. Korolev D.S. Obosnovanie primeneniya pokazatelya nadezhnosti pozharnej avtomatiki kak sposoba snizheniya pozharnej i promyshlennoj opasnosti tekhnologicheskikh processov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. № 1 (34). S. 3–8.

9. Sovershenstvovanie sposoba predotvrashcheniya obrazovaniya goryuchej sredy v neftegazovoj otrasli na osnove sinteza pozharnej avtomatiki i intellektual'nogo algoritma / D.S. Korolev [i dr.] // Sibirskij pozharно-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 1 (24). S. 29–36.

10. Gontarenko Yu.V., Odnol'ko A.A. Metodika rascheta parametrov sistemy vytyazhnoj protivodymnoj ventilyacii koridorov zhilyh i obshchestvennyh zdaniy // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 1 (30). S. 85–93.

11. Gontarenko Yu.V., Odnol'ko A.A. Analiz problematiki v oblasti protivodymnoj ventilyacii // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 4 (29). S. 12–22.

12. Savkin E.O. Sravnenie metodik rascheta trebuemykh parametrov ventilyacionnyh sistem protivodymnoj zashchity mnogoetaznyh zdaniy // Nauka i obshchestvo v usloviyah globalizacii. 2019. № 1 (6). S. 52–58.

13. Andreev K.V. Metodika ocenki sistemy protivodymnoj zashchity // Problemy nauki. 2020. № 6 (54). S. 31–32.

14. Puzach S.V., Karpenko D.G., Kopylov A.A. Nekotorye osobennosti dinamiki opasnykh faktorov pozhara v atriume // Vestnik Akademii Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii. 2005. № 3. S. 26–45.
15. Bostanov A.H. Raschet opasnykh faktorov pozhara v ego nachal'noj stadii // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij. 2017. T. 1. S. 766–769.
16. Vytovtov A.V., Korolev D.S., Kalach A.V. Sposob snizheniya pozharnoj opasnosti domov prestarelyh i invalidov na osnove ocenki pozharnogo riska // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 1–8.
17. Rahmanov M.L., Shishkin A.V. Sovremennye cifrovye tekhnologii i cifrovoj dvojniki // Kachestvo i zhizn'. 2021. № 2 (30). S. 57–59.
18. Shpak P.S., Sycheva E.G., Merinskaya E.E. Konceptiya cifrovyyh dvojnikov kak sovremennaya tendenciya cifrovoj ekonomiki // Vestnik Omskogo universiteta. Ser.: Ekonomika. 2020. T. 18. № 1. S. 57–68.
19. Frolova A.V., Kopylova L.E. Cifrovye dvojniki v vysokotekhnologichnom proizvodstve: novye instrumenty cifrovoj ekonomiki // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2020. T. 34. № 1 (224). S. 32–33.

*Информация об авторах:*

**Денис Сергеевич Королев**, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (Опорный ВУЗ) (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), кандидат технических наук, e-mail: otrid@rambler.ru

**Алексей Владимирович Вытовтов**, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (Опорный ВУЗ) (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), кандидат технических наук, e-mail: otrid@rambler.ru

*Information about the authors:*

**Denis S. Korolev**, associate professor department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (high school) (394000, Voronezh, 20 years of October, 84), candidate of technical sciences, e-mail: otrid@rambler.ru

**Alexey V. Vytovtov**, associate professor department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (high school) (394000, Voronezh, 20 years of October, 84), candidate of technical sciences, e-mail: taft.rvk@yandex.ru

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 29.04.2022; одобрена после рецензирования: 15.05.2022; принята к публикации: 25.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 29.04.2022; approved after review: 15.05.2022; accepted for publication: 25.05.2022

УДК 654.924.56

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ТЛЕНИИ СО СВЕЧЕНИЕМ ХЛОПКА**

**Илья Олегович Клочихин**✉;

**Михаил Александрович Васильев.**

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

**Инженерно-строительный институт, Высшая школа техносферной безопасности,  
базовая кафедра «Пожарная безопасность», Санкт-Петербург, Россия.**

**Денис Юрьевич Минкин.**

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

✉[klochihin.io@gmail.com](mailto:klochihin.io@gmail.com)

*Аннотация.* Проанализирована стандартная методика испытаний пожарных извещателей, определены ее недостатки. Рассмотрены параметры среды, не учитываемые контрольной ионизационной камерой. Сделаны выводы о том, что для описания свойств воздушной среды, важных при испытаниях пожарных извещателей, рационально использовать иные приборы. Составлен алгоритм проведения экспериментов по определению свойств воздушной среды. Стенд «Дымовой канал» дополнен оптико-электронным и ионизационным контрольными извещателями пожарными дымовыми и счетчиком частиц СЕМ DT-9880М. Проведены замеры свойств воздушной среды при тлении со свечением хлопка. В результате получены значения количеств частиц разных размеров, удельная оптическая плотность дыма, показания КИПДОТ и КИПДИ с течением времени при тлении со свечением хлопка. Сделаны предположения о перспективах использования используемых приборов.

*Ключевые слова:* пожарный извещатель, методы испытаний, контрольная ионизационная камера, счетчик частиц, количество частиц, характеристики воздушной среды

**Для цитирования:** Клочихин И.О., Васильев М.А., Минкин Д.Ю. Определение свойств воздушной среды при тлении со свечением хлопка // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 52–60.

## **DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE AIR ENVIRONMENT DURING GLOWING SMOULDERING COTTON FIRE**

**Ilya O. Klochihin**✉;

**Mikhail A. Vasiliev.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university;**

**Institute of civil engineering, Higher School of technosphere safety, basic chair «Fire safety»,  
Saint-Petersburg, Russia.**

**Denis Yu. Minkin.**

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

✉[klochihin.io@gmail.com](mailto:klochihin.io@gmail.com)

*Abstract.* The article discusses the standard test procedure for fire detectors, identifies its shortcomings. The parameters of the air environment that are not taken into account by the measuring ionization chamber are considered. Conclusions are drawn that it is rational to use other devices to describe the properties of the air environment that are important when testing fire detectors. An algorithm for conducting experiments to determine the properties of the air environment has been compiled. The Smoke Tunnel is supplemented with control optoelectronic and ionization smoke detectors and a CEM DT-9880M particle counter. Measurements of the properties of the air environment during glowing smouldering cotton fire were carried out. As a result, the values of the quantities of particles of different sizes, the specific optical density of smoke, the readings

of control optoelectronic and ionization smoke detectors over time during glowing smouldering cotton fire were obtained. Assumptions are made about the prospects of using the devices used.

*Keywords:* fire detector, test methods, control ionization chamber, particle counter, particle quantity, characteristics of the air environment

**For citation:** Klochihin I.O., Vasiliev M.A., Minkin D.Yu. Determination of the properties of the air environment during glowing smouldering cotton fire // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 52–60.

### Введение

23 июня 2017 г. Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 40 принят Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения», который вступил в силу с 1 января 2020 г. Этот технический регламент заменил Федеральный закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ в части требований к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения, а также к маркировке этих средств для обеспечения их свободного перемещения на территориях государств-членов [1–3].

19 ноября 2019 г. Коллегия Евразийской Экономической Комиссии приняла решение № 200 [4], согласно которому в результате применения ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний» (разделы 4 и 10, приложение А) при изготовлении извещателей пожарных на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ЕАЭС 043/2017 [5]. Также, согласно этому решению, указанный стандарт содержит правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований ТР ЕАЭС 043/2017 и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования – извещателей пожарных.

Согласно ГОСТ Р 53325–2012 во время огневых испытаний дымовых оптико-электронных пожарных извещателей должны использоваться измеритель оптической плотности дыма, устройство контроля температуры, газоанализатор и контрольная ионизационная камера. Несмотря на то, что вместо контрольной ионизационной камеры допускается применение иных измерительных приборов, обеспечивающих измерение концентрации продуктов горения, они должны иметь однозначную зависимость между измеряемой ими величиной и относительной единицей  $Y$ , определяемой при использовании контрольной ионизационной камеры.

Величина  $Y$  используется для контроля параметров среды во время проведения огневых испытаний с разными тестовыми пожарами. Для этого в ГОСТ Р 53325–2012 представлены графики, отражающие диапазоны изменения значения удельной оптической плотности среды в зависимости от концентрации продуктов горения. Пример такого графика для тестового очага ТП-3 представлен на рис. 1.

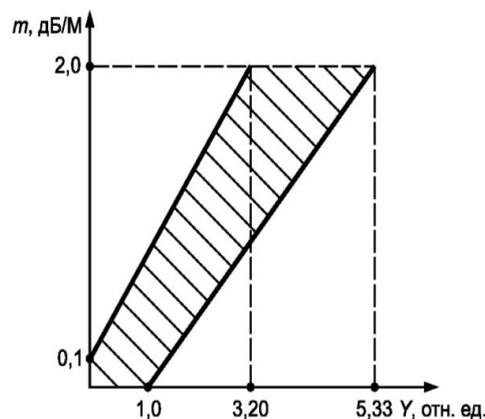


Рис. 1. График зависимости  $m$  от  $Y$

Для обеспечения повторяемости испытаний контролируемые параметры среды должны соответствовать выделенной области на протяжении всего времени протекания опыта. Только в этом случае он может считаться корректным. В случае если параметры вышли за указанные границы, опыт считается некорректным.

Однако горение – процесс несоизмеримо более сложный. На разных стадиях с начала нагрева и вплоть до исчезновения признаков пожара частицы разных размеров появляются в разных количествах. Массовая концентрация частиц дыма не способна показать, на какой стадии развития находится пожар. При нагреве материалов до момента их самовоспламенения характерно значительное выделение мельчайших частиц со средним диаметром до 0,1 мкм.

В процессе выделения аэрозоля при нагреве материалов счетная и весовая концентрации частиц изменяются. Хотя имеют место быть и колебания фоновых концентраций, они незначительны и наиболее выражены для фракции частиц со средним диаметром более 0,3 мкм [6]. При термоокислении с последующей деструкцией полимеров 90 % частиц имеют размеры от 0,01 мкм до 0,1 мкм при температурах, не достигающих температуры самовоспламенения материалов [7]. К моменту, когда сработает условный дымовой оптический пожарный извещатель, концентрация токсичных газов может быть превышена более чем в два раза [8]. Важно при огневых испытаниях проверять срабатывание извещателей не только при конкретной величине оптической плотности среды, но и при конкретных количествах частиц того или иного размера. Только в этом случае можно достоверно говорить, что извещатель сработал из-за воздействия, соответствующего стандартному типу дыма [9]. При этом отмечается снижение чувствительности к частицам со средним размерам менее 0,2 мкм. Однако стоит учитывать, что реальные формы частиц представляют собой намного более сложные фигуры, нежели сферы. Тем не менее определено, что характеристика рассеяния света частицами дыма играет важную роль для разработки фотоэлектрической технологии обнаружения дыма. Несферические свойства частиц дыма играют важную роль в их характеристике светорассеяния. Также авторы пришли к выводу, что при анализе изменений оптических свойств среды при появлении дыма его частицы следует рассматривать как эллипсоиды вращения [10]. Другие исследования также указывают на несферичность частиц, в том числе аэрозолей, возникающих при горении органических веществ [11].

Контрольная ионизационная камера не является серийно выпускаемым прибором [9]. Стоит отметить, что прибор в виде готового решения для целей испытаний извещателей на данный момент производится только на территории Европейского союза и его приобретение затруднительно [12–14]. Использование радиоактивных материалов влечет за собой трудности при создании прибора, во время эксплуатации, обслуживания и вплоть до вывода из использования и его последующего захоронения. Изменения тока контрольной ионизационной камеры лишь качественно указывает на процессы, протекающие в среде при образовании дыма, влияющие на концентрацию взвешенных частиц.

Таким образом, определяется актуальность исследований с целью нахождения способа совершенствования методов испытаний дымовых оптико-электронных точечных пожарных извещателей за счет обновления приборного обеспечения. В рамках исследований был проведен ряд опытов по определению свойств воздушной среды при образовании дыма от различных источников с помощью различных приборов. В настоящей статье описаны результаты экспериментов при тлении со свечением хлопка.

### Методы исследования

Работа проводилась в модернизированном стенде «Дымовой канал». За основу была взята установка, описанная в Приложении Д ГОСТ Р 53325–2012.

Стенд «Дымовой канал» был дополнен контрольным извещателем пожарным дымовым оптико-электронным точечным (КИПДОТ). Этот прибор является измененным конструктивно извещателем пожарным ИП-212-3СУ. Стандартная плата извещателя была заменена на новую, сделанную под заказ для реализации аналогового выхода. КИПДОТ откалиброван по стандартной методике в «Дымовом канале» для определения величины

удельной оптической плотности среды, которую регистрирует типовой извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный.

Однако стоит иметь в виду, что КИПДОТ способен выдавать только относительное значение, формирующееся на основе регистрации изменений оптических свойств среды. Важно учитывать, что принцип действия КИПДОТ соответствует принципу действия извещателей пожарных дымовых оптико-электронных точечных, то есть регистрирует рассеивание света при появлении взвешенных частиц.

Помимо КИПДОТ стенд «Дымовой канал» был дополнен контрольным извещателем пожарным дымовым ионизационным (КИПДИ). В качестве основы был взят ионизационный извещатель РИД-6М. Прибор также имеет аналоговый выход для подключения к автоматизированному рабочему месту. Помимо прочего, была реализована функция принудительной аспирации. В представленных исследованиях КИПДИ был создан и использовался для качественной оценки показаний относительного изменения тока контрольной ионизационной камеры ввиду аналогичного принципа действия.

Также в установку был добавлен прибор контроля запыленности воздуха ДТ-9880М – счетчик частиц. Для проведения исследований прибор представлял интерес в первую очередь потому, что имел возможность одновременно измерять и отображать концентрации частиц в шести каналах по размерам частиц: 0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 мкм. Единичный замер длился в среднем 11 с, что соответствует 0,0005 м<sup>3</sup> забираемого объема воздуха.

В качестве дымообразующего материала использовались 4 хлопковых фитиля длиной 15 см, сложенных пополам. Один конец фитилей фиксировался на весу канцелярским зажимом, а второй конец продевался в узкий зажимающий трубчатый электронагреватель (рис. 2). По команде, подаваемой на автоматизированное рабочее место, начинался счет времени, температура нагревателя повышалась до величины, превышающей температуру тления. Таким образом, достигался эффект тления со свечением хлопка, который продолжался вплоть до того момента, когда фитиль полностью не истлеет. Эксперимент длился 8–10 мин вне зависимости от того, в какой момент тление хлопка остановилось.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерения концентраций взвешенных частиц оказались следующими (рис. 2).

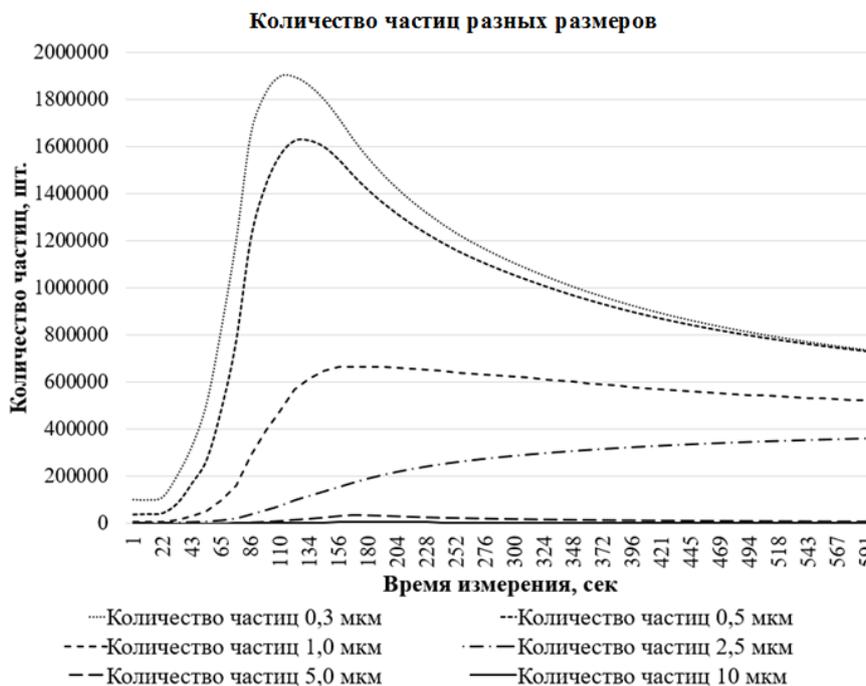


Рис. 2. Счетные концентрации взвешенных частиц при тлении со свечением хлопка

В табл. 1 приведены концентрации частиц на момент начала измерений.

Таблица 1. Концентрации частиц на момент начала измерений

Средний диаметр частиц, мкм	Количество частиц, шт.
0,3	102 652
0,5	36 697
1,0	6 639
2,5	983
5,0	209
10	53

Количество частиц со средним размером 0,3 мкм начало увеличиваться примерно на 21 с с начала измерений и, соответственно, нагрева хлопкового фитиля. Значительный темп увеличения концентрации сохранялся примерно 120 с. По достижении максимальной концентрации число таких частиц начало снижаться. Количество частиц размером 0,5 мкм увеличивалось на протяжении первых 133 с. Количество частиц размером 2,5 мкм увеличивалось на протяжении всего времени проведения измерений. Частицы размерами 1,5 и 10 мкм росли примерно первые три минуты. Максимальные значения концентраций и время их достижения приведены в табл. 2.

Таблица 2. Максимальные значения количеств частиц при тлении со свечением хлопка

Средний диаметр частиц, мкм	Количество частиц, шт.	Время регистрации значения, с
0,3	1 898 781	109
0,5	1 628 250	133
1,0	666 144	167
2,5	359 759	590
5,0	35 568	167
10	6 200	167

Показания измерителя оптической плотности начали расти примерно с начала второй минуты испытаний. В целом удельная оптическая плотность увеличивалась линейно вплоть до конца эксперимента. Наблюдается повышенная интенсивность роста на второй и третьей минуте, которая сменяется выравниванием на четвертой минуте (рис. 3).

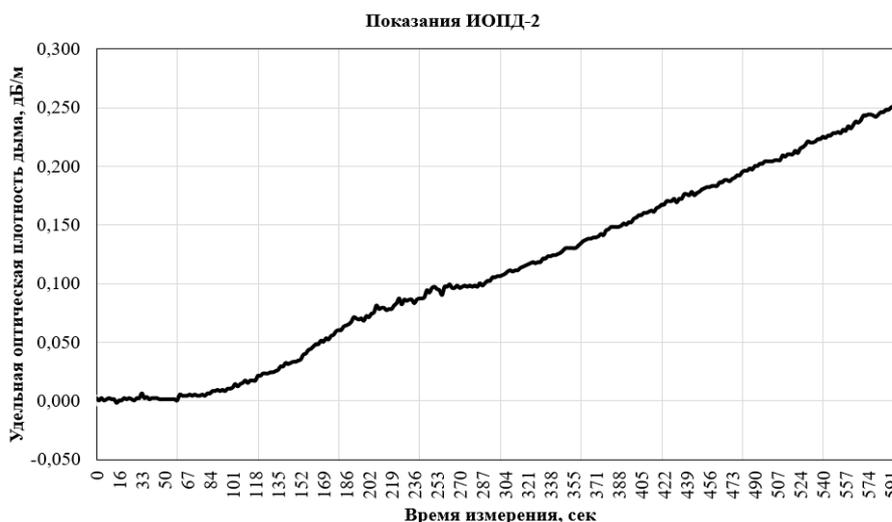


Рис. 3. Показания ИОПД-2 при тлении со свечением хлопка

Напряжение КИПДИ начало изменяться раньше, чем показания ИОПД-2, с первой минуты. Однако уже на четвертой минуте началось выравнивание графика с его последующим стремлением к прямой, параллельной оси абсцисс, при значении напряжения в 4,45 В (рис. 4), что связано с ограничениями показаний прибора.

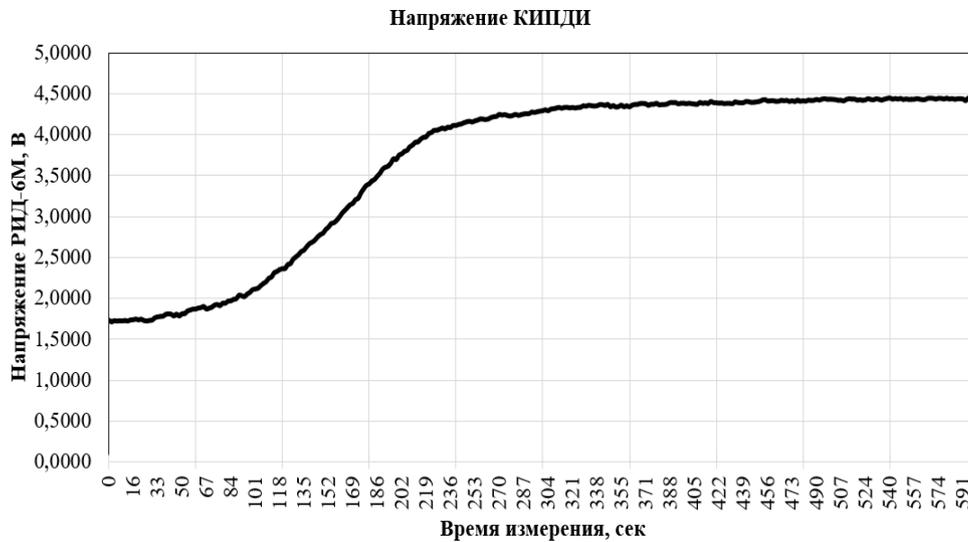


Рис. 4. Напряжение КИПДИ при тлении со свечением хлопка

Поведение показаний КИПДОТ в общем повторяли график удельной оптической плотности дыма от времени, представленный ранее (рис. 5). Однако на девятой минуте он принял форму прямой, параллельной оси абсцисс при значении условной величины «Impulse», стремящемся к 29 200 ед.

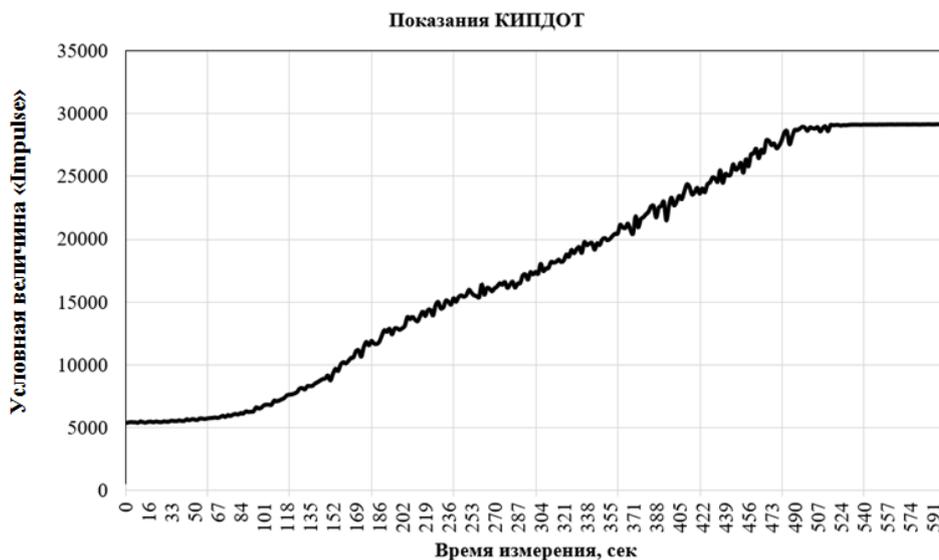


Рис. 5. Показания КИПДОТ при тлении со свечением хлопка

### Заключение

В результате были получены показания приборов во время опытов при тлении со свечением хлопка. Измерение счетных концентраций частиц разных размеров с помощью счетчиков частиц может оказаться доступной и информативной альтернативой использования контрольной ионизационной камеры во время проведения испытаний

пожарных извещателей. Однако необходимо провести испытания с тестовыми очагами пожара согласно методике, указанной в ГОСТ Р 53325–2012 для того, чтобы установить стандартные счетные концентрации частиц. В перспективе по полученным значениям можно будет судить о повторяемости опытов во время испытаний пожарных извещателей.

По показаниям используемого счетчика частиц можно определить начало тления хлопковых фитилей. По всей видимости прибор указывает на увеличение счетных концентраций взвешенных частиц, сопровождающих начало эмиссии дыма раньше, чем на это указывают приборы, регистрирующие оптическую плотность воздуха. Есть вероятность, что по показаниям счетчиков частиц можно однозначнее определить начало тления хлопка, чем по показаниям КИПДИ.

### Список источников

1. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения // Евразийский экономический союз. URL: [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413746/clcd\\_26042017\\_40](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413746/clcd_26042017_40) (дата обращения: 20.02.2022).
2. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения (ТР ЕАЭС 043/2017): технический регламент Евразийского экономического союза. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (принят Собр. законодательства Рос. Федерации 22 июля 2008 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. № 30. Ст. 3579; 2012. № 29. Ст. 3997; 2013. № 27. Ст. 3477; 2016. № 27. Ст. 4234; Рос. газ. 2008. № 163.
4. О перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных) стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017), и перечне международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных) стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования: решение коллегии ЕАЭС № 200 от 19 нояб. 2019 г. // Официальный сайт Евразийского экономического союза. URL: [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01023892/clcd\\_22112019\\_200](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01023892/clcd_22112019_200) (дата обращения: 20.02.2022).
5. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний: национальный стандарт Российской Федерации (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 нояб. 2012 г. № 1028-ст: дата введения 2014-01-01). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обращения: 10.10.2021).
6. Григорьев В.С., Григорьев И.В. Аэрозоли и связь их физических параметров с пожароопасной ситуацией // Алгоритм безопасности. 2017. № 1. С. 60–63.
7. О физической модели образования аэрозольных частиц при термоокислительной деструкции полимерных материалов / В.А. Алексеев [и др.] // Методы и приборы биоинформации и контроля окружающей среды: межвуз. сб. Л.: ЛИАП, 1981. № 150.
8. Григорьев В.С., Григорьев И.В. Аэрозоли и связь их физических параметров с пожароопасной ситуацией // Алгоритм безопасности. 2017. № 1. С. 60–63.
9. Зайцев А. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей // Алгоритм безопасности. 2014. № 3. С. 50–54.
10. Experimental study on effects of non-spherisity of smoke particles on the light scattering characteristics / Q. Xie [et al.]. 2008. P. 1 069.

11. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, From Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign / K.T. Junghenn Noyes [et al.] // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. № 22. P. 1–27.

12. MIC Smoke Measuring Equipment, type EC-912. URL: <https://mic.madebydelta.com/> (дата обращения: 12.03.2022).

13. Beauregard P. International emotional resonance: Explaining transatlantic economic sanctions against Russia // *Cooperation and conflict*. 2022. Vol. 57. № 1. P. 25–42. DOI:10.1177/00108367211027609.

14. Bělin M., Hanousek J. Which sanctions matter? Analysis of the EU/Russian sanctions of 2014 // *Journal of comparative economics*. 2021. Vol. 49. № 1. P. 244–257.

## References

1. O trebovaniyah k sredstvam obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i pozharotusheniya // *Evrazijskij ekonomicheskij soyuz*.

URL: [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413746/clcd\\_26042017\\_40](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413746/clcd_26042017_40) (дата обрashчениa: 20.02.2022).

2. O trebovaniyah k sredstvam obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i pozharotusheniya (TR EAES 043/2017): tekhnicheskij reglament Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

3. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (prinyat Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii 22 iyulya 2008 g.) // *Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii*. 2008. № 30. St. 3579; 2012. № 29. St. 3997; 2013. № 27. St. 3477; 2016. № 27. St. 4234; *Ros. gaz.* 2008. № 163.

4. O perechne mezhdunarodnyh i regional'nyh (mezhhgosudarstvennyh) standartov, a v sluchae ih otsutstviya – nacional'nyh (gosudarstvennyh) standartov, v rezul'tate primeneniya kotoryh na dobrovol'noj osnove obespechivaetsya soblyudenie trebovanij tekhnicheskogo reglamenta Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza «O trebovaniyah k sredstvam obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i pozharotusheniya» (TR EAES 043/2017), i perechne mezhdunarodnyh i regional'nyh (mezhhgosudarstvennyh) standartov, a v sluchae ih otsutstviya – nacional'nyh (gosudarstvennyh) standartov, soderzhashchih pravila i metody issledovanij (ispytaniy) i izmerenij, v tom chisle pravila otbora obrazcov, neobhodimye dlya primeneniya i ispolneniya trebovanij tekhnicheskogo reglamenta Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza «O trebovaniyah k sredstvam obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i pozharotusheniya» (TR EAES 043/2017) i osushchestvleniya ocenki sootvetstviya ob"ektov tekhnicheskogo regulirovaniya: reshenie kollegii EAES № 200 ot 19 noyab. 2019 g. // *Oficial'nyj sajt Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza*.

URL: [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01023892/clcd\\_22112019\\_200](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01023892/clcd_22112019_200) (дата обрashчениa: 20.02.2022).

5. GOST R 53325–2012. Tekhnika pozhar'naya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy: nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii (utv. i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 22 noyab. 2012 g. № 1028-st: data vvedeniya 2014-01-01).

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обрashчениa: 10.10.2021).

6. Grigor'ev V.S., Grigor'ev I.V. Aerozoli i svyaz' ih fizicheskikh parametrov s pozharoopasnoj situaciej // *Algoritm bezopasnosti*. 2017. № 1. S. 60–63.

7. O fizicheskoy modeli obrazovaniya aerokol'nyh chastic pri termookislitel'noj destrucii polimernyh materialov / V.A. Alekseev [i dr.] // *Metody i pribory bioinformacii i kontrolya okruzhayushchej sredy: mezhvuz. sb. L.: LIAP, 1981. № 150*.

8. Grigor'ev V.S., Grigor'ev I.V. Aerozoli i svyaz' ih fizicheskikh parametrov s pozharoopasnoj situaciej // *Algoritm bezopasnosti*. 2017. № 1. S. 60–63.

9. Zajcev A. Razmery chastic dyma i korrektnost' provedeniya ognevnyh ispytaniy pozhar'nyh izveshchatelej // *Algoritm bezopasnosti*. 2014. № 3. S. 50–54.

10. Experimental study on effects of non-spherisity of smoke particles on the light scattering characteristics / Q. Xie [et al.]. 2008. P. 1 069.
11. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, From Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign / K.T. Junghenn Noyes [et al.] // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. № 22. Pp. 1–27.
12. MIC Smoke Measuring Equipment, type EC-912. URL: <https://mic.madebydelta.com/> (data obrashcheniya: 12.03.2022).
13. Beauregard P. International emotional resonance: Explaining transatlantic economic sanctions against Russia // Cooperation and conflict. 2022. Vol. 57. № 1. P. 25–42. DOI:10.1177/00108367211027609.
14. Bělin M., Hanousek J. Which sanctions matter? Analysis of the EU/Russian sanctions of 2014 // Journal of comparative economics. 2021. Vol. 49. № 1. P. 244–257.

*Информация об авторах:*

**Илья Олегович Ключихин**, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: [klochihin.io@gmail.com](mailto:klochihin.io@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6529-1871>

**Михаил Александрович Васильев**, доцент Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, e-mail: [mavas01@rambler.ru](mailto:mavas01@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

**Денис Юрьевич Минкин**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); директор СПб ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), доктор технических наук, профессор, e-mail: [dunkel@mail.ru](mailto:dunkel@mail.ru)

*Information about the authors:*

**Ilya O. Klochihin**, master of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), e-mail: [klochihin.io@gmail.com](mailto:klochihin.io@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6529-1871>

**Mikhail A. Vasiliev**, associate professor of the higher school of technosphere safety of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), candidate of technical sciences, e-mail: [mavas01@rambler.ru](mailto:mavas01@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

**Denis Yu. Minkin**, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); director of the Saint-Petersburg state unitary enterprise «Gorelektrotrans» (196105, Saint-Petersburg, Syzranskaya str., 15), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [dunkel@mail.ru](mailto:dunkel@mail.ru)

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.05.2022; одобрена после рецензирования: 23.05.2022; принята к публикации: 24.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 10.05.2022; approved after review: 23.05.2022; accepted for publication: 24.05.2022

УДК 614.842.83.07/.08

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОФИЛАКТИКОЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕМ ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОСЕТИ АВТОМОБИЛЯ**

**Юрий Дмитриевич Моторыгин**<sup>✉</sup>;

**Павел Сергеевич Топилкин.**

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

<sup>✉</sup>[fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы исследования пожароопасных режимов работы электрической сети автомобиля. В зависимости от срока эксплуатации автомобиля в электрических элементах автомобилей с различной степенью вероятности возможно появление аварийных режимов работы, которые могут привести к возникновению пожара. В работе предлагается разработать модели, позволяющие получить информацию о вероятности возникновения пожароопасного аварийного режима в электросети автомобиля в зависимости от срока его эксплуатации. Предлагается использовать полученную информацию для целенаправленного управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля. Такая информация актуальна для парков автомобилей, состав которых различен по степени эксплуатации, марке производителя, году производства, использованию в автомобиле электрических элементов.

*Ключевые слова:* электрическая сеть автомобиля, вероятность отказа, статистика, цепи Маркова

**Для цитирования:** Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С. Информационная оценка оптимального управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 61–68.

## **INFORMATION ESTIMATION OF OPTIMUM CONTROL OF PREVENTIVE MAINTENANCE AND PREVENTION OF FIRE-DANGEROUS MODES IN THE CAR ELECTRIC SYSTEM**

**Yury D. Motorygin**<sup>✉</sup>;

**Pavel S. Topilkin.**

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

<sup>✉</sup>[fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru)

*Abstract.* Questions of research of fire-dangerous operating modes of an electric network of the car are considered. Depending on term of operation of the car in electric elements of cars with various degree of probability occurrence of emergency operation of work which can lead to fire occurrence is possible. In work the models are developed, allowing to receive the information in probability of occurrence of fire-dangerous emergency operation in the electric system of the car depending on term of its operation. It is offered to use the received information for purposeful management of preventive maintenance and prevention of fire-dangerous modes in the car electric system. Such information is actual for parks of the cars which structure is distinguished on a rate of exploitation, marks of the manufacturer, year of manufacture, use in the car of electric elements.

*Keywords:* electric network of the car, probability of refusal, statistican, chain of Markova

**For citation:** Motorygin Yu.D., Topilkin P.S. Information estimation of optimum control of preventive maintenance and prevention of fire-dangerous modes in the car electric system // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 61–68.

## Введение

Статистические данные показывают, что 2022 г. только в Санкт-Петербурге зафиксировано более 1,879 млн автомашин. При этом средний возраст автомобилей в нашей стране составляет 14 лет, отечественных – в среднем 17,4 года [1].

Обычно все крупные организации имеют свой парк автомобилей. Обслуживание такого автопарка часто производится бессистемно. Особенно это относится к электросети автомобиля. Статистические данные по Российской Федерации, как и в развитых странах, показывают, что количество пожаров на транспорте стоит на втором месте после жилого сектора, при этом пожары от электрических источников зажигания занимают второе место после неосторожного обращения с огнем [1, 2].

Элементы электрической сети автомобиля проходят через все важные конструкции транспортного средства. Отдельные элементы электрической сети автомобиля соединены большим количеством контактов. Контакты могут быть изначально неправильно сформированы, то есть недостаточно надежны уже на этапе изготовления автомобиля. На этапе эксплуатации контактные соединения подвергаются воздействию окружающей среды, вибрации при движении автомобиля, внешнему механическому воздействию. Часто эти воздействия носят случайный характер, что нельзя описать детерминированными моделями. Количество научных работ в этой области невелико. Обычно исследование контактов проводится после пожара, при этом исследуются оплавления, возникшие в результате аварийных режимов. Исследованию процессов, предшествовавших возникновению пожароопасного аварийного режима в электросети автомобиля, не уделяется достаточного внимания. Профилактика электрической сети с целью предотвращения пожароопасных аварийных режимов способствует более надежной эксплуатации транспортных средств.

Целью данного исследования является анализ элементов электросети для создания моделей, позволяющих получить информацию в вероятности появления аварийного режима, способствующего вызвать неконтролируемое горение в электросети автомобиля в зависимости от срока его эксплуатации. Такая информация может быть использована для целенаправленного управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электропроводке автомобиля. Предложенные модели могут быть использованы при проведении пожарно-технической экспертизы.

## Методы исследования

Для оценки пожарного риска используется ГОСТ Р 51901.10–2009 [3, 4]. Основополагающим является идентификация опасных событий. Любой источник зажигания в электрической сети автомобиля можно рассматривать как повышенную опасность.

Как уже отмечалось, на аварийные процессы в электропроводке автомобиля влияет множество случайных процессов. В таблице показаны основные характеристики отказов и их причины, которые возникают в процессе эксплуатации транспортного средства.

В таблице приведена декомпозиция основных причин, которые могут привести к возникновению аварий в элементах электропроводки и, в конечном счете, привести к возгоранию элементов автомобиля [3–5]. На основе проведенного анализа неисправностей можно синтезировать математическую модель, позволяющую оценить надежность электрической сети транспортного средства.

Таблица. Основные характеристики отказов и их причины возникновения в электросети автомобиля

Классификационный признак	Вид отказа
Характер возникновения отказа	Внезапный
	Постепенный
Время существования отказа	Постоянный
	Временный
	Перебегающий (временные отказы, следующие один за другим)
Характер проявления отказа	Явный
	Неявный
Зависимость отказов	Отказ зависимый
	Отказ независимый

В современных работах часто используются классические детерминированные математические модели, однако в последнее время стали больше обращать внимание на вероятностные методы расчета. Стохастические модели предполагают введение ряда состояний, в которых находится исследуемая система электросети. Это может быть состояние успешной работы, аварийное состояние, состояние восстановления (ремонтные работы). Для учета параметров каждого состояния строят переходную матрицу вероятностей. Чем больше вводится состояний, тем сложнее будет матрица, то есть система будет более высокого порядка. Сам анализ надежной работы электрических элементов автомобиля обычно осуществляют, учитывая принципиальную электрическую схему электросети транспортного средства, характера воздействия внешних условий, особенности эксплуатации, правил и регулярности обслуживания и других случайных факторов [3, 4].

Надежность элементов и контактов электросети автомобиля можно проводить по следующему алгоритму:

1. Прямая оценка на основе обработки данных [4, 5].
2. Декомпозиция математических методов, позволяющая синтезировать связи с другими вероятностями.
3. Проверка аварийных режимов в электросети.
4. Технологический аудит.

По аналогии с аудитом пожарной безопасности для технологического аудита следует рассчитать частоту реализации основных сценариев аварии. Можно применить способ анализа дерева событий [6–9]. Для этого следует получить сведения о частоте возникновения пожароопасных и аварийных режимов. Частота возникновения аварийных режимов на каждом определенном транспортном предприятии является важной величиной для анализа индивидуальных рисков.

### Результаты исследования и их обсуждение

Статистические данные, приведенные в материалах Всероссийского института противопожарной обороны МЧС России (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) [1], говорят о том, что рост пожаров за период с 2016 по 2020 г. практически не увеличивается на транспортных средствах различной направленности. При этом пожары на автотранспорте составляют около 75 %.

Оценить вероятность возникновения пожара от «плохого» контакта можно при помощи анализа статистической информации [1]. Для оценки информации используются данные по возгоранию одного электрического элемента в течение года.

Из обзорных источников ФГБУ ВНИИПО МЧС России для электрических сетей используется около  $10^8$  установочных элементов. Следовательно, вероятность получения условий для возникновения пожара (частота возникновения горения) за один год в отдельном элементе электрической сети составляет величину  $2 \cdot 10^{-5}$ , что больше нормативной величины (по ГОСТ 12.1.004–91 составляющей  $10^{-6}$  в год) и является причиной осуществления мероприятий по профилактике и надзору за электропроводкой автомобиля [3, 4, 10].

Частоту отказов оборудования в электросети автомобиля можно определить как отношение вероятности получения условий для пожара, частоту возникновения горения ко времени безаварийной работы исследуемого или аналогичного объекта. В заключении получается математическое ожидание частоты возникновения аварийных режимов. Эта величина не является вероятностью.

Рассмотрим интенсивность отказов, которая определяется как отношение количества отказов основных элементов за период времени к среднему числу элементов, безаварийно работающих в конкретный период времени, при условии, что отказы в элементах не восстанавливаются и не заменяются рабочими. Количество отказов в элементах электросети автотранспортного средства представляет собой следующую зависимость:

$$\mu = \frac{n(t)}{N_{\text{ср}}} = f(t)/P(t),$$

где  $N_{\text{ср}}$  – количество элементов электросетей автомобиля;  $n(t)$  – число «плохих» контактов, возникших за промежуток времени от  $t - (\Delta t / 2)$  до  $t + (\Delta t / 2)$ ;  $f(t)$  – интенсивность отказов – число неисправных электрических соединений к моменту времени  $t$  в единицу времени;  $P(t)$  – величина исправных электрических соединений;  $\Delta t$  – интервал рассматриваемого промежутка времени.

Учитывая статистические данные и эмпирические исследования [9–11], можно считать, что зависимость  $\mu(t)$  представляет собой количество отказов в зависимости от времени. Показанную на рис. зависимость представляет собой три ярко выраженных интервала.

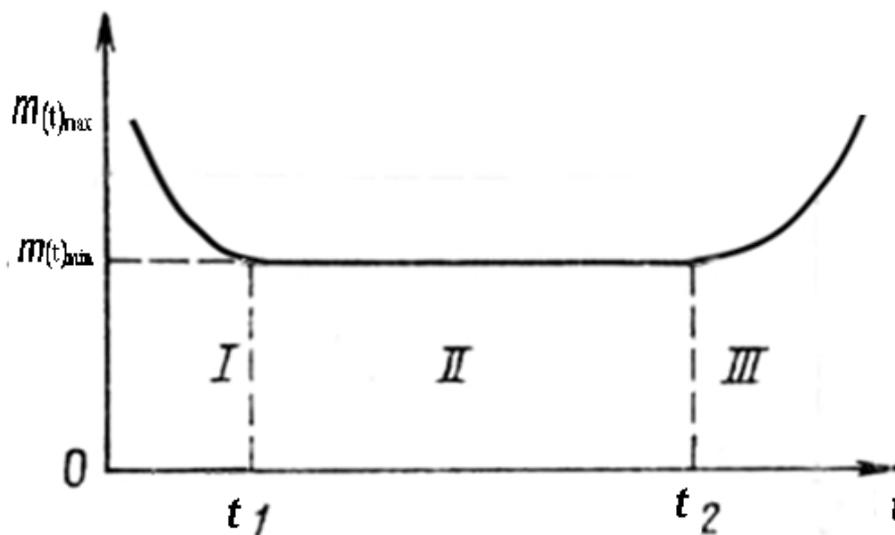


Рис. Три интервала зависимости количества отказов в электросети автомобиля от времени

На первом участке видно, что функция  $\mu(t)$  имеет повышенные значения. Это объясняется тем, что при производстве автомобилей могут возникнуть производственные (скрытые) дефекты, возможно использование некачественных материалов и элементов электропроводки, возможны неисправности, вызванные транспортировкой автомобиля [4].

Часто неисправности являются примерами конструкторских (например неудачная компоновка) и эксплуатационных (режимов приработки) нарушений [4]. Это может привести к возникновению пожароопасных режимов в электропроводке, приводящих к возникновению горения. Первый период работы автомобиля [4] называют периодом приработки. Период приработки электропроводки автомобиля, как правило, небольшой, так как продолжительность безотказной работы некачественных элементов обычно сравнительно низка, поэтому выявить и заменить их удается за сравнительно короткое время. Из рисунка видно, что участок, соответствующий периоду приработки I, представляет собой монотонно убывающую функцию  $\mu(t)$ , крутизна которой и протяженность во времени тем меньше, чем совершеннее конструкция, выше качество ее изготовления и более тщательно соблюдены режимы приработки. Период приработки считают завершенным, когда интенсивность отказов элементов электропроводки автомобиля приближается к минимальной величине  $\mu(t)_{min}$ , что соответствует гарантийному сроку 2–3 г.) [4, 6, 11, 12].

Второй период более длинный. За этот период времени могут появляться внезапные отказы, которые возникают при неожиданных аварийных режимах в электропроводке. Как правило, предотвратить эти режимы довольно сложно. На этом периоде эксплуатации в электропроводке автомобиля остаются только полноценные компоненты, срок износа и старения которых еще не наступил. Такие внезапные отказы все же подчиняются определенным закономерностям. В частности, частота их появления в течение достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах автомобилей, при этом интенсивность отказов в интервале времени  $(t_1-t_2)$  [4] минимальна и имеет почти постоянное значение  $\mu(t)_{min} \approx const$ . К внезапным отказам электросети автомобиля относят, например, пробой диэлектриков, короткие замыкания проводников, большие переходные сопротивления, неожиданные механические разрушения элементов конструкции и т.п. Величина интенсивности отказов  $\mu(t)_{min}$  тем меньше, а интервал времени  $(t_1-t_2)$  тем больше, чем более качественно изготовлен автомобиль и соблюдался правильный режим эксплуатации [4, 6, 11, 12].

Третий период характеризуется повышенной интенсивностью отказов из-за износа и старения электрооборудования автомобиля. Возникают необратимые физические и химические изменения, приводящие к разрушению или частичному утрачиванию своих свойств, необходимых для нормального функционирования элементов электросети автомобиля. Такие процессы носят, как правило, необратимый характер. К отказам в результате износа относится изменение диэлектрических свойств изоляции электрических проводов, возникновение больших переходных процессов вследствие агрессивного воздействия окружающей среды, механический износ деталей и др. Их увеличение связано с резким возрастанием интенсивности отказов  $\mu(t)$ . Участок  $(t_2-t_3)$  «кривой жизни» электросети автомобиля представляет собой монотонно возрастающую функцию, крутизна которой тем меньше (а протяженность во времени тем больше), чем более качественные материалы и комплектующие изделия использованы в аппаратуре [6, 11, 12].

### Заключение

Любое транспортное средство проходит несколько этапов различной по надежности стадий работы его эклектической сети. В работе предложено рассматривать три резко выраженных этапа по надежности работы контактных элементов электросети.

На каждом этапе преобладают свои характерные причины возникновения пожароопасных аварийных режимов эксплуатации электрической сети автомобиля. В работе проведена декомпозиция основных характеристик отказов и их причины возникновения в электросети автомобиля. Для оценки прогнозов возникновения пожароопасных аварийных режимов в электрических контактах автомобиля планируется разработать три математические модели с использованием Марковских цепей [11–14]. На основе математических моделей будет создан программный комплекс, позволяющий регламентировать проведение профилактических работ на определенных участках электросети автомобиля. Время и технические сведения

о профилактических работах будут получены из результатов, полученных в математических моделях.

Программный комплекс ориентирован на организации, имеющие свой парк автомобилей. Использование результатов моделирования при обслуживании конкретного автомобиля, занесенного в электронную базу, позволит повысить надежность работы электросети автомобиля и повысит пожарную безопасность эксплуатации автомобильного парка [13, 14].

#### Список источников

1. Автостат: аналитическое агенство. URL: <https://www.autostat.ru/news/51335/> (дата обновления: 05.05.2022).
2. Mohd Zahirasri Mohd Tohiri, Spearpointi M. Development of fire scenarios for car parking buildings using risk analysis // Fire safety science. 2014.
3. Анализ и состояние аварийности // Министерство транспорта Российской Федерации. РОСТРАНСНАДЗОР. URL: <https://sea.rostransnadzor.ru/funksii/rassledovanie-transportny-h-proisshes/analiz-i-sostoyanie-avarijnost> (дата обращения 15.02.2022).
4. ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2005.
5. Власова Я.А., Моторыгин Ю.Д. Оценка методов определения вероятности возникновения пожара от аварийного режима в электросети автомобиля // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-а ГПС МЧС России». 2016. № 1. С. 13–17.
6. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
7. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005: приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 дек. 2009 г. № 1242-ст. URL: <http://ivo.garant.ru>. (дата обновления: 05.05.2022).
8. Методика расчета пожарных рисков на транспорте / М.И. Архипов [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 3. С. 132–139.
9. Кравцов М.Н. Пожарная опасность электро, гибридов и автомобилей // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. Т. 9. № 1. С. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. Т. 6. № 4. С. 1 956–1 964.
12. Моделирование процессов развития горения пожарной нагрузки с помощью конечных цепей Маркова / А.И. Подрезова // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 3. С. 176–179.
13. Моторыгин Ю.Д. Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 45–51.
14. Моторыгин Ю.Д., Косенко Д.В., Бибарсов Р.Ш. Модель возникновения и развития аварийных режимов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4 (36). С. 82–85.
15. Бардин И.В., Моторыгин Ю.Д., Галишев М.А. Прогнозирование ситуаций и оптимизации принятия решений по улучшению экологической обстановки в районах с нефтяным загрязнением на основе конечных цепей Маркова // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 1–2 (9–10). С. 32–39.

**References**

1. Avtostat: analiticheskoe agenstvo. URL: <https://www.avtostat.ru/news/51335/> (data obnovleniya: 05.05.2022).
2. Mohd Zahirasri Mohd Tohiri, Spearpointi M. Development of fire scenarios for car parking buildings using risk analysis // Fire safety science. 2014.
3. Analiz i sostoyanie avarijnosti // Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. ROSTRANSNADZOR.  
URL: <https://sea.rostransnadzor.ru/funksii/rassledovanie-transportnyh-proissheh/analiz-i-sostoyanie-avarijnost> (data obrashcheniya: 15.02.2022).
4. GOST R 51901.15–2005 Menedzhment riska. Primenenie markovskih metodov. M.: Standartinform, 2005.
5. Vlasova Ya.A., Motorygin Yu.D. Ocenka metodov opredeleniya veroyatnosti vozniknoveniya pozhara ot avarijnogo rezhima v elektroseti avtomobilya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-a GPS MCHS Rossii». 2016. № 1. S. 13–17.
6. Motorygin Yu.D. Matematicheskoe modelirovanie processov vozniknoveniya i razvitiya pozharov: monografiya / pod obshch. red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2011.
7. Menedzhment riska. Procedury upravleniya pozharnym riskom na predpriyatii. Nacional'nyj standart RF GOST R 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005: prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 15 dek. 2009 g. № 1242-st.  
URL: <http://ivo.garant.ru>. (data obnovleniya: 05.05.2022).
8. Metodika rascheta pozharnyh riskov na transporte / M.I. Arhipov [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2014. № 3. S. 132–139.
9. Kravcov M.N. Pozharnaya opasnost' elektro, gibridov i avtomobilej // Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnologii. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. T. 9. № 1. S. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. T. 6. № 4. S. 1956–1964.
12. Modelirovanie processov razvitiya goreniya pozharnoj nagruzki s pomoshch'yu konechnyh cepej Markova / A.I. Podrezova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 3. S. 176–179.
13. Motorygin Yu.D. Modelirovanie pozharoopasnyh rezhimov v elektroseti avtomobilej dlya prinyatiya resheniya pri provedenii pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 9. S. 45–51.
14. Motorygin Yu.D., Kosenko D.V., Bibarsov R.Sh. Model' vozniknoveniya i razvitiya avarijnyh rezhimov v elektroseti avtomobilya, privodyashchih k vozniknoveniyu pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 4 (36). S. 82–85.
15. Bardin I.V., Motorygin Yu.D., Galishev M.A. Prognozirovanie situacij i optimizacii prinyatiya reshenij po uluchsheniyu ekologicheskoy obstanovki v rajonah s neftyanym zagryazneniem na osnove konechnyh cepej Markova // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2009. № 1–2 (9–10). S. 32–39.

*Информация об авторах:*

**Юрий Дмитриевич Моторыгин**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>

**Павел Сергеевич Топилкин**, преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru

*Information about the authors:*

**Yury D. Motorygin**, professor of the department chairs of criminalistics and technical examinations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>

**Pavel S. Topilkin**, lecturer of the department chairs of criminalistics and technical examinations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.04.2022; одобрена после рецензирования: 22.05.2022; принята к публикации: 26.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.04.2022; approved after review: 22.05.2022; accepted for publication: 26.05.2022

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

УДК 504.7

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО АБСОРБЦИИ

Сергей Григорьевич Ивахнюк;  
Людмила Анатольевна Королева✉.

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

✉koroleva.l@igps.ru

*Аннотация.* Энергетическая безопасность, устойчивое развитие общества, загрязнение окружающей среды и последствия изменения климата являются основными проблемами современной мировой экономики. Климатические изменения принято связывать с совокупным выбросом парниковых паров и газов, образующихся в результате производственной деятельности человека.

Проведенный анализ методов борьбы с отрицательным воздействием углеродного следа показал, что замедлить глобальное потепление можно не только путем сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, но и снижением его присутствия в атмосфере. Эффективным методом является поглощение углекислого газа растениями в процессе фотосинтеза. Перспективы минимизации последствий техногенного глобального потепления связаны с организацией карбонового земледелия.

Экспериментально установлено, что физико-химические параметры воды (водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, осмотическое давление, поверхностное натяжение), определяющие ее свойства, подвергаются управлению. При проведении опытов воздействие на дистиллированную воду осуществляли электрофизическим способом с использованием генератора переменного частотно-модулированного потенциала (сигнала). Фиксировали изменение ее параметров.

Проведены сравнительные эксперименты по поливу растений обработанной и необработанной водой. Опыты показали, что при поливе электрофизически обработанной водой продуктивность фотосинтеза возросла: для растений риса – на 11,6 %, овса – на 9,2 %. Увеличение практической урожайности риса составило от 6 % до 15 %. При этом наблюдалось снижение расхода поливной воды приблизительно в два раза.

Применение электрофизической обработки поливной воды позволяет увеличить абсорбцию растениями CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза, одновременно повышая урожайность сельскохозяйственных культур. Использование предлагаемого способа позволит с минимальными издержками снизить концентрацию техногенного углерода в атмосфере.

*Ключевые слова:* безопасность, изменения климата, углеродный след, техногенные выбросы парниковых газов, карбоновое земледелие, фотосинтез, электрофизическая обработка

**Для цитирования:** Ивахнюк С.Г., Королева Л.А. Научно-технические инновации по снижению концентрации техногенного CO<sub>2</sub> в атмосфере за счет повышения его абсорбции // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 69–79.

## SCIENTIFIC AND TECHNICAL INNOVATIONS TO REDUCE THE CONCENTRATION OF TECHNOGENIC CO<sub>2</sub> IN THE ATMOSPHERE BY INCREASING ITS ABSORPTION

Sergey G. Ivakhnyk;

Ludmila A. Koroleva✉.

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

✉koroleva.l@igps.ru

*Abstract.* Energy security, sustainable development of society, environmental pollution and the consequences of climate change are the main problems of the modern world economy. It is customary to associate climate change with the cumulative emissions of greenhouse gases and gases generated as a result of human production activities.

The analysis of methods to combat the negative impact of the carbon footprint has shown that global warming can be slowed down not only by reducing CO<sub>2</sub> emissions, but also by reducing its presence in the atmosphere. An effective method is the absorption of carbon dioxide by plants during photosynthesis. Prospects for minimizing the consequences of technogenic global warming are associated with the organization of carbon farming.

It has been experimentally established that the physicochemical parameters of water (hydrogen index, redox potential, osmotic pressure, surface tension) that determine its properties are controlled. During the experiments, the effect on distilled water was carried out by an electrophysical method using an alternating frequency-modulated potential (signal) generator. Recorded a change in its parameters.

Comparative experiments on watering plants with treated and untreated water were carried out. Experiments showed that when watering with electrophysically treated water, photosynthesis productivity increased: for rice plants – by 11,6 %, for oats – by 9,2 %. Increase of practical rice yield was from 6 % to 15 %. At the same time, there was a decrease in irrigation water consumption by about half.

Application of electrophysical treatment of irrigation water allows to increase the absorption of CO<sub>2</sub> by plants during photosynthesis, simultaneously increasing the yield of agricultural crops. The use of the proposed method will reduce the concentration of anthropogenic carbon in the atmosphere with minimal costs.

*Keywords:* security, climate change, carbon footprint, anthropogenic greenhouse gas emissions, carbon farming, photosynthesis, electrophysical treatment

**For citation:** Ivakhnyk S.G., Koroleva L.A. Scientific and technical innovations to reduce the concentration of technogenic CO<sub>2</sub> in the atmosphere by increasing its absorption // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 69–79.

### Введение

Энергетическая безопасность, устойчивое развитие общества, загрязнение окружающей среды и последствия изменения климата – вопросы, прочно закрепившиеся в перечне основных проблем, с которыми приходится сталкиваться современной мировой экономике [1, 2]. Климатические изменения принято связывать с совокупным выбросом парниковых паров и газов, образующихся в результате производственной деятельности человека [3, 4]. Их концентрации в атмосфере достигли беспрецедентного уровня. Так, за прошедшие сорок лет содержание только CO<sub>2</sub> в атмосфере увеличилось с 320 до 412 ppm [3, 5].

На сегодняшний день вопросы безопасности напрямую связаны с экономикой и являются важным управляющим фактором производственной деятельности. В последние годы одной из самых острых проблем принято считать «углеродный след», под которым понимают весь объем смеси CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, выделяющийся в окружающую среду в результате

производственной деятельности человека. Парниковый эффект, развивающийся в результате их накопления в атмосфере, обуславливает негативные последствия, проявляющиеся, в том числе, и в изменении климата (глобальное потепление) [1, 2].

Мировые государства – экономические лидеры в настоящее время определяют направления, на которые будут брошены основные силы борьбы с отрицательным воздействием «углеродного следа».

Так, в КНР, в рамках освоения комплексной программы, запланировано: разработка государственных стандартов низкоуглеродного развития; создание внутреннего рынка торговли углеродными квотами; государственная поддержка развития альтернативной энергетики; создание сети технопарков, деятельность которых направлена на разработку и внедрение технологий по минимизации выбросов  $\text{CO}_2$ ; увеличение площадей искусственных и природных экосистем поглощения атмосферного (техногенного)  $\text{CO}_2$ ; развитие низкоуглеродных видов транспорта и увеличение энергоэффективности объектов жилищно-коммунального хозяйства.

В свою очередь, во Франции основная ставка сделана на развитие атомных электростанций, в ФРГ – на «зеленую» энергетику – альтернативу углю, нефти и газу. Таджикистан тем временем активно рассматривает возможные инновационные способы техногенной рекультивации пустынь, в том числе их озеленение с помощью гидрогелей на основе электрофизически обработанной воды – материально-технической базы местного карбонового земледелия.

На борьбу с углеродным следом, вызывающим экономические обременения практически для всех государств, уже в ближайшее время будут направлены мероприятия по модернизации технологий, обеспечивающие переход к шестому технологическому укладу и минимизацию последствий парниковых выбросов. Основными техническими решениями могут стать освоение потенциала водородной энергетики и технологий иммобилизации или предотвращения образования парниковых паров и газов [6, 7].

Применение водорода в качестве экологически чистого энергоносителя определено как одно из основных направлений устойчивого развития. Однако существуют технические, стоимостные и институциональные проблемы, препятствующие широкому распространению водородной энергетики [8]. Использование методов производства водорода из ископаемого топлива не позволяет исключить образование  $\text{CO}_2$ . «Безуглеродным» способом – электролизом воды – в настоящее время получают менее 4 % водорода.

Пути решения задач получения в промышленных масштабах «зеленого» водорода (в процессе производства которого в окружающую среду не происходит выбросов  $\text{CO}_2$ ) на текущем этапе технического развития не так уж и многочисленны. Один из них – применение энергии атомных и гидроэлектростанций либо поиск экологически чистых альтернативных источников. Другой путь заключается в разработке для действующих водородных производств технологий связывания технического  $\text{CO}_2$ , основанных, например, на использовании реакций Будуара и Сабатье.

В целом, даже будучи освоенной, водородная энергетика встретит трудности, решение которых достаточно проблематично. В настоящее время это вопросы, связанные со взрывопожароопасностью, хранением и транспортированием данного экологически приемлемого энергоносителя.

Таким образом, ближняя и среднесрочная экономические перспективы минимизации последствий техногенного глобального потепления видятся в организации карбонового земледелия и возврата к пасторальным пастбищам.

Расчеты Минэкономразвития Российской Федерации показывают, что выбросы парниковых газов в России составляют 1,58 млрд т  $\text{CO}_2$ -эквивалента в год. При этом потенциал поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$  субъектами лесного и сельского хозяйства России, рассчитанный по различным одобренным Минприроды Российской Федерации методикам, оценивают в 414–730 млн т. Таким образом, до половины выбросов по  $\text{CO}_2$  можно «обнулить» за счет разнообразных лесоклиматических проектов.

Замедлить глобальное потепление можно не только путем сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, но и снижением его присутствия в атмосфере. Эффективный способ, который востребован природой, – поглощение углекислого газа флорой в процессе фотосинтеза и гидросферой в результате поддержания карбонат-гидрокарбонатного равновесия.

Цель работы заключается в изучении возможности снижения концентрации техногенного CO<sub>2</sub> в атмосфере за счет повышения абсорбции атмосферного углерода растениями.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

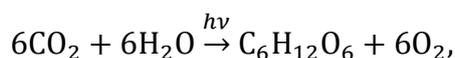
– проанализированы методы борьбы с отрицательным воздействием углеродного следа промышленных производств;

– проведены эксперименты по определению изменений физико-химических параметров воды после воздействия на нее электрофизическим способом;

– изучено влияние полива растений обработанной водой на поглощение CO<sub>2</sub> из окружающей среды и процесс фотосинтеза.

### Методы исследования

Брутто-формула химических реакций фотосинтеза, имеющая следующий вид:



разъясняет с позиций химической науки, что фотосинтез – это процесс образования из углекислого газа и воды глюкозы и кислорода под действием света. При этом некоторые физико-химические параметры воды (водородный показатель (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), осмотическое давление, поверхностное натяжение), определяющие ее свойства, могут быть подвержены управлению.

Для проведения экспериментов по определению физико-химических параметров воды использовали дистиллированную воду, воздействие на которую осуществляли электрофизическим способом с использованием генератора переменного частотно-модулированного потенциала (сигнала) (ПЧМП). ПЧМП имеет средства физического воздействия на материал, которые представляют собой элементы прямого или косвенного приложения к материалу электрического потенциала. Средства приложения электрического потенциала включают источник переменного напряжения. Они изготовлены с возможностью подачи потенциала непосредственно на материал через одиночный электрод или на емкость, в которую помещен материал. В качестве электрода были использованы медные пластины.

ПЧМП представляет собой синусоиду (несущая частота 50 Гц) с наложенными на нее гармониками, генерируемую микросхемами, работающую как триггер. Характеристики сигнала: амплитуда 10÷180 В; диапазон частотной модуляции 10÷12 000 Гц. Устройство обеспечивает свою работу в режиме резонанса напряжений.

Замеры физико-химических показателей воды проводили с помощью прецизионного монитора рН/ОВП/Электропроводности и температуры РН-2613 (Amtast, США). С использованием оптического счетчика SPAD 502 определяли содержание общего хлорофилла. Методики проведения экспериментов описаны в работах [9, 10]. Опыты проводили с использованием дистиллированной воды.

### Результаты и их обсуждение

Эксперименты показали, что воздействие на воду ПЧМП приводит к изменению ее надмолекулярной «архитектуры» и основных физико-химических свойств, что наглядно продемонстрировано в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определения физико-химических показателей воды

Физико-химические показатели воды	Контрольный образец	Образец после электрофизической обработки
pH	6,96	7,23 (+4 %)
ОВП (Red/Ox), мВ	103,0	79,3 (-23 %)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	997,30	996,24 (-0,1 %)
Поверхностное натяжение, $\sigma$ , мН/м	72,13	57,36 (-20 %)
Испарение с поверхности «открытого зеркала» в течение 30 мин, %	67	84 (+25 %)
Осмотическое давление, $\pi_0$ , кПа	34,3	38,9 (+13 %)
Динамическая вязкость, $\mu$ , мПа·с	0,921	0,902 (-2 %)

Примечание: ОВП – окислительно-восстановительный потенциал

Современное представление о механизме фотосинтеза базируется на комплексе сложных био-физико-химических реакций, основную роль в которых играет углекислый газ и вода с учетом определенных значений pH, ОВП, осмотического давления и поверхностного натяжения.

Из классической химии известно, что растворимость  $\text{CO}_2$  в виде гидрокарбонат иона  $\text{HCO}_3^-$  увеличивается с ростом водородного показателя, а ее максимальные значения приходятся на pH воды – 8,4 ÷ 9,2.

Электродонорный потенциал воды, характеризующий ее биологическую активность, увеличивается с уменьшением величины ОВП.

Более высокое осмотическое давление электрофизически обработанной с использованием ПЧМП воды относительно внутри- и межклеточных водных растворов усиливает транспортную производительность вегетативных систем. Здесь стоит отметить, что повышение величины осмотического давления у такой воды открывает еще и возможность создания усовершенствованных объектов нового типа гидрогенерации – осмотических электростанций.

Изменение величины давления насыщенного пара воды в соответствии с известным уравнением Фостер обеспечивает уменьшение ее испаряемости из порозности грунтов (почв), что позволяет снизить расход поливной воды, ориентировочно в два раза.

Визуализированные результаты натуральных экспериментов по изучению влияния воды, подверженной электрофизическому (ПЧМП) воздействию на вегетацию, всхожесть и корнеобразование растений представлены на рис. 1–6.



Рис. 1. Ель, поливаемая водой, не обработанной ПЧМП



Рис. 2. Ель, поливаемая водой, обработанной ПЧМП



Рис. 3. Участок, засеянный шпинатом и поливаемый водой, не обработанной ПЧМП



Рис. 4. Участок, засеянный шпинатом и поливаемый водой, обработанной ПЧМП



Рис. 5. Корнеобразование на черенках тополя в воде, не обработанной ПЧМП



Рис. 6. Корнеобразование на черенках тополя в воде, обработанной ПЧМП

На базе Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений проводился эксперимент по выращиванию лука (*Allium cepa* L.) сорта «Штутгарт Ризен» в течение 30 сут. В листьях-перьях определяли общее содержание хлорофилла, играющего активнейшую роль в процессах фотосинтеза. Результаты, подтверждающие эффективность ПЧМП-обработки поливной воды, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Общее содержание хлорофилла в листьях-перьях лука по окончании эксперимента

Вариант	Содержание хлорофилла, усл.ед. SPAD	Содержание хлорофилла, мг/г
Образец 1 – полив дистиллированной водой	39,3	0,31
Образец 2 – полив дистиллированной водой после электрофизической обработки	56,3	0,40

Результаты деляночных экспериментов, проведенных во Вьетнаме [9], показали, что электрофизически обработанная вода в рисовых чеках интенсифицирует процессы интегрального влияния на весь микробиоценоз, что и проявляется в изменении морфометрических показателей растений риса (рис. 7).

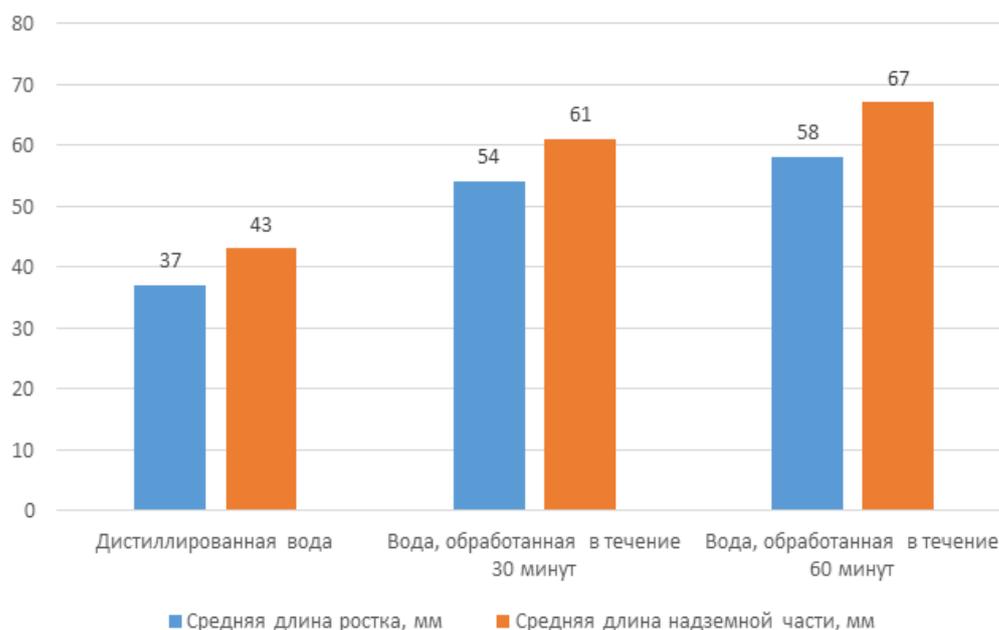


Рис. 7. Влияние воздействия обработки воды на рост растений риса в фазе кущения

Как видно из рис. 8 (а) и 8 (б), продуктивность фотосинтеза риса, поливаемого обработанной с помощью ПЧМП водой, была больше на 4,6÷11,6 %, чем у растений для контрольного опыта (полив необработанной водой). У растений овса в экспериментальных вариантах продуктивность фотосинтеза была больше на 7,2÷9,2 %, чем у растений в контроле.

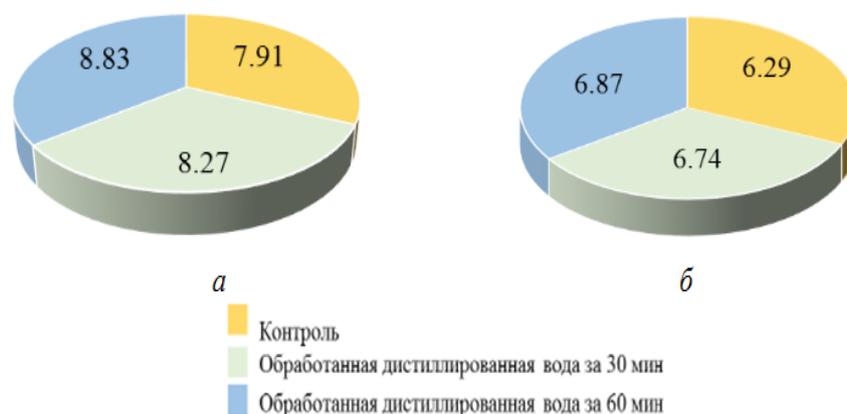


Рис. 8. Чистая продуктивность фотосинтеза растений: а – риса; б – овса (мг/см<sup>2</sup>/сут)

За период полного вегетационного цикла при выполнении полевых экспериментов на территории республики Вьетнам (район Нгашон) увеличение практической урожайности риса составило от 6 % до 15 %, по сравнению с контрольным вариантом.

Процесс связывания CO<sub>2</sub> осуществляется не только хлоропластами, но и корневой системой. Принципиальные механизмы проявлений положительного эффекта электрофизической обработки поливной воды в корневой зоне, по мнению авторов, включают (рис. 9):

– физический эффект – улучшение структуры почвы в виде развития порозности как пространства для иммобилизации микрофлоры и «депо» для влаги и воздуха в результате роста корневой системы;

– химический эффект – увеличение концентрации гидрокарбонат иона  $\text{HCO}_3^-$  в зоне корневой системы за счет повышения растворяющей способности электрофизически обработанной воды, взаимодействующей с водорастворимыми карбонатами кальция и магния почвы.

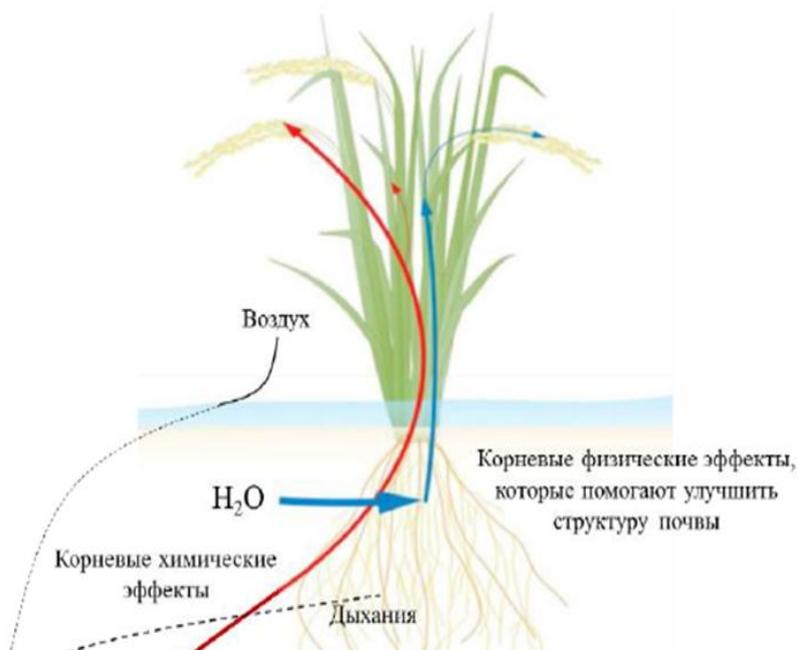


Рис. 9. Концептуальная модель принципиального механизма, которая ведет к ассимиляции  $\text{CO}_2$

Возможный спектр электрофизического воздействия на вещество и потенциальные сферы его практического применения представлены в табл. 3.

Таблица 3. Прогнозируемые результаты электрофизического воздействия на вещество и возможные сферы их применения

Электрофизическое воздействие (ПЧМП) на:	
Полярные вещества (водородные связи +)	Неполярные вещества (водородные связи -)
W когезии ↓ W адгезии ↑	W когезии ↑ W адгезии ↓
Коллигативные свойства	
Поверхностное натяжение ↓	Поверхностное натяжение ↑
Показатель преломления ↓	Показатель преломления ↑
Скорость испарения ↑	Скорость испарения ↓
Вероятные прикладные сферы применения	
Сельское хозяйство (интенсификация процессов фотосинтеза, вегетации, всхожести, корнеобразования и пр.)	Транспорт и хранение нефтепродуктов (обеспечение энергоресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности)
Медицина (электрофизическая регуляция дыхания и кровообращения, производство ранозаживляющих, болеутоляющих и косметических средств)	Взрывопожаробезопасность (методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности)

## Заключение

Применение электрофизической обработки с помощью ПЧМП поливной воды с целью снижения ее расхода позволяет в 1,3 раза увеличить абсорбцию растениями  $\text{CO}_2$  в процессе фотосинтеза, при этом происходит повышение урожайности сельскохозяйственных культур в среднем на 8,2 %. Получаемый комплекс предпочтений формирует значительный импульс для развития карбонового земледелия в Российской Федерации.

Внедрение предложенного способа электрофизической обработки поливной воды отвечает мероприятиям по реализации целевого (интенсивного) сценария Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р, а именно:

- использование прогрессивных агрохимических методов (регенеративных технологий), повышающих урожайность и способствующих более интенсивному поглощению атмосферного диоксида углерода;

- реализация климатических проектов, обеспечивающих развитие растительной инфраструктуры и проведение мероприятий по уходу за лесными и сельско-хозяйственными культурами для увеличения их поглощающей способности по диоксиду углерода.

Неоспоримым доказательством перспективности предложенных технических решений является организация в Северо-Западном федеральном округе уже двух карбоновых полигонов, входящих в единую всероссийскую сеть, создаваемую по всей стране с 2021 г. по пилотному проекту Минобрнауки Российской Федерации. На территориях с уникальными экосистемами будут изучать процессы выделения и поглощения климатически активных паров и газов. В проекте участвуют не только ведущие вузы и научные организации, но и промышленные предприятия, бизнес-структуры, международные партнеры.

Помимо снижения углеродо- и метаноинтенсивности в производственных процессах целесообразно развивать природные проекты улавливания  $\text{CO}_2$  с целью предложения потребителям продуктов с компенсированными выбросами.

### Список источников

1. Sgouridis S., Csala D., Bardi U. The sower's way: quantifying the narrowing netenergy pathways to a global energy transition // *Environmental research letters*. 2016. Vol. 11. P. 094009. DOI: 10.1088/1748-9326/11/9/094009.
2. García-Olivares A., Solé J., Osychenko O. Transportation in a 100 % renewable energy system // *Energy conversion and management*. 2018. Vol. 158. P. 266–285. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.12.053.
3. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / R.K. Pachauri [et al.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Front\\_matters.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf). (accessed: 18.03.2021).
4. Can crop residues provide fuel for future transport? Limited global residue bioethanol potentials and large associated land, water and carbon footprints / B. Holmatov [et al.] // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2021. Vol. 149. P.111417. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111417.
5. Global Energy Review:  $\text{CO}_2$  Emissions in 2020. URL: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> (accessed: 17.02.2021).
6. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее // *Российский химический журнал*. 2006. № 6. С. 5–18.
7. Environmental and energy life cycle analyses of passenger vehicle systems using fossil fuel-derived hydrogen / S. Hienuki [et al.] // *International journal of hydrogen energy*. 2021. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.135.

8. Risk identification for the introduction of advanced science and technology: A case study of a hydrogen energy system for smooth social implementation / S. Hienuki [et al.] // *International journal of hydrogen energy*. 2020. Vol. 45. Iss. 30. P. 15027–15040.

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.234.

9. Май Ч.Б. Влияние переменного электрического поля на физико-химические свойства воды в реакции фотосинтеза: дис. ... канд. хим. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 125 с.

10. Оценка применения биопрепарата комплексного действия Агрофил и полигуматов сапропеля на интенсификацию физиологических процессов *allium* сера L. при росте в омагниченной гидрокультуре / Н.И. Воробьев [и др.] // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 3. С. 38–44.

## References

1. Sgouridis S, Csala D, Bardi U. The sower's way: quantifying the narrowing netenergy pathways to a global energy transition // *Environmental research letters*. 2016. Vol. 11. R. 094009. DOI: 10.1088/1748-9326/11/9/094009.

2. García-Olivares A. , Solé J., Osychenko O. Transportation in a 100 % renewable energy system // *Energy conversion and management*. 2018. Vol. 158. P. 266–285.

DOI: 10.1016/j.enconman.2017.12.053.

3. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / R.K. Pachauri [et al.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Front\\_matters.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf). (accessed: 18 March 2021).

4. Can crop residues provide fuel for future transport? Limited global residue bioethanol potentials and large associated land, water and carbon footprints / V. Holmatov [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 149. R.111417. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111417.

5. Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020. URL: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> (accessed: 17 February 2021).

6. Tarasov B.P., Lotockij M.V. Vodorodnaya energetika: proshloe, nastoyashchee, vidy na budushchee // *Rossijskij himicheskij zhurnal*. 2006. № 6. S. 5–18.

7. Environmental and energy life cycle analyses of passenger vehicle systems using fossil fuel-derived hydrogen / S. Hienuki [et al.] // *International journal of hydrogen energy*. 2021.

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.135.

8. Risk identification for the introduction of advanced science and technology: A case study of a hydrogen energy system for smooth social implementation / S. Hienuki [et al.] // *International journal of hydrogen energy*. 2020. Vol. 45. Iss. 30. R. 15027–15040.

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.234.

9. Maj CH.B. Vliyanie peremennogo elektricheskogo polya na fiziko-himicheskie svojstva vody v reakcii fotosinteza: dis. ... kand. him. nauk. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 125 s.

10. Ocenka primeneniya biopreparata kompleksnogo dejstviya Agrofil i poligumатов сапропеля на интенсификацию физиологических процессов *allium* сера L. при росте в омагниченной гидрокультуре / Н.И. Воробьев [и др.] // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 3. С. 38–44.

*Информация об авторах:*

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

**Людмила Анатольевна Королева**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: [koroleva.l@igps.ru](mailto:koroleva.l@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

*Information about the authors:*

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

**Lyudmila A. Koroleva**, professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: [koroleva.l@igps.ru](mailto:koroleva.l@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 04.04.2022; одобрена после рецензирования: 18.04.2022; принята к публикации: 21.04.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 04.04.2022; approved after review: 18.04.2022; accepted for publication: 21.04.2022

УДК 502.6

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ, СВЯЗАННОЙ С РИСКОМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАТОРНЫХ НАВОДНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, И ПУТИ ЕЕ РАЗРЕШЕНИЯ**

**Виктор Николаевич Яцуценко.**

**Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Москва, Россия.**

**Александр Иванович Мазаник**✉.

**Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия**

✉[agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье на основе анализа обширных статистических данных сформулирована проблемная ситуация, заключающаяся в высоком риске возникновения заторных наводнений на значительной территории Российской Федерации. Определены возможные направления разрешения выявленной проблемной ситуации, реализация каждого из которых требует значительных финансовых, людских и других ресурсов. Определено противоречие в рассматриваемой предметной области и предложен подход к его разрешению, основанный на заблаговременном планировании применения сил и средств МЧС России для осуществления мониторинга складывающейся паводковой обстановки. Показано, что повышение эффективности применения авиации МЧС России, осуществляющей мониторинг паводковой обстановки, возможно за счет решения следующих задач: получения достоверного прогноза сроков вскрытия рек в период весеннего половодья; обоснования рациональных способов применения авиации МЧС России в период прохождения весеннего половодья. На основе предложенной постановки задачи сделан вывод о том, что ее решение позволит минимизировать риск возникновения чрезвычайных ситуаций в период прохождения весеннего половодья.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, подвижки льда, вскрытие льда, вскрытие реки, способ применения авиации МЧС России, затороопасные участки, место базирования вертолета, маршрут облета затороопасных участков, паводковая обстановка

**Для цитирования:** Яцуценко В.Н., Мазаник А.И. Анализ проблемной ситуации предметной области, связанной с риском возникновения заторных наводнений на территории Российской Федерации, и пути ее разрешения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 80–87.

## **ANALYSIS OF THE PROBLEM SITUATION OF THE SUBJECT AREA ASSOCIATED WITH THE RISK OF JAM FLOODING ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THE WAYS TO RESOLVE IT**

**Viktor N. Yatsutsenko.**

**Ministry of Russian Federation for civil defence, emergencies and elimination of consequences of natural disasters, Moscow, Russia.**

**Alexander I. Mazanik**✉.

**Civil defense academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**

✉[agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Annotation.* The article formulates a problematic situation based on the analysis of extensive statistical data. It is expressed in the high risk of congestion flooding on a large territory

of the Russian Federation. Possible directions for resolving the identified problem situations are identified, the implementation of each requires significant financial, human and other resources. The discrepancy in the subject area under consideration is determined and an approach to its resolution is proposed. It is based on the advance planning of the use of forces and means of the EMERCOM of Russia to monitor the flood situations. Improving the efficiency of the EMERCOM aviation, which monitors the flood situation, is possible by performing such tasks as: obtaining reliable forecast data on the timing of opening rivers during the spring flood; substantiation of effective ways of using EMERCOM aviation during the spring flood. Based on this, it is concluded that solving the problem will allow minimizing the risk of an emergency during the spring flood.

*Keywords:* emergency, ice shifts, ice breaking, opening the river, way of using EMERCOM of Russia aviation, jam-prone areas, helicopter location, overflight route of jam-prone areas, flood situation

**For citation:** Yatsutsenko V.N., Mazanik A.I. Analysis of the problem situation of the subject area associated with the risk of jam flooding on the territory of the Russian Federation and the ways to resolve it // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere*. 2022. № 2 (62). P. 80–87.

### **Актуальность исследуемой области**

В рамках осуществления мероприятий по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера, связанных с паводками, актуальными являются вопросы, связанные с мониторингом освобождения рек ото льда на территории Российской Федерации, а именно, определение затороопасных участков с целью осуществления превентивных мероприятий, направленных на недопущение разлива рек на населенные пункты.

Большое многообразие терминов, таких как заторы, зажоры, шуга, а также сложность процессов образования и разрушения льда сигнализирует о целесообразности более детального анализа предметной области с использованием инструментов системного анализа и принципов исследования операций.

Необходимо отметить, что большинство рек России несколько месяцев в году покрыты льдом. В периоды образования ледяного покрова и при вскрытии рек часто из-за зажоров и заторов возникают опасные подъемы уровня воды, которые могут приводить к наводнениям. Особенно опасны заторы на реках, течение которых направлено с юга на север. К таким рекам, в частности, относятся реки бассейнов Лены, Енисея и Северной Двины.

### **Анализ статистических данных**

Если рассматривать указанную предметную область в контексте теории принятия решений и системного анализа, то необходимо в первую очередь определиться с набором управляемых и неуправляемых характеристик, определяющих систему мониторинга затороопасных участков, как сложную организационно-техническую систему. Основой мониторинга и прогнозирования ЧС являются процессы анализа рисков и последствий от возникающих ЧС. Задачи МЧС России в первую очередь направлены на снижение объема негативных факторов и снижение показателей последствий происходящих ЧС, так как это преимущественно связано с человеческими жизнями, количеством пострадавших и естественно ущербом от возникновения ЧС.

Ущерб от заторных наводнений может достигать колоссальных значений. Например, на реке Лена в 2001 г. в результате затора практически полностью затопило г. Ленск, затонул весь речной флот г. Ленска, были эвакуированы 24 тыс. чел., ущерб составил более 7 млрд руб. Необходимо отметить, что почти все наводнения на р. Лена носят заторный характер. В 2018 г. на территории 15 муниципальных образований в Республике Саха (Якутия) в 45 населенных

пунктах произошло подтопление жилых домов с населением более 5,1 тыс. чел., в том числе более 1 тыс. детей. Общая площадь зоны ЧС составила более 19,6 тыс. га. Временно были отселены свыше 4,8 тыс. чел. и эвакуировано более 4,5 тыс. голов скота [1].

17 апреля 2016 г. из-за образования ледового затора на р. Сухона на территории Вологодской области сложилась ЧС, в результате которой в зону подтопления попали 13 городских и сельских поселений, было подтоплено 2 674 придомовых территории с населением свыше 8 тыс. чел.

Весеннее половодье в 2016 г. на всей территории Российской Федерации сопровождалось образованием заторов льда. В 33 субъектах оказались подтопленными 342 населенных пункта, 8 социально значимых объектов, более 12,6 тыс. частных жилых домов и придворовых территорий с населением, превышающим 19 тыс. чел., в том числе более 5 тыс. детей. Были эвакуированы более 3,4 тыс. чел., в том числе около одной тысячи детей. В пункты временного размещения были отселены 906 человек, из них 292 ребенка. Всего к ликвидации последствий весеннего половодья привлекалась группировка сил и средств в составе более 680 тыс. чел. и 150 тыс. ед. техники, в том числе от МЧС России более 188 тыс. чел. и свыше 27 тыс. ед. техники [2].

### Методы исследования

Для последующего изучения системы мониторинга затороопасных участков необходимо определиться с методами научного исследования. При анализе сроков вскрытия рек, определения затороопасных участков используются методы системного анализа и синтеза, общей теории систем и теории принятия решений. Вторая часть исследования направлена, прежде всего, непосредственно на мониторинг затороопасных участков. При этом используются методы оптимизации, базирующиеся на методах линейного, нелинейного и динамического программирования.

МЧС России в своей повседневной и оперативной деятельности использует прогнозы наступления гидрологических опасных явлений и прогнозы метеорологической обстановки для оценки состояния водного объекта, его угрозы населению и территории. Прогнозные оценки развития паводковой обстановки составляют информационно-аналитическую базу, предназначенную для поддержки принятия управленческих решений по планированию применения группировки сил и средств.

В период прохождения весеннего половодья для своевременного выявления опасных явлений авиацией МЧС России проводится авиационная разведка паводкоопасных участков [3]. По результатам мониторинга проводятся превентивные мероприятия для недопущения негативного воздействия паводковых вод на объекты инфраструктуры и население.

В целях обеспечения безаварийного прохождения весеннего половодья в 2021 г. проведены подрывы льда на 156 участках, в ходе которых израсходовано более 29 т взрывчатых веществ, пропилено более 383 км льда, зачернено свыше 22 км<sup>2</sup> льда, ледоколами разрушено более 567 км ледового покрова [4].

### Результаты исследования

На основе проведенного анализа может быть сформулирована проблемная ситуация, заключающаяся в высоком риске возникновения заторных наводнений на значительной территории Российской Федерации, что приводит к негативным последствиям, связанным со значительным ущербом населению, экономике и экосистеме.

Проведенный анализ показал, что возможными направлениями разрешения проблемной ситуации являются:

- проведение заблаговременных мероприятий, направленных на изменение морфологических параметров русел рек, в том числе расширение и выпрямление отдельных участков рек, углубление их дна и т.д.;

- усиление группировки МЧС России для проведения оперативных мероприятий, направленных на разрушение ледяного покрова на затороопасных участках [5];

– перемещение населенных пунктов, объектов инфраструктуры, потенциально-опасных объектов в районы, расположенные вне зон возможных затоплений.

Следует отметить, что для реализации предложенных направлений разрешения проблемной ситуации потребуются дополнительные существенные финансовые, людские, временные и другие ресурсы.

На основе анализа возможных направлений разрешения проблемной ситуации может быть сформулировано следующее противоречие в практике:

– с одной стороны, реализация возможных направлений разрешения выявленной проблемной ситуации позволит снизить риск возникновения заторных наводнений в период весеннего половодья;

– с другой стороны, выполнение мероприятий, в соответствии с этими направлениями, потребует значительных финансовых, материальных, людских, временных и других ресурсов, объем которых ограничен.

### **Возможные решения проблемных вопросов**

Разрешение сформулированного противоречия возможно на основе повышения эффективности заблаговременного планирования применения сил и средств МЧС России для осуществления мониторинга складывающейся паводковой обстановки с учетом существующих ограничений на выделяемые финансовые, материальные и людские ресурсы.

Необходимо отметить, что важнейшую роль в решении задач, стоящих перед МЧС России, играет авиация [6]. Основные задачи авиации МЧС России делятся на три категории [3]:

– авиационно-спасательные работы, к которым относится поиск потерпевших, наведение наземных поисково-спасательных сил на объекты поиска, а также десантирование спасательных групп и грузов;

– специальные авиационные работы, которые включают в себя тушение пожаров, ведение разведки и мониторинга местности, обработку объектов химическими и биологическими препаратами, ликвидация ледовых заторов;

– воздушные перевозки: доставка в зоны ЧС сил и средств МЧС России, грузов гуманитарной помощи и материально-технических ресурсов; эвакуация населения, материальных и культурных ценностей.

Для авиационного обеспечения задач, возложенных на МЧС России в 2022 г. (с учетом выполнения капитального ремонта), в готовности к применению находится 51 воздушное судно, в том числе:

10 самолетов: Бе-200ЧС – 1 ед.; Ил-76 – 4 ед.; Ан-74 – 2 ед.; RRJ-95LR-100 – 2 ед.; Ан-148 – 1 ед;

41 вертолет: Ми-26 – 2 ед.; Ми-8 – 28 ед.; Ка-32 – 6 ед.; Вк-117 – 1 ед.; Во-105 – 3 ед.; Ансат – 1 ед.

Кроме того, в готовности к применению находятся дистанционные вертолетные системы уничтожения ледяных заторов с фюзеляжным раскладчиком зарядов в количестве 14 ед.

МЧС России имеет в своем составе 5 авиационно-спасательных центров (АСЦ) и 1 авиационно-спасательную компанию (АСК), в которых воздушные суда распределяются следующим образом:

– Дальневосточный федеральный округ – Хабаровский АСЦ МЧС России (1 самолет, 9 вертолетов);

– Сибирский, Уральский федеральные округа – Красноярский АСЦ МЧС России (2 самолета, 8 вертолетов);

– Приволжский, Центральный федеральные округа – Жуковский АСЦ МЧС России (10 вертолетов), АСК МЧС России (7 самолетов);

– Южный, Северо-Кавказский федеральные округа – Южный АСЦ МЧС России (10 вертолетов);

– Северо-Западный федеральный округ – Северо-Западный АСЦ МЧС России (4 вертолета).

В паводкоопасный период авиация МЧС России применяется для ведения воздушной разведки гидрологической обстановки, доставки оперативных групп, которые осуществляют мониторинг складывающейся ситуации и проводят взрывные работы, а также для ликвидации ледовых заторов в естественных и искусственных водоемах. Статистика по применению воздушных судов в паводкоопасный период 2021 г. приведена в таблице.

Таблица. Сведения о налете по реагированию на паводки для различных типов воздушных судов в 2021 г.

№ п/п	Воздушное судно		Количество полетов	Налет
	тип	количество		
1	Ми-8	14	285	296:37
2	Ка-32	1	3	4:40
3	Ми-26	1	6	11:55
ИТОГО		16	294	313:12

В целях подготовки к противопаводковым мероприятиям ежегодно формируется «План применения авиации МЧС России в период прохождения весеннего половодья на территории Российской Федерации». По результатам анализа статистики наводнений в плане выделено 15 зон мониторинга, охватывающих наиболее опасные участки рек. Планируемые места базирования и дополнительного дежурства воздушных судов определяются в соответствии с запасами топлива на аэродромах (вертолетных площадках), а также запросами территориальных органов МЧС России.

Повышение эффективности применения авиации МЧС России, осуществляющей мониторинг паводковой обстановки в период весеннего половодья, возможно за счет решения следующих задач:

- получения достоверного прогноза сроков вскрытия рек в период весеннего половодья [7];
- обоснования рациональных способов применения авиации МЧС России в период прохождения весеннего половодья.

Необходимо отметить, что процессу вскрытия реки сопутствуют подвижки льда, прогнозирование которых позволяет проводить раннюю оценку формирования заторных явлений [8]. Прогнозирование осуществляется для каждой зоны мониторинга, включающей бассейны одной или нескольких рек. Прогноз даты вскрытия реки осуществляется для конкретных гидропостов, расположенных вдоль русла реки на определенном расстоянии друг от друга в заданной зоне мониторинга. Прогноз даты вскрытия реки в районе конкретного гидропоста позволяет определить время начала мониторинга соответствующей территории, входящей в определенную (одну из 15) зону. Число территорий, входящих в конкретную зону, зависит от протяженности бассейна и количества гидропостов, расположенных в границах конкретной зоны.

Площадь конкретной территории определяется расстоянием между соседними гидропостами и шириной бассейна реки. Время проведения мониторинга ледовых заторов на данной территории зависит от ряда факторов, основными из которых являются: точность даты вскрытия реки в районе конкретного гидропоста, скорость течения реки, расстояние между соседними гидропостами. Каждая территория, входящая в конкретную зону мониторинга, может быть охарактеризована рядом показателей, которые определяют величину риска возникновения ЧС [9], связанную с опасным подъемом уровня воды. К таким показателям могут быть отнесены: количество затороопасных участков, вероятность возникновения затора на конкретном участке, величина ущерба вследствие образования затора на конкретном участке.

## Постановка задачи

Анализ возможных сценариев развития паводкоопасной обстановки позволил определить факторы, влияющие на даты вскрытия рек. Эти факторы в значительной мере определяют характеристики ледового покрытия и могут быть классифицированы в следующие множества [10]:

- факторы, оказывающие механическое воздействие;
- факторы, определяющие тепловое и радиационное воздействие;
- факторы, характеризующие морфологию русла реки;
- факторы, учитывающие характеристики льда и снега.

Следует отметить, что при моделировании подвижек льда и вскрытия реки необходимо учитывать те факторы, которые оказывают статистически значимое влияние на исследуемые процессы.

Как было отмечено выше, эффективность мониторинга затороопасных участков зависит от способа применения авиации МЧС России на конкретной территории в период прохождения весеннего половодья. Каждая территория характеризуется:

- множеством возможных мест базирования вертолетов, включающих вертолетную площадку, пункт заправки и место для отдыха экипажа;
- множеством возможных маршрутов движения вертолета для облета затороопасных участков. При этом начало и завершение маршрута облета определяется выбранным заранее местом базирования вертолета.

Выбор конкретного варианта с учетом указанных множеств определяет способ применения авиации МЧС России на конкретной территории. Под рациональным способом применения авиации МЧС России на конкретной территории следует понимать выбор таких места базирования и маршрута облета затороопасных участков, на которых суммарный прогнозируемый риск возникновения ЧС будет максимальным.

Следует отметить, что продолжительность временного интервала периодического облета конкретной территории определяется разницей между датами вскрытия реки на соседних гидропостах, расположенных в пределах верхней и нижней границы данной территории и погрешностью оценок этих дат.

Таким образом, становится актуальной следующая задача.

Для заданных:

- территории, входящей в конкретную зону, включающей бассейны одной или нескольких рек;
- перечня возможных мест базирования вертолетов на рассматриваемой территории;
- множества затороопасных участков, расположенных на заданной территории;
- статистических оценок вероятности возникновения ЧС, связанной с опасным подъемом уровня воды, на каждом затороопасном участке;
- значений возможного ущерба при возникновении ЧС на каждом затороопасном участке;
- необходимости определить рациональный способ применения вертолета, при реализации которого суммарный прогнозируемый риск возникновения ЧС на затороопасных участках, вошедших в маршрут облета, будет максимальным.

В качестве ограничений при решении задачи будут выступать:

- количество вертолетов, привлекаемых для мониторинга затороопасных участков, расположенных в пределах рассматриваемой территории;
- объем горюче-смазочных материалов, выделенных для эксплуатации авиации в период мониторинга затороопасных участков;
- нормы, определяющие режим труда и отдыха летных экипажей.

В качестве исходных данных для решения сформулированной задачи также должны быть заданы даты вскрытия реки на соседних гидропостах, расположенных в пределах верхней и нижней границы рассматриваемой территории. Данные величины могут быть получены на основе применения методов прогнозирования.

## Заключение

Сформулированная задача предопределяет необходимость разработки:

– модели прогнозирования даты вскрытия реки в районе конкретного гидропоста в зависимости от факторов, определяющих интенсивность механического, теплового и радиационного воздействия на ледяной покров, а также учитывающих морфологию русла реки и характеристики льда и снега;

– методики обоснования рационального способа применения авиации МЧС России на конкретной территории в период прохождения весеннего половодья с учетом факторов, влияющих на риск возникновения ЧС, вызванной с подъемом уровня воды.

Таким образом, решение сформулированной в статье новой задачи позволит на основе прогнозирования дат вскрытия реки и выбора рационального способа применения авиации МЧС России минимизировать риск возникновения ЧС в период прохождения весеннего половодья.

## Список источников

1. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 году. URL: [https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/MUUmnuX8f.pdf](https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/MUUmnuX8f.pdf) (дата обращения: 06.05.2022).

2. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2016 году. URL: [https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/MUUmnuX6f.pdf](https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/MUUmnuX6f.pdf) (дата обращения: 06.05.2022).

3. Об утверждении Порядка организации (несения) дежурств экипажей и воздушных судов Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 13 окт. 2020 г. № 765. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

4. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2016 году. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (дата обращения: 06.05.2022).

5. Тавризов В.М. Взрывание льда. М.: Недра, 1986. 135 с.

6. Нигметов Г.М., Пчелкин В.И., Филатов Ю.А. Ледовые заторы на реках Российской Федерации, пути и способы борьбы с ними // Технологии гражданской безопасности.

7. Бузин В.А. Факторы образования и прогноз заторов льда на реках Севера европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 63–74.

8. Ноговицын Д.Д., Кильмянинов В.В. К вопросу о прогнозировании заторных явлений на р. Лене // Наука и техника в Якутии. 2007. № 1 (12). С. 19–24.

9. Морозова О.В., Тимофеева С.С. Риски чрезвычайных ситуаций, обусловленных заторами, и современные технологии их минимизации // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 428–432.

10. О проблемах моделирования процесса вскрытия льда на реках в интересах оперативного реагирования МЧС России / В.Н. Яцуценко [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (49). С. 3–14.

## References

1. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennoho haraktera v 2018 godu. URL: [https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/MUUmnuX8f.pdf](https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/MUUmnuX8f.pdf) (data obrashcheniya: 06.05.2022).

2. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennoho haraktera v 2016 godu.

URL: [https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document\\_file/MUUmnuX6f.pdf](https://static.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/MUUmnuX6f.pdf) (data obrashcheniya: 06.05.2022).

3. Ob utverzhdenii Poryadka organizatsii (neseniya) dezhurstv ekipazhej i vozdušnyh sudov Ministerstva Rossijskoj Federatsii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situatsiyam i likvidatsii posledstvij stihijnyh bedstvij: prikaz MCHS Rossii ot 13 okt. 2020 g. № 765. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

4. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federatsii ot chrezvychajnyh situatsij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera v 2016 godu.

URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (data obrashcheniya: 06.05.2022).

5. Tavrizov V.M. Vzryvanie l'da. M.: Nedra, 1986. 135 s.

6. Nigmatov G.M., Pchelkin V.I., Filatov Yu.A. Ledovye zatory na rekah Rossijskoj Federatsii, puti i sposoby bor'by s nimi // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti.

7. Buzin V.A. Faktory obrazovaniya i prognoz zatorov l'da na rekah Severa evropejskoj territorii Rossii // Meteorologiya i gidrologiya. 2010. № 4. S. 63–74.

8. Nogovicyn D.D., Kil'myaninov V.V. K voprosu o prognozirovanii zatornyh yavlenij na r. Lene // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2007. № 1 (12). S. 19–24.

9. Morozova O.V., Timofeeva S.S. Riski chrezvychajnyh situatsij, obuslovlennyh zatorami, i sovremennye tekhnologii ih minimizatsii // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 1. S. 428–432.

10. O problemah modelirovaniya processa vskrytiya l'da na rekah v interesah operativnogo reagirovaniya MCHS Rossii / V.N. Yacucenko [i dr.] // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2021. № 2 (49). S. 3–14.

*Информация об авторах:*

**Виктор Николаевич Яцуценко**, заместитель министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (121357, Москва, ул. Ватутина, д. 1), e-mail: [info@mchs.gov.ru](mailto:info@mchs.gov.ru)

**Александр Иванович Мазаник**, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г.о. Химки, мкр. Новогорск), доктор военных наук, профессор, e-mail: [agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

*Information about the authors:*

**Viktor N. Yatsutsenko**, deputy minister of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters (121357, Moscow, Vatutina str., 1), e-mail: [info@mchs.gov.ru](mailto:info@mchs.gov.ru)

**Alexander I. Mazanik**, chief researcher at the research center of the Academy of civil protection of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk), doctor of military sciences, professor, e-mail: [agz.u.s.@yandex.ru](mailto:agz.u.s.@yandex.ru)

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 11.05.2022; одобрена после рецензирования: 18.05.2022; принята к публикации: 21.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 11.05.2022; approved after review: 18.05.2022; accepted for publication: 21.05.2022

УДК 614.841:504.3.054:656.084

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА НА КОМПЛЕКСНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Владимир Николаевич Ложкин**<sup>✉</sup>.

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

<sup>✉</sup>[vnlojkin@yandex.ru](mailto:vnlojkin@yandex.ru)

*Аннотация.* Исследована связь загрязнения воздуха поллютантами торфяного пожара с опасными факторами их воздействия на участников дорожного движения. Установлено, что задымленность воздуха от пожара способна достигать критических значений концентраций поллютантов в отношении рефлекторных реакций и ослабления дальности видимости для водителей. Эти комплексные показатели опасности для автотранспортного движения приводят к повышению количества дорожно-транспортных происшествий. Влияние дымового смога горящего торфяника особенно опасно ослаблением рефлекторных реакций на дорожную ситуацию у пожилых водителей, страдающих респираторными и сердечно-сосудистыми хроническими заболеваниями сердца и легких, и при сокращении видимости менее 50 м. При затяжных во времени критически неблагоприятных метеорологических аномальных условиях (отсутствие ветровой нагрузки, приземные инверсии температуры по вертикали), подобно оптически плотным туманам, аэрозольный смог от горящего торфяника способен парализовать движение автомобилей на дорогах, – приводить к «транспортным коллапсам» и ощутимым экономическим и социальным ущербам.

*Ключевые слова:* дорога, торфяной пожар, дым, водитель, ослабление реакции и дальности видимости, безопасность движения

**Для цитирования:** Ложкин В.Н. Исследование влияния торфяного пожара на комплексную безопасность автотранспортного движения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 88–93.

## **STUDY OF THE IMPACT OF PEAT FIRE ON THE INTEGRATED SAFETY OF ROAD TRAFFIC**

**Vladimir N. Lozhkin.**

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

*Annotation:* The relationship between air pollution by peat fire pollutants and dangerous factors of their impact on road users has been studied. It has been established that the smoke content of air from a fire can reach critical values of pollutant concentrations in relation to reflex reactions and weakening of the visibility range for drivers. These composite hazard indicators for road traffic lead to an increase in road traffic accidents. The effect of smoke smog from a burning peat bog is especially dangerous due to the weakening of reflex reactions to the traffic situation in older drivers suffering from respiratory and cardiovascular chronic diseases of the heart and lungs, and when the visibility range is reduced to less than 50 m. Under prolonged critically unfavorable meteorological anomalous conditions (lack of wind load, surface temperature inversions along the vertical), like optically dense fogs, aerosol smog from a burning peat bog can paralyze the movement of cars on the roads – lead to «transport collapses» and tangible economic and social damages.

*Keywords:* road, peat fire, smoke, driver, weakening of response and visibility range, traffic safety

**For citation:** Lozhkin V.N. Study of the impact of peat fire on the integrated safety of road traffic // Problems of risk management in the technosphere = Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). P. 88–93.

## **Введение. Состояние проблемы**

В Российской Федерации и странах мирового сообщества пожары на торфяных болотах наносят колоссальный ущерб здоровью и экономическому благополучию населения [1–3]. Проблема связана с комплексной пожарной, промышленной и дорожно-транспортной опасностью дымового смога, насыщенного угарным газом CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> [1, 3], который, ослабляя токсическим воздействием рефлекторные реакции на дорожную обстановку [4] и уменьшая дальность видимости дорожного полотна водителями, приводит к резкому повышению риска дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 3–5]. При затяжных во времени метеорологических аномалиях, подобно оптически плотным туманам, аэрозольный смог от горящего торфяника способен парализовать движение автомобилей на дорогах, приводить к «транспортным коллапсам» [5].

Наибольшую опасность для водителей в составе дымового смога представляют угарный газ CO и твердые частицы аэрозоля (сажи) PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) более опасными являются частицы PM<sub>2.5</sub> из-за их высокой проникающей способности через легкие в кровотоки внутренних органов людей [1, 5].

Организация дорожной безопасности автотранспортного процесса предполагает предъявление к водителям особых требований к текущим психофизическому состоянию и самочувствию, от которых зависят быстрота принятия правильного решения на дороге и адекватная реакция на дорожные опасности. По изысканиям испанских исследователей [4], в которых было задействовано около 1 200 водителей, оказалось, что самыми распространенными типами недомогания, нарушающими состояние здоровья водителей и непосредственно с ними связанное ослабление психомоторной реакции на опасные дорожные ситуации, являются: утомляемость, раздражение, тяга ко сну, боли в голове, респираторные недомогания. Действие отравляющих веществ торфяного пожара, очевидно, скажется на состоянии их здоровья, приведет к снижению работоспособности, реакции на опасности и, как следствие, увеличению риска попасть в ДТП.

Изучение состояния проблемы показало, что в комплексе факторов уменьшения дальности видения на дороге, вместе с ослаблением психомоторной реакции, задача воздействия торфяного пожара на безопасность дорожного движения не решалась. Ее комплексное исследование явилось целью настоящей работы.

## **Методика и результаты исследования**

Для прогнозирования, путем расчета эмиссии и диффузии в атмосфере поллютантов (CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) от горящего болота и оценки их концентраций непосредственно на проблемных участках автомобильной магистрали, использовался подход (модель «источник-рецептор») Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [6] и реализующий его нормативный документ «Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», зарегистрированный в Минюсте Российской Федерации [7]. Достоверность такого подхода обоснована тем, что исследуемый источник (горящее болото торфяное) стилизовался стандартной моделью площадного источника, эмитирующего в окружающую среду относительно холодные дымовые газы [5], для которого в ходе многолетних авторских исследований достигались требуемые сходимости расчетов и измерений концентраций поллютантов в сопоставимых условиях [8].

Для сценарного расчетного прогнозирования развития опасной дорожно-транспортной ситуации на относительно большие расстояния (50 и более километров) в работе был использован разработанный с участием автора метод искусственных нейронных сетей

(со стилизацией профиля дымового шлейфа от торфяника уравнением Гаусса) с использованием «Гауссиана» – как радиальной базисной функции [9]. При реализации метода нейронных сетей получаемые измерениями и расчетами по уравнениям методики [7] концентрации поллютантов над дорожным полотном использовались в качестве гетерогенной информации для обучения результирующей модели расчета актуальных концентраций загрязнителей дорожного воздуха.

Для прогнозирования риска возникновения опасных, в частности рефлекторных эффектов у водителей, при загрязнении дорожного воздуха поллютантами торфяного пожара применялись уравнения:

$$\begin{aligned} \text{для 1-го класса опасности} & - Prob = -9,15 + 11,66 \cdot \lg(C_i/\text{ПДК}_{\text{МР}}); \\ \text{для 2-го класса опасности} & - Prob = -5,51 + 7,49 \cdot \lg(C_i/\text{ПДК}_{\text{МР}}); \\ \text{для 3-го класса опасности} & - Prob = -2,35 + 3,73 \cdot \lg(C_i/\text{ПДК}_{\text{МР}}); \\ \text{для 4-го класса опасности} & - Prob = -1,41 + 2,33 \cdot \lg(C_i/\text{ПДК}_{\text{МР}}), \end{aligned}$$

где  $C_i$  – концентрация поллютанта тлеющего торфа;  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  – предельно-допустимое максимально разовое содержание поллютанта;  $Prob$  – величина, характеризующая риск (в соответствии с нормальным законом распределения вероятностей) эффекта нарушения состояния здоровья водителя. Для справки из работ [1, 5]: конкретное значение риска выбирается в зависимости от численного значения «пробит-функции».

Расчет дальности видимости  $L_v$  водителем на дороге в условиях замутнения воздуха частицами дымового аэрозоля горящего торфяника производился по формуле Траберта [1, 5]:

$$L_v = \alpha^* \cdot \frac{\rho}{q} \cdot r_e,$$

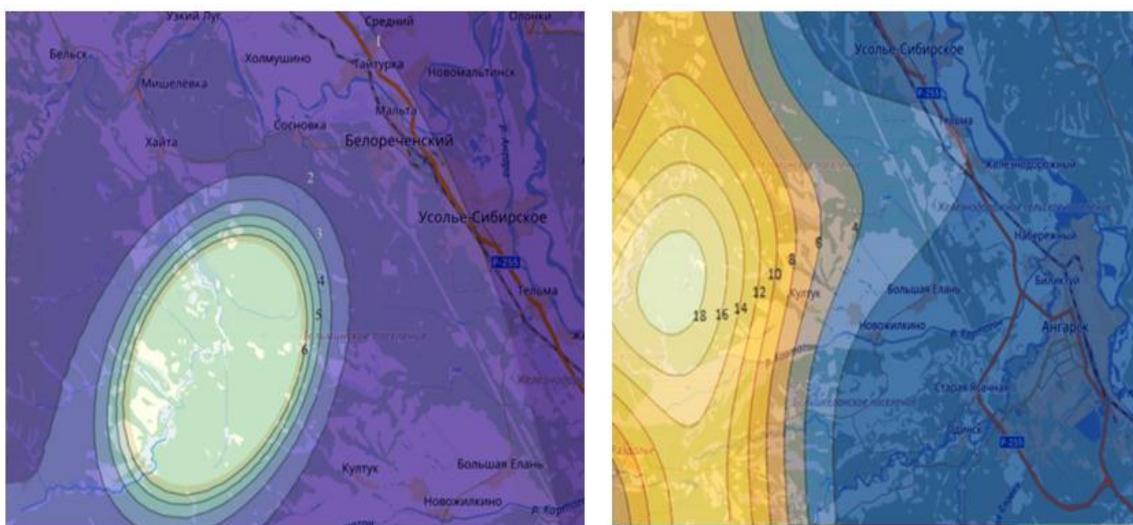
где  $\alpha^*$  – константа, характеризующая разноразмерность частиц дымового аэрозоля и зависимость их концентрации от координат места на дорожной трассе;  $q$  – содержание частиц в дорожном воздухе,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность дымовых частиц,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $r_e$  – условный размер в поперечнике («эффективный диаметр») дымовых частиц, м.

Ранжирование опасности транспортно-дорожной ситуации на автодороге в зависимости от дальности видимости и токсического эффекта (риска) нарушения состояния здоровья водителя обосновывалось на основании действующих в России и соответствующих решению данной задачи нормативно-правовых актов согласно с разработанными логическими алгоритмами, представленными в авторских работах [1, 5].

На рисунке в качестве примера использования разработанного методологического подхода приведены результаты прогнозных расчетов вероятных гипотетических распределений на мезомасштабном уровне содержания ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) опасного для водителей токсичного угарного газа СО, распространяющегося от тлеющего торфяника в окрестности автомобильной дороги федерального значения ФАД Р-255 «Сибирь» по оригинальной нейросетевой модели [1, 5, 9].

Полный анализ ситуации по сценарию 2 показал, что при скорости ветровой нагрузки в направлении федеральной трассы ФАД Р-255 «Сибирь» до 5 м/с можно ожидать формирование содержания поллютантов с опасными для состояния здоровья водителей превышениями предельно-допустимого максимально разового содержания  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  по аэрозольным частицам  $\text{PM}_{10}$  до 1,5 раз и по аэрозольным частицам  $\text{PM}_{2,5}$  до 1,9 раза.

По сценарию 3 вероятно ожидать, что при увеличении в 2 раза площади горения торфяника, в сравнении со сценарием 2, неблагоприятной для рассеяния (выдувания) поллютантов скорости ветра до 2 м/с, появления устойчивой приземной температурной инверсии, произойдет формирование чрезвычайно опасных для водителей значений содержания поллютантов: содержания угарного газа СО с превышениями  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  до 1,2–1,5 раза, аэрозольных частиц  $\text{PM}_{10}$  с превышением  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  до 2,5–7,0 раз и аэрозольных частиц  $\text{PM}_{2,5}$  с превышением  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  до 4,5–11,5 раза.



а)

б)

Рис. Карты распределения на мезо-уровне содержания СО от горящего торфяника в окрестности ФАД Р-255 «Сибирь», мг/м<sup>3</sup> (число нейронов N=4):

- (а) – сценарий 2: скорость ветра до 5 м/с, площадь горения торфяника 20 га, уровень атмосферной стратификации 180;  
 (б) – сценарий 3: скорость ветра до 2 м/с, площадь горения торфяника 40 га, уровень атмосферной стратификации 250

Оценка дорожной ситуации по рангам опасности ДТП, совершаемых водителями в зависимости от загрязнения дорожного воздуха токсичными веществами торфяного пожара и уменьшения дальности видимости при реализации 2-го и 3-го сценариев, позволяет констатировать, что [1, 5]:

– по 2-му сценарию условия движения транспорта следует оценивать как приемлемые по уровню токсического загрязнения воздуха, но неприемлемыми по критерию дальности видимости (менее 300 м в горизонтальном направлении). Это требует ограничения скорости движения транспортного потока до 60 км/ч и запрета на совершение обгона;

– по 3-му сценарию влияние дымового смога горящего торфяника оказывается критичным (чрезвычайным) для совершения автотранспортного движения: значение риска острого ослабления рефлекторных реакций водителей от действия аэрозольных частиц опасного размера устремляется к максимуму. Это обусловлено ростом тяжести протекания респираторных и сердечно-сосудистых недугов у водителей с хроническими заболеваниями сердца и легких и водителей пожилого возраста. При дальности видимости значительно меньше критического значения – 50 м. В таких условиях загрязнения дорожного воздуха загрязнителями для исключения риска ДТП следует порекомендовать временно запретить движение транспорта на опасном участке дороги.

### Заключение

Разработанный методологический подход и на его основе – модели и инженерные методики контроля и прогнозирования опасного воздействия торфяного пожара на безопасность автотранспортного движения по факторам зависимости ДТП, совершаемых водителями по причинам токсикологического нарушения состояния здоровья и уменьшения дальности видения дорожного полотна, позволяют на инженерном уровне осуществлять прогноз чрезвычайного загрязнения дорожного воздуха СО, РМ<sub>2.5</sub> и РМ<sub>10</sub>, выбрасываемых горящими торфяниками в окрестности дороги при долговременной аномальной метеорологической ситуации, и оценить риски совершения ДТП.

### Список источников

1. Ложкина О.В., Ложкин В.Н., Тимофеев В.Д. Опасное воздействие «суперсмога» торфяного пожара и тумана на условия и участников дорожного движения // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2018. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. Т. 2. С. 48–51.
2. Grishin A.M., Yakimov A.S. Mathematical modeling of the initiation and spread of peat fires // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. Vol. 84. Iss. 5. P. 1047–1057.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // Cogent Medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
5. Ложкин В.Н., Тимофеев В.Д., Ложкина О.В. Теоретические основы мониторинга и прогнозирования опасного воздействия продуктов горения природных пожаров на жизнедеятельность населения: монография / под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 160 с.
6. Модель распространения атмосферных примесей типа «источник-рецептор» для оценки по климатическим данным антропогенной нагрузки на окружающую среду в мезо- и региональном масштабе / Е.Л. Генихович [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. № 580. С. 33–53.
7. Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.  
URL: docs.cntd.ru/document/456074826 (дата обращения: 12.03.2022).
8. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint-Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research Part D: Transport and environment. Elsevier science publishing company, Inc. 2015. Vol. 36. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
9. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Принципы и техника нейросетевого моделирования: монография. СПб.: Нестор-История, 2014. 218 с.

### References

1. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N., Timofeev V.D. Opasnoe vozdejstvie «supersmoga» torfyanogo pozhara i tumana na usloviya i uchastnikov dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2018. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. T. 2. S. 48–51.
2. Grishin A.M., Yakimov A.S. Mathematical modeling of the initiation and spread of peat fires // Journal of engineering physics and thermophysics. Vol. 84. Iss. 5. P. 1047–1057.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // Cogent Medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
5. Lozhkin V.N., Timofeev V.D., Lozhkina O.V. Teoreticheskie osnovy monitoring i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya produktov goreniya prirodnyh pozharov na zhiznedeyatel'nost' naseleniya: monografiya / pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 160 s.
6. Model' rasprostraneniya atmosferynyh primesej tipa «istochnik-receptor» dlya ocenki po klimaticheskim dannym antropogennoj nagruzki na okruzhayushchuyu sredyu v mezo- i regional'nom masshtabe / E.L. Genihovich [i dr.] // Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova. 2016. № 580. S. 33–53.
7. Metody rascheta rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii

от 6 июня 2017 г. № 273 // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/456074826 (data obrashcheniya: 12.03.2022).

8. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint-Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research Part D: Transport and environment. Elsevier science publishing company, Inc. 2015. Vol. 36. P. 178–189.

DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.

9. Vasil'ev A.N., Tarhov D.A. Principy i tekhnika nejrosetevogo modelirovaniya: monografiya. SPb.: Nestor-Istoriya, 2014. 218 s.

*Информация об авторах:*

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

*Information about the authors:*

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

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.05.2022; одобрена после рецензирования: 06.06.2022; принята к публикации: 10.06.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.05.2022; approved after review: 06.06.2022; accepted for publication: 10.06.2022

УДК 656.085.5

## **УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНЫМИ РИСКАМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕМОНТЕ И УТИЛИЗАЦИИ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ НАДВОДНОГО И ПОДВОДНОГО ПЛАВАНИЯ**

**Марина Георгиевна Мотыженкова**<sup>✉</sup>.

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

<sup>✉</sup>[marina\\_botova@mail.ru](mailto:marina_botova@mail.ru)

*Аннотация.* В работе рассматриваются вопросы определения параметров опасных технологических процессов, используемых на этапах строительства, утилизации и ремонтно-восстановительных работ на судах надводного и подводного плавания. Проанализированы сведения из карточек учета пожаров, произошедших в Российской Федерации за 2001–2020 гг. на предприятиях судостроения и судоремонта на морских, речных судах в части: причин возникновения возгораний и их статистических характеристик, основанных на потенциально опасных технологических операциях, таких как огневые работы. Были разработаны предложения с компенсирующими мероприятиями, позволяющие снизить пожарные риски при проведении регламентных работ, а также было проведено анкетирование с целью получения экспертных оценок на предложенные мероприятия. Предложены решения по управлению пожарными рисками в динамически развивающихся системах.

*Ключевые слова:* надводные корабли, технологические процессы, возгорание, пожар, детектирование возгораний, ремонт кораблей, пожарные риски

**Для цитирования:** Мотыженкова М.Г. Управление пожарными рисками при строительстве, ремонте и утилизации судов и кораблей надводного и подводного плавания // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 94–103.

## **FIRE RISK MANAGEMENT DURING CONSTRUCTION, REPAIR AND DISPOSAL OF SURFACE AND UNDERWATER VESSELS AND SHIPS**

**Marina G. Motyzenkova**<sup>✉</sup>.

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

<sup>✉</sup>[marina\\_botova@mail.ru](mailto:marina_botova@mail.ru)

*Abstract.* The work considers of determining the parameters of hazardous processes used at the stages of construction, disposal and repair of surface and underwater vessels. We analyzed the information from fire report cards for 2001–2020 in the Russian Federation at shipyards and dockyard on sea and river vessels, the causes of fires and their statistical characteristics. The main potentially hazardous technological operations, such as hot work. Proposals with compensating measures were developed to reduce fire risks during routine operations, and a questionnaire survey was conducted to obtain expert evaluations on the proposed measures. Solutions for managing fire risks in dynamically developing systems were proposed.

*Keywords:* surface ships, technological processes, ignition, fire, detecting of ignitions, ship repair, fire risks

**For citation:** Motyzenkova M.G. Fire risk management during construction, repair and disposal of surface and underwater vessels and ships // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 94–103.

## **Введение**

В связи с увеличением объема строительства, ремонта и переоборудования кораблей и судов в Российской Федерации возросла загруженность предприятий судостроительной и судоремонтной промышленности. Повышение интенсивности производства привело к росту числа возгораний в цехах предприятий, на строящихся, ремонтируемых и утилизируемых кораблях. Таким образом, за 2001–2020 гг. в субъектах Российской Федерации на предприятиях судостроения и судоремонта при строительстве и ремонте кораблей и судов было официально зафиксировано 325 возгораний. Проблема управления пожарными рисками на этапах строительства кораблей исследуется финским ученым П. Раизенена и называется «Управление пожарными рисками при строительстве круизных кораблей» [1].

Система менеджмента качества в соответствии с национальными и международными стандартами определяет риск-ориентированный подход к процессам создания продукции, в том числе безопасности процессов. Опасность возгораний является одним из рисков, возникающих при строительстве особо сложных объектов, таких как корабли и суда [2].

## **Материалы и методы исследования**

Основой для настоящего исследования послужили материалы докторской диссертации П. Раизенена «Управление пожарными рисками при строительстве круизных кораблей». В данной работе были установлены закономерности между проведением огневых работ и ростом пожарного риска, а также проведен ряд исследований, касающихся технологии строительства судов.

В качестве метода исследования были выбраны методы статистического анализа данных и метод экспертных оценок [3–5].

## **Результаты исследования и их обсуждение**

Согласно сведениям из карточек учета пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2001–2020 гг. на предприятиях судостроения и судоремонта на морских, речных судах, следует, что основной причиной возгораний является нарушение правил и технологии производства электросварочных и газорезательных работ, правил эксплуатации электросетей и электрооборудования, неосторожное обращение с огнем, нарушение технологических процессов строительных и монтажных работ [6].

По установленным причинам все возгорания были разделены на 11 групп: поджог, самовоспламенение, возгорание электрооборудования, взрывы пыли, газов и паров, системы отопления и вентиляции, горячие поверхности (тигли, паяльники, нагревательные поверхности, перегретые подшипники и пр.) и открытое пламя, огневые работы, машины и оборудование, окраска, курение, разное. Выполнена классификация возгораний по пожарной нагрузке. Соответствующие диаграммы приведены на рис. 1, 2.

В процессе исследования установлено, что основной пожарной нагрузкой на кораблях и судах являются деревянные и бумажные изделия, кабели и провода, горючие отходы производства, отделочные материалы и покрытия [7].

По статистическим данным было выявлено, что активный рост количества возгораний приходится на периоды с февраля по апрель, июнь и с августа по сентябрь. Это обусловлено высокой интенсивностью проведения регламентных работ согласно графику строительства судна на данный период вследствие присутствия максимального количества рабочего персонала на объекте строительства. Кроме того, день недели и время суток также влияют на количество возгораний. Связано это, скорее всего, с периодами окончания рабочих смен и обеденными перерывами. Результаты отображены на рис. 3–5.

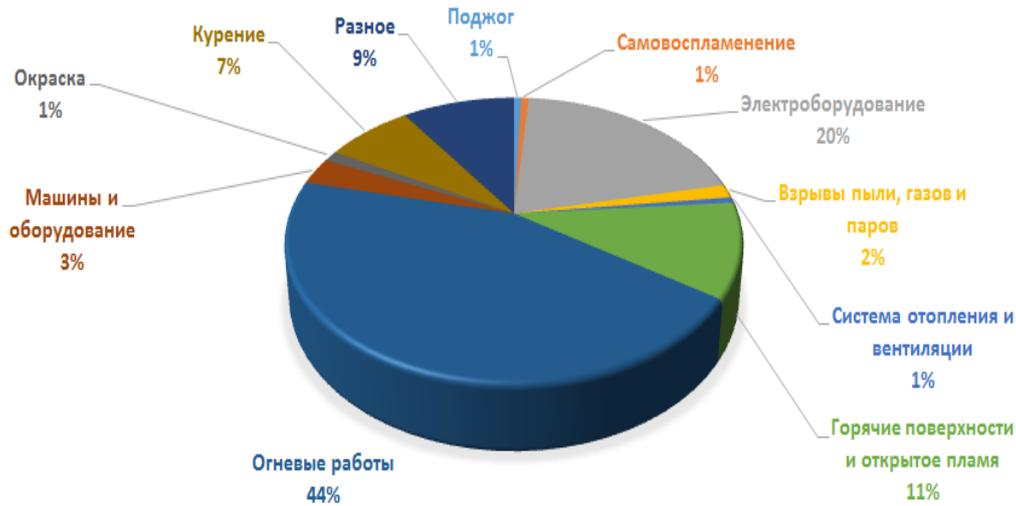


Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения причин возгорания при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на судах надводного и подводного плавания

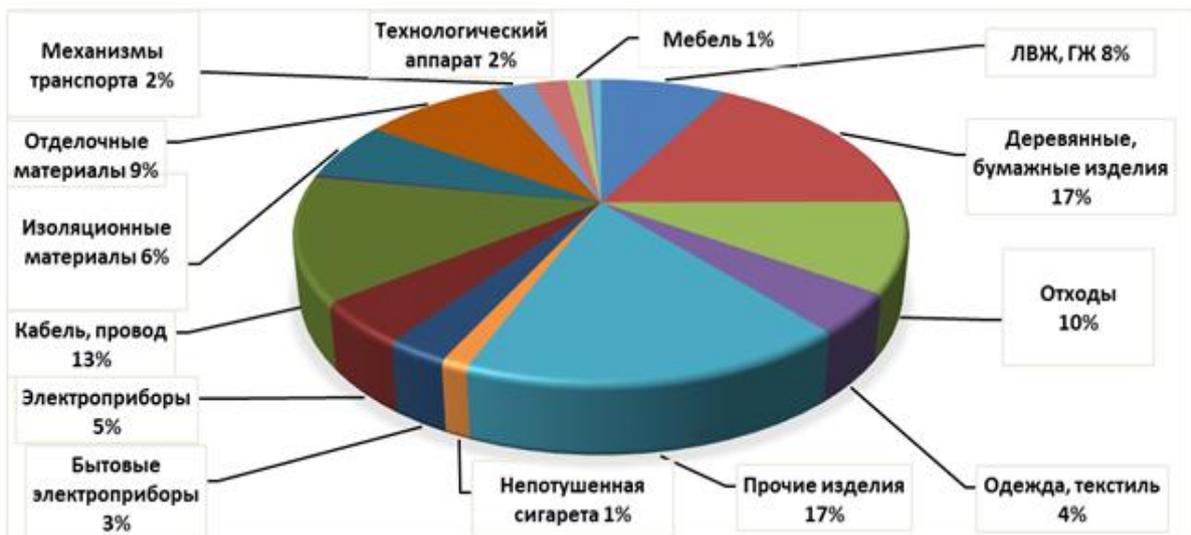


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения источников возгорания при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на кораблях и судах: ЛВЖ, ГЖ – легковоспламеняющиеся, горючие жидкости



Рис. 3. Диаграмма соотношения календарного месяца и количества возгораний



Рис. 4. Диаграмма соотношения дня недели и количества возгораний

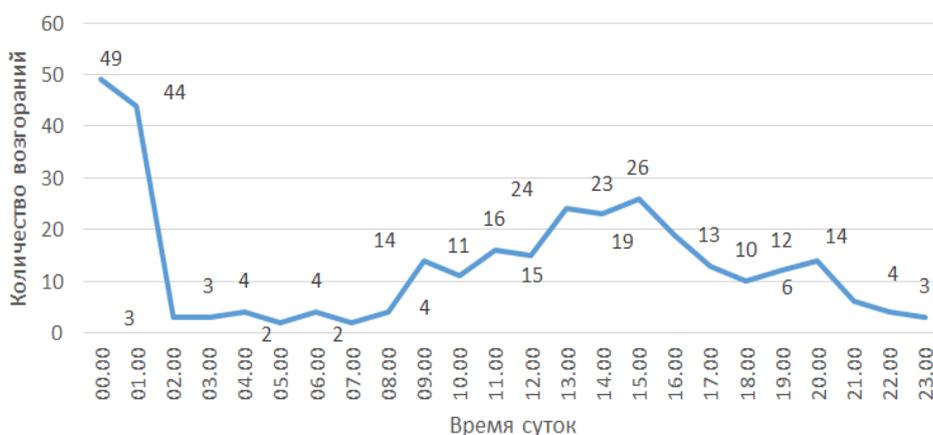


Рис. 5. Диаграмма соотношения времени суток и количества возгораний

Из представленных выше диаграмм видно, что количество возгораний, прежде всего, зависит от человеческого фактора. На рис. 3 указана зависимость количества возгораний по месяцам, из которой ясно, что чем больше интенсивность проведения регламентных работ на объектах судостроения и судоремонта, тем выше пожарный риск. Спад количества возгораний в мае и июле свидетельствует о снижении интенсивности работ на период отпусков сотрудников. Диаграмма разбивки количества возгораний по дню недели указывает на пиковые значения по средам и пятницам. Диаграмма зависимости количества возгораний от времени суток четко указывает на высокий пожарный риск на период окончания второй смены, а также на опасные периоды начала первой смены, обеденный перерыв и технический перерыв в 15.00.

После анализа всех единиц статистической совокупности в области пожарной безопасности при строительстве, ремонте и утилизации судов были разработаны предложения с компенсирующими мероприятиями, позволяющие снизить пожарные риски при проведении регламентных работ. Была создана экспертная анкета по эффективности предложенного решения и возможности его внедрения для принятия обоснованного решения. Целью данного анкетирования является выявление возможных мероприятий по управлению пожарными рисками на этапах строительства кораблей надводного и подводного флота Российской Федерации.

В основу экспертного исследования входили индивидуальные оценки респондентов в качественном виде. Каждого эксперта просили провести ранжирование предложенных решений в упорядоченном ряду от 1 до 3. Далее, для оценки полученных результатов использовался метод средних арифметических баллов и метода медиан баллов. В данном опросе участвовало 75 экспертов 14 предприятий ДЗО АО «ОСК». При выборе экспертов уделялось внимание занимаемой должности и общему трудовому стажу. Средний общий стаж эксперта составляет от 10 до 39 лет.

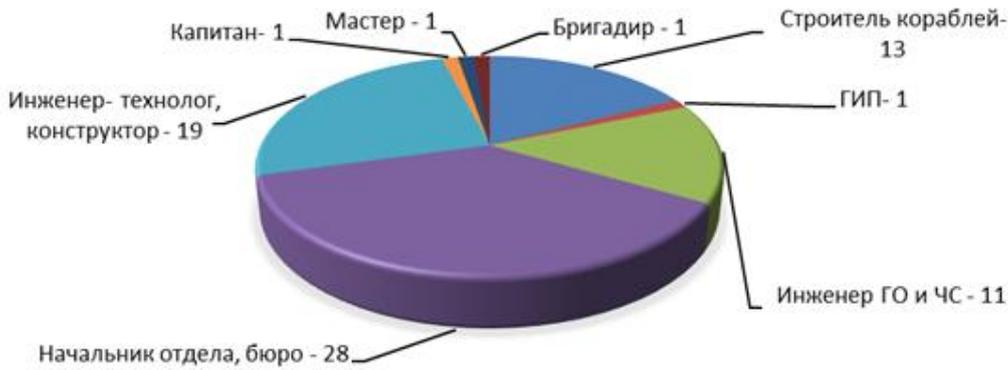


Рис. 6. Диаграмма занимаемых должностей экспертов:  
инженер ГО и ЧС – инженер по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям



Рис. 7. Диаграмма общего стажа экспертов

Результаты экспертных оценок были разделены на три группы:

1. Наиболее эффективны и легко внедряемы в производство (экспертные оценки выше среднего балла и средней медианы по предложенным мероприятиям и возможности реализации в Блоках 1, 2 анкеты эксперта).

2. Наиболее эффективны, но сложны к внедрению в производство (экспертные оценки выше среднего балла и средней медианы по предложенным мероприятиям и ниже среднего балла и средней медианы по возможности реализации в Блоках 1, 2 анкеты эксперта).

3. Неэффективны и сложно реализуемы на производстве (экспертные оценки ниже среднего балла и средней медианы по предложенным мероприятиям и ниже среднего балла и средней медианы по возможности реализации в Блоках 1, 2 анкеты эксперта).

Необходимо отметить, что большинство мероприятий 1 группы относятся к организации производственных процессов и дублируют требования нормативных и отраслевых документов. Исключением являются мероприятие по автоматическому подсчету работников на объекте после срабатывания системы оповещения, использование в приборах конструктивной защиты от перегрева, использование портативных систем пожаротушения.

Мероприятия 2 группы носят, в большинстве своем, технический характер. Сложность внедрения решается конструктивной проработкой решений и расчетом экономической составляющей. В данных мероприятиях эксперты отметили необходимость решений по доработке систем временного оснащения при строительстве, ремонте и утилизации кораблей и судов надводного и подводного плавания, а также дополнительного оснащения системами автоматического пожаротушения в помещениях с повышенной пожарной нагрузкой. Кроме того, эксперты отметили, что непрерывное отслеживание первичных

факторов пожара на этапах строительства, ремонта и утилизации кораблей и судов необходима, но сложно реализуема.

Мероприятия 3 группы, по мнению экспертов, не являются эффективными и сложно реализуемы на производстве. Это связано с изменением технологии строительства кораблей и судов на предприятиях, дополнительных материальных вложений в системы безопасности.

Рассмотрев все предложенные мероприятия с точки зрения нераспространения возгорания на этапах строительства кораблей и судов, можно отметить, что внедрение штатных спринклерных систем пожаротушения на достроечном периоде может сократить риск распространения пожара в смежных отсеках и палубах, а также локализовать возгорание на ранних этапах развития. Результаты данных исследований были описаны в диссертации [8]. В ней было установлено, что введение в эксплуатацию штатной системы спринклерного пожаротушения на 7–8 недель ранее сдачи судна снижает вероятность возникновения крупного пожара в среднем в 10–20 раз. Под крупным в данном случае понимается возгорание в среднем на 2 и более отсеков судна, при площади одного отсека 1 600 м<sup>2</sup>. Также было установлено, что одно крупное возгорание возникает через 100–200 мелких возгораний, неучтенных в общей статистике по верфям и локализованных на месте без привлечения представителей пожарной охраны. Таким образом, очень важно вести внутреннюю статистику возгораний по каждому объекту, данный подход обеспечит возможность прогнозирования возникновения чрезвычайной ситуации и, как следствие, сокращение материального ущерба.

Деление судна на противопожарные отсеки на достроечном этапе строительства также показывает свою эффективность в рамках нераспространения пожара. Физический процесс распространения пожара на судне носит линейный характер, и при возникновении возгорания в одном помещении пламя и нагретые продукты горения движутся от очага пожара к открытым проемам, и верхние палубы интенсивно задымляются. На стадии развившегося пожара в помещении с очагом пожара факел пламени выбрасывается из проемов в момент своего максимума, достигая в среднем половины высоты расположенной выше палубы. На судне наблюдается более быстрая теплопередача от очага пожара в смежные помещения вследствие высокой теплопроводности стальных конструкций или разрушения при нагревании конструкций из легких сплавов, пластмасс.

Замкнутый характер помещений судов и особенности их вентиляции способствуют скоплению в помещениях и на путях эвакуации из судовых помещений токсичных и высоконагретых продуктов горения и дыма. Низкие подволоки, малый объем помещений, развитая сеть проходов, коридоров, невыгороженные трапы, открытые проемы создают сильную тягу воздуха внутри судна. Учитывая тот факт, что при постройке судов используются большое количество горючих материалов, предметов оборудования, снабжения, технологических веществ, они образуют высокий тепловой потенциал и влияют на температурный режим и продолжительность пожара [9, 10].

Поэтому в целях обеспечения локализации возгорания компенсирующие мероприятия, такие как: раннее деление судна на противопожарные отсеки, соблюдение закрытия противопожарных дверей между пожарными отсеками судна и, соответственно, их ранняя установка, монтаж иллюминаторов, установка технологических заглушек на строящемся корабле, необходимо рассмотреть в качестве обязательных для исполнения.

Согласно статистическим данным в 56 % установленных возгораний в качестве топлива для пожара выступает временная пожарная нагрузка. В анализе экспертной оценки было установлено, что большинство мероприятий, относящихся к контролю временной пожарной нагрузки на строящихся кораблях, были отнесены в разряд неэффективных и сложно реализуемых решений. Если обратиться к материалам исследования П. Раизенена «Управление пожарными рисками при строительстве круизных кораблей», то в них была установлена зависимость от этапов строительства судна к росту пожарного риска. Данная зависимость показана на рис. 9.



Рис. 8. Период высочайшего пожарного риска для возникновения крупных пожаров

Пожарный риск не статичен во времени, а изменяется в зависимости от этапа строительства судна, объема огневых работ и количества пожарной нагрузки. Для его уменьшения необходимо в обязательном порядке производить контроль и учет временной пожарной нагрузки, особенно в достроечный период.

Необходимо отметить важность проведения регламентного технического обслуживания оборудования для временных систем технического обеспечения судов (ТОС). Данное требование обязательное для соблюдения согласно стандарту СТО ОСК.КСМК 12.003–2019 «Правила пожарной безопасности на строящихся, ремонтируемых и переоборудуемых кораблях и судах», но, как видно из статистики возгораний, 9 % от общего числа связана с неисправностью технологических аппаратов и электрооборудования. Эксперты также указывают на необходимость контроля за проведением технического обслуживания приборов.

Немаловажной причиной возгорания согласно статистическим данным является электропроводка. За рассматриваемый период времени возгорания, связанные с кабельной продукцией, составляют 13 % от их общего числа. Пожарная опасность электрических кабелей обуславливается их горючестью и способностью распространять горение. Но в современных реалиях на судостроительных и судоремонтных заводах в основном применяется кабель, не распространяющий горение. Одной из возможных причин загорания кабелей может быть утечка, возникающая при локальных повреждениях изоляции и заканчивающаяся, как правило, коротким замыканием и электрической дугой. Пожарная опасность электропроводки проявляется при наличии источников зажигания (электрической дуги, искр, раскаленных частиц металла токоведущих жил и оболочек, чрезмерно нагретых контактных соединений токоведущих жил) и горючей изоляции. Возникает пожарная опасность при аварийных режимах эксплуатации электропроводки, какими являются короткие замыкания и перегрузки. Причиной коротких замыканий в электропроводках чаще всего является нарушение изоляции токопроводящих жил вследствие их механического повреждения, воздействия влаги и агрессивных сред. При перегрузках пожарной опасностью электропроводки является ее перегрев, приводящий к тепловому старению изоляции и преждевременному выходу из строя.

### Заключение

Управление пожарными рисками при строительстве, ремонте и утилизации судов и кораблей надводного и подводного плавания – это, прежде всего, разработка и реализация комплекса мероприятий (инженерно-технического, экономического, социального характера), позволяющих уменьшить значение риска до приемлемого уровня. В связи с тем, что процесс

строительства кораблей и судов представляет собой высокотехнический и сложный процесс с постоянным изменением размеров изделия, оснащения, комплекса технологических операций, пожарной нагрузки, то и величина пожарного риска будет изменяться в каждую единицу времени. Для реализации управления пожарными рисками в динамически развивающихся системах необходимо обеспечить контроль и сопоставление технологии строительства судна с выполняемыми технологическими процессами, возникающими опасными факторами пожара (ОФП), их идентификацию, контроль увеличения пожарной нагрузки в условиях строящегося (ремонтируемого) судна и систему выдачи разрешений на огневые работы. С такого рода задачами справляются экспертные системы поддержки принятия решений, опираясь на цифрованную информационную модель объекта и зная технологию строительства (ремонта) судна. Получая информацию с контроллеров пожарной сигнализации, системы контроля и управления доступом и имея информацию о районах с огневыми работами, система отслеживает и контролирует противопожарное состояние строящегося или ремонтируемого судна, а также ведет учет работников, находящихся на судне. В зависимости от изменения полученной информации от контроллеров пожарной сигнализации или ввода новых данных о проведении огневых работ система выполняет пересчет значения пожарного риска и выводит данное значение на автоматизированное рабочее место оператора. Если полученное значение больше нормативного, то система анализирует опасные участки проведения работ, прогнозирует наступление ОФП и выдает возможные решения данной ситуации, тем самым полностью контролируя противопожарный режим на строящемся, ремонтируемом судне.

Таким образом, исходя из текущего положения в отрасли, можно рекомендовать скорейшее внедрение управления пожарными рисками при строительстве, ремонте и утилизации судов и кораблей надводного и подводного плавания. Внедрение придется вести постепенно и поэтапно. В качестве первого этапа, исходя из международного опыта, необходимо:

- начать детальное ведение статистики малых возгораний и всех инцидентов, связанных с возгоранием;
- провести анализ текущих технологий строительства, ремонта и утилизации судов и кораблей на предмет оценки пожарных рисков;
- сопоставить реальное положение дел на производстве с требованиями нормативных документов и технологических регламентов путем внедрения наблюдения и автоматического контроля пожарной обстановки на всех этапах строительства.

### **Список источников**

1. Актерский Ю.Е., Мотыженкова М.Г., Шидловский Г.Л. Адаптивная система раннего обнаружения возгораний на этапах строительства и ремонта судов класса «Aframax» // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 26–31.
2. Фофанов Г.В., Грабельников В.Ю., Шужмов М.Б. Обеспечение пожарной безопасности на ремонтируемых и модернизируемых АПЛ заводским экипажем // Труды АО НИПТБ Онега – 2019. 2019. С. 71–73.
3. Developing an artificial intelligence framework to assess shipbuilding and repair sub-tier supply chains risk / R. Diaza [et al.] // International conference on industry 4.0 and smart manufacturing. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.363.
4. Critical risk factors in ship fire accidents / L. Wanga [et al.] // Maritime Policy & Management. 2020. DOI: 10.1080/03088839.2020.1821110.
5. Пожарные риски: учеб. пособие / Н.Н. Брушлинский [и др.]. М.: Академия МЧС России, 2016. 66 с.
6. Мотыженкова М.Г. Пожарная опасность технологических процессов при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах на судах надводного и подводного плавания // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2021. Т. 2. 299 с.

7. Актерский Ю.Е., Мотыженкова М.Г. Технические решения по обеспечению пожарной безопасности при выполнении работ по обработке конструкций из титановых и алюминиевых сплавов в судостроительной и судоремонтной промышленности // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2019: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2019. Т. 2. 299 с.

8. Pekka Räsänen. Fire risk and its management in cruise vessel construction projects // Aalto university publication series: DOCTORAL DISSERTATIONS. 2014. № 101. P. 37.

9. Бородай С.П., Летин А.Н., Шедько С.В. Экспериментальные исследования структуры пламени и его воздействия на ограждающие судовые конструкции // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Т. 2. № 392. С. 79–88.

10. Пожарная безопасность в судостроительном производстве: справ. Л.: Судостроение, 1987. 352 с.

## References

1. Akterskij Yu.E., Motyzenkova M.G., Shidlovskij G.L. Adaptivnaya sistema rannego obnaruzheniya vozgoranij na etapah stroitel'stva i remonta sudov klassa «Aframax» // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 26–31.

2. Fofanov G.V., Grabel'nikov V.Yu., Shuzhmov M.B. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti na remontiruemyh i moderniziruemyh APL zavodskim ekipazhem // Trudy AO NIPTB Onega – 2019. 2019. S. 71–73.

3. Developing an artificial intelligence framework to assess shipbuilding and repair sub-tier supply chains risk / Diaza R. [et al.] // International conference on industry 4.0 and smart manufacturing. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.363.

4. Critical risk factors in ship fire accidents / L. Wanga [et al.] // Maritime Policy & Management. 2020. DOI: 10.1080/03088839.2020.1821110.

5. Pozharnye riski: ucheb. posobie / N.N. Brushlinskij [i dr.]. M.: Akademiya MCHS Rossii, 2016. 66 s.

6. Motyzenkova M.G. Pozharnaya opasnost' tekhnologicheskikh processov pri stroitel'stve, utilizacii i remontno-vostranovitel'nyh rabotah na sudah nadvodnogo i podvodnogo plavaniya // Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2021: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: IPT RAN, 2021. Т. 2. 299 с.

7. Akterskij Yu.E., Motyzenkova M.G. Tekhnicheskie resheniya po obespecheniyu pozharnoj bezopasnosti pri vypolnenii rabot po obrabotke konstrukcij iz titanovyh i alyuminievyh spлавov v sudostroitel'noj i sudoremontnoj promyshlennosti // Transport Rossii: problem i perspektivy – 2019: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: IPT RAN, 2019. Т. 2. 299 с.

8. Pekka Räsänen. Fire risk and its management in cruise vessel construction projects // Aalto university publication series: DOCTORAL DISSERTATIONS. 2014. № 101. P. 37.

9. Borodaj S.P., Letin A.N., Shed'ko S.V. Eksperimental'nye issledovaniya struktury plameni i ego vozdejstviya na ograzhdayushchie sudovye konstrukcii // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2020. Т. 2. № 392. С. 79–88.

10. Pozharnaya bezopasnost' v sudostroitel'nom proizvodstve: sprav. L.: Sudostroenie, 1987. 352 с.

*Информация об авторах:*

**Марина Георгиевна Мотыженкова**, аспирант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: marina\_botova@mail.ru, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-0710-6919>

*Information about the authors:*

**Marina G. Motyzenkova**, postgraduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: marina\_botova@mail.ru, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-0710-6919>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 24.03.2022; одобрена после рецензирования: 26.04.2022; принята к публикации: 28.04.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 24.03.2022; approved after review: 26.04.2022; accepted for publication: 28.04.2022

УДК 614.87

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКО-ВОЗМОЖНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ

**Александр Васильевич Спесивцев.**

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия.

**Александр Владимирович Вагин**✉.

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

✉[alexwagin@yandex.ru](mailto:alexwagin@yandex.ru)

*Аннотация.* Показана возможность эффективного управления рисками при функционировании сложных технических объектов и технологических процессов на основе формализации явных и неявных экспертных знаний нечетко-возможностными моделями. Наличие адекватных моделей позволяет осуществлять проактивное прогнозирование состояния исследуемых объектов и получать качественно новую информацию об их функционировании в условиях неопределенности. Исследование проведено на двух конкретных примерах из практики эксплуатации потенциально опасных производственных объектов – эксплуатация дымовой трубы металлургического предприятия и автоматизация процесса обжига сульфидного концентрата в агрегате кипящего слоя. Сделан вывод о высокой прогностической способности нечетко-возможностных моделей к трудноформализуемым с математической точки зрения потенциально аварийным объектам.

*Ключевые слова:* управление рисками, моделирование, явные и неявные экспертные знания, нечетко-возможностные модели, сложные объекты, прогнозирование состояния

**Для цитирования:** Спесивцев А.В., Вагин А.В. Управление рисками при эксплуатации сложных объектов на основе нечетко-возможностных моделей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 104–114.

## RISK MANAGEMENT IN THE OPERATION OF COMPLEX OBJECTS ON THE BASIS OF FUZZY-POSSIBILITY MODELS

**Alexander V. Spesivtsev;**

**Alexander V. Vagin**✉.

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

✉[alexwagin@yandex.ru](mailto:alexwagin@yandex.ru)

*Abstract.* The possibility of effective risk management in the operation of complex technical objects and technological processes based on the formalization of explicit and implicit expert knowledge by fuzzy-possibility models is shown. The availability of adequate models makes it possible to proactively predict the state of the objects under study and obtain qualitatively new information about their functioning under conditions of uncertainty. The study was conducted on two specific examples from the practice of operating potentially hazardous production facilities – the operation of a chimney of a metallurgical enterprise and the automation of the process of roasting sulfide concentrate in a fluidized bed unit. The conclusion is made about the high predictive ability of fuzzy-possibility models for potentially emergency objects that are difficult to formalize from a mathematical point of view.

*Keywords:* risk management, modeling, explicit and implicit expert knowledge, fuzzy-possibility models, complex objects, state prediction

**For citation:** Spesivtsev A.V., Vagin A.V. Risk management in the operation of complex objects on the basis of fuzzy-possibility models // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 104–114.

## Введение

Превентивное управление рисками аварийных ситуаций немыслимо без построения адекватных моделей оценивания состояния сложных систем и достоверного прогнозирования их поведения на заданном отрезке времени. Вместе с возрастанием сложности систем, объектов и явлений менялась методология их моделирования. Так, лидирующее место в исследованиях со второй половины прошлого столетия закрепилось за методами, использующими нечеткость, неопределенность знаний и развития новых принципов представления об информации как таковой [1, 2]. Пристальное внимание при этом сосредоточилось также на устойчивости сложных систем в таких условиях [3] и использовании экспертных знаний [4, 5], что создало предпосылки к созданию целого научного направления, основанного на нечетких множествах.

В развитие рассмотренного выше направления в настоящей статье предлагается нечетко-возможностный подход, основанный на формализации знаний экспертов в виде математических моделей для исследования сложных явлений, связанных с оцениванием возможности инициирования рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) в их жизнедеятельности. При этом рассматриваются уже готовые модели, но с методиками синтеза моделей на основе формализации явных и неявных экспертных знаний можно познакомиться по работам [6, 7].

Данное исследование демонстрирует примеры использования нечетко-возможностных моделей, построенных на знаниях и опыте профессионалов, при решении конкретных задач оценивания состояния двух высокорисковых объектов с целью прогнозирования и управления рисками аварийных ситуаций при их эксплуатации.

## Прогнозирование состояния пространственно-распределенного спецоборудования

В качестве пространственно-распределенного объекта выбрана дымовая труба металлургического предприятия высотой 176 м, эксплуатируемой в жестких условиях Крайнего Севера [8]. Внимание к этому объекту у руководства предприятия появилось после появления трещин на теле трубы. Причиной этому явилось некорректное инженерное решение – направить дымовые газы после их обеспыливания душированием, хотя проектом труба предназначалась для «сухих» газов после процесса конвертирования. Такое нарушение технологической инструкции по эксплуатации дымовых труб привело к впуску кладки и развитию негативных явлений, как показано на рис. 1. Дело осложнялось тем, что оголовок трубы начал разрушаться с выпадением кирпичей на пешеходную территорию предприятия с угрозой травмирования людей.

Потеря дымовой трубы для металлургического предприятия равнозначна снижению производительности плавильных агрегатов вплоть до их остановки. Поэтому было принято решение провести исследование с целью удержания объекта в рабочем состоянии в течение возможно более длительного времени.

В процессе исследований пришлось столкнуться с методологическими трудностями, поскольку изучение влияния водяных паров на поведение кладки дымовых труб относится к междисциплинарным исследованиям и представляется трудноформализуемым явлением. Так, прогнозирование на основе вероятностных методов возможно лишь при условии наличия убедительной статистики о состоянии таких сложных систем или распределения, на базе которых вычисляется вероятность тех или иных событий. Это позволило бы определить вероятность перехода системы (объекта) в состояние, отождествляемое с аварией, катастрофой или ЧС.



а)



б)

Рис. 1. Проявления негативных явлений на теле дымовой трубы:  
а – продольные трещины; б – разрывы стяжных колец

Следует отметить, что для получения вероятностного распределения нужна статистическая выборка из достаточно большого объема однородных объектов, но отсутствие информации о поведении дымовых труб не дает возможности получить репрезентативную выборку, поскольку каждая из них является строго индивидуальной. Поэтому вероятностные методы оценки и прогноза могут дать лишь приблизительное представление о поведении объектов такой конструкции, а для своего информационного обеспечения требуют существенных интеллектуальных и материальных ресурсов, хотя достоверность таких прогнозов остается низкой.

Кроме того, неоднородность в объединении дымовых труб можно рассматривать и с другой стороны. Так, любая из экстремальных ситуаций на таких объектах является результатом стечения различных обстоятельств, которые в общем и среднем могут иметь некоторые тенденции, но информативно настолько неформализованы, что каждую из них можно отнести к разряду уникальных, единственных в своем роде. Это означает, что вероятностный прогноз в такой ситуации неформализуем в принципе, и именно поэтому системы предупреждения ЧС, использующие вероятностные методы, малоэффективны.

В работах [6–9] по разработанной принципиально новой методике получена адекватная нечетко-возможностная модель на основе явных и неявных экспертных знаний, которая позволяет количественно оценить техническое состояние дымовой трубы.

Согласно методике эксперт оценивал состояние одной секции объекта (трубы), анализируя определенные сочетания входных переменных, представленных в виде крайних значений лингвистической шкалы. Каждый из вопросов, адресуемых эксперту, был представлен в виде нечеткого продукционного правила вида «Если ..., то...». Каждая продукция представляет собой конструкцию «сочетание факторов – состояние секции объекта». Так, например, в выбранном факторном пространстве из пяти переменных одна из строк матрицы экспертного опроса читается так: «ЕСЛИ  $X_1$  – уровень деформации стяжных колец «высокий» и  $X_2$  – ширина раскрытия трещин «низкая», и  $X_3$  – градиент раскрытия трещин «низкий», и  $X_4$  – градиент изменения количества дефектов «низкий», и  $X_5$  – материал ствола – «кирпич М200», ТО техническое состояние секции объекта  $Y$  оценивается как «стабильное».

Математической обработкой результатов опроса эксперта по матрице планирования полного факторного эксперимента типа  $2^5$ , включающей 32 ситуации, получена следующая адекватная модель [9]:

$$Y = 0,469 - 0,063x_1 - 0,125x_2 - 0,156x_3 - 0,063x_4 + 0,063x_5 - 0,031x_2x_4 + 0,063x_3x_4 - 0,031x_2x_3x_4. \quad (1)$$

В данной модели приведены только значимые коэффициенты полинома, а значения переменных представлены в стандартизованном масштабе.

Полученная математическая модель является функцией отклика, характеризующей изменения технического состояния одной из секций сооружения. При моделировании устойчивости ствола дымовой трубы в целом объект был поделен по высоте на 10-метровые секции. Далее, с целью определения устойчивости объекта в целом производилось объединение полученных значений по всем секциям путем их иллюстративного представления в виде функциональных зависимостей (рис. 2). На основании поведения графиков в оперативном режиме можно оценить угрозу инициации критических событий.

Представленные графические зависимости построены в условном масштабе в декартовых координатах и получены путем объединения расчетных характеристик каждой из секций по модели (1). Разрыв линий тренда на отметке 145,0 м отражает конструктивные особенности объекта исследования: наружная стенка ствола в отметках 0,000–145,0 м и 145,0–176,0 м выполнена из материалов с различными прочностными и физическими свойствами.

Для сравнения оценочных величин с показателями безопасности использовалась шкала (рис. 2), которая предусматривает делегирование косвенным признакам (факторное пространство) износа качественных описаний, смысловое содержание которых соответствует изменениям технического состояния и отражает потери объектом или его конструктивными элементами своих эксплуатационных свойств. Практическим инструментом данного направления исследований является прогнозирование изменений фактической устойчивости дымовой трубой путем анализа тренда функций отклика по данным многолетних натурных исследований, как показано на рис. 2. Так, сравнение количественных оценок с показателями развития степени аварийности позволило выделить критические области изменений состояния объекта в процессе его дальнейшей эксплуатации – интервал от 0 до 0,5, что в условном масштабе по принятой градации оценивается состоянием объекта в целом между «нестабильным» и «крайне нестабильным» (рис. 2).

При перемещении расчетных по модели (1) значений в эту область прогнозируется (табл.) инженерное решение о срочном проведении комплекса ремонтных мероприятий (например, разбор верхней части трубы), реально позволяющих повысить устойчивость части объекта, оставшегося после уменьшения его высоты. Как следует из анализа таблицы, такие ситуации прогнозировались и неоднократно отмечались с начала исследований каждый летний период года в течение более 12 лет, подтвердив тем самым правильность предлагаемого подхода к решению задачи обеспечения безопасности рассматриваемого спецсооружения. Так, например, по рис. 2 видно, что после 6 лет от начала наблюдений состояние ствола дымовой трубы в отметках 172,0–175,0 м оценено как «предаварийное». Поэтому инженерным решением на основе прогноза по модели (1) рекомендовано (табл.) разобрать верхний участок (оголовок) ствола трубы. Принятое управленческое решение о реализации рекомендаций на основе прогноза по данной методике позволило сохранить устойчивость сооружения в целом и продолжить эксплуатацию объекта в существующем режиме без риска аварии.

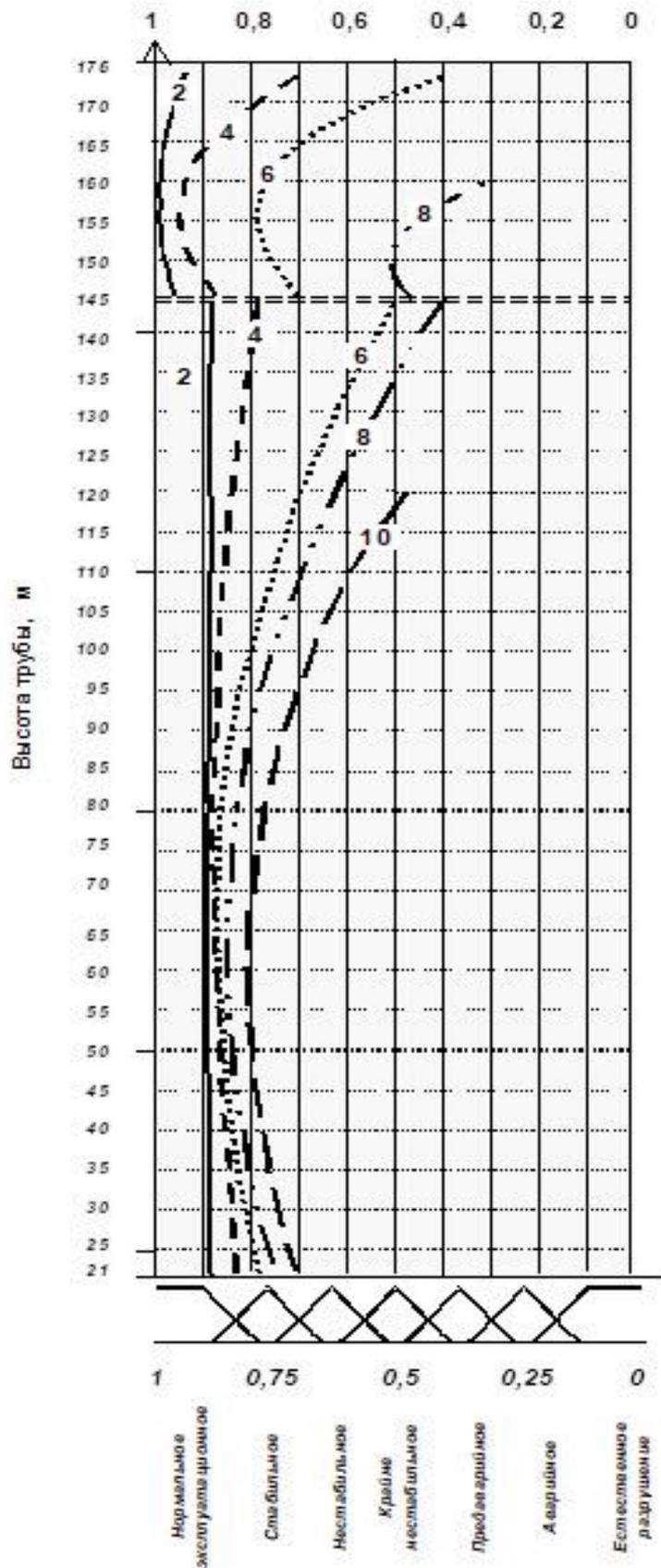


Рис. 2. Тренд функций отклика устойчивости дымовой трубы.  
Цифры у кривых – годы после начала обследования

Таблица. Результаты проактивного управления рисками при эксплуатации дымовой трубы металлургического предприятия

Год после начала обследования	Состояние объекта	Расчет по модели	Прогноз на следующий год	Прогнозируется
0	Нормальное эксплуатационное	0,962	Стабильное	–
2	Стабильное	0,823	Нестабильное	Снижение прочностных характеристик материалов и незначительные деформации. Показатель дефектности 30–40 %
4	Нестабильное	0,706	Крайне нестабильное	Прогрессирующие деформации и повреждения. Увеличение показателя дефектности до 50 %
6	Крайне нестабильное	0,512	Аварийное	Отклонение верхней части ствола трубы от вертикальной оси в двух направлениях. Смещение оголовка. Увеличение показателя дефектности до 70 %
8	Аварийное	0,321	Естественное разрушение	Прогрессирующее развитие горизонтальной трещины на отметке 145,0 м. Разрушение кладки оголовка с выпадением кирпичей

Таким образом, на практике реализовывался принцип превентивного управления безопасностью исследуемого объекта. Достоверный прогноз по нечетко-возможностной модели (1) позволял управлять рисками аварии и предупреждать разрушение объекта. При этом выбор правильных инженерных и управленческих решений по временной фиксации функциональных характеристик устойчивости объекта позволил продлить срок эксплуатации укороченной дымовой трубы в целом более чем на 12 лет.

Следовательно, адекватное прогнозирование – реальный и эффективный проактивный способ управления безопасностью рискоопасного объекта.

### Математическая модель как база знаний нечеткого логического регулятора для автоматического управления процессом

В данном примере рассмотрен процесс обжига сульфидного концентрата в агрегате кипящего слоя, который с математической точки зрения относится к трудноформализуемым в смысле создания его управляющей модели. Поэтому решалась задача построения нечетко-возможностной модели на основе явных и неявных экспертных знаний, способной вести процесс на уровне лучшего оператора-технолога и в автоматическом режиме отслеживать и прогнозировать предаварийные ситуации.

По разработанной методике [6, 10] строилась опросная матрица планирования типа  $2^{6-1}$  в факторном пространстве:  $X_1$  – скорость загрузки концентрата текущая, т/ч;  $X_2$  – скорость загрузки пыли текущая, т/ч;  $X_3$  – температура в слое, °С;  $X_4$  – градиент температуры в слое, °С/мин;  $X_5$  – пульсация давления в рабочей камере, мм водного столба;  $X_6$  – время предыстории процесса, мин;  $Y_1$  – уставка скорости загрузки концентрата, т/ч;  $Y_2$  – уставка скорости загрузки пыли, т/ч.

Математической обработкой экспертных оценок получены адекватные модели ведения процесса обжига по основным управляющим переменным  $Y_1$  и  $Y_2$ :

$$Y_1 = 12,56 + 0,77x_1 + 1,31x_2 - 0,73x_1x_2 - 1,43x_6 - 1,15x_1x_6 - 2,1x_4 + 1,83x_1x_4 - 1,24x_2x_4 - 1,19x_1x_2x_4 - 0,53x_2x_4x_6 - 0,95x_3 + 1,12x_1x_3 - 1,72x_2x_3 - 0,72x_1x_2x_3 - 1,63x_2x_3x_6 - 1,22x_3x_4 - 1,23x_3x_4x_6 - 0,75x_2x_5 + 0,56x_5x_6 - 0,55x_1x_5x_6 - 0,9x_3x_5. \quad (2)$$

$$Y_2 = 4,8 + 1,4x_2 - 0,55x_6 - 0,52x_1x_2x_4 - 0,58x_1x_2x_3 - 0,55x_2x_3x_6. \quad (3)$$

Здесь приведены только значимые коэффициенты полинома, а все переменные в стандартизованном масштабе.

Прогностические способности построенных моделей (2–3) иллюстрируются на рис. 3 сравнением расчетных и фактических данных оперативного контроля процесса в течение 400 мин с уровнем квантования одна минута.

Как следует из рис. 3, расчетные значения хорошо отслеживают логику оператора как относительно чувствительности на подъем температуры в реакционной зоне, так и ведения процесса в целом. Например, на 15-й мин рекомендуемая загрузка постепенно снижалась с учетом стабилизации температуры на уровне 1 115 °С, тогда как оператор держал процесс на «прожарке» при нулевой загрузке концентрата.

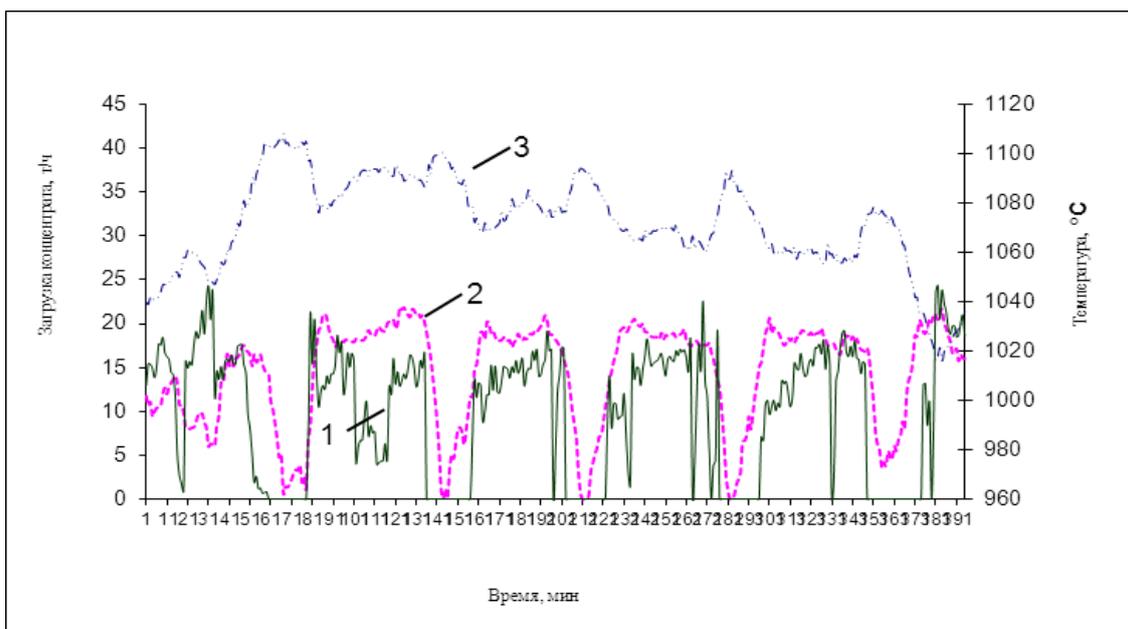


Рис. 3. Изменение загрузки концентрата в печь по времени:  
1 – фактическая; 2 – расчетная; 3 – изменение температуры в реакционной зоне

Технологические инструкции обычно предписывают границы ведения процесса по каждому фактору (переменной). Как показывает практика, сочетание значений факторов, даже в приемлемых границах, может привести к нежелательному состоянию процесса. Однако идентификация таких сочетаний возможна только расчетами по построенной нелинейной управляющей модели.

Поскольку визуализация возможна только в трехмерном пространстве, то влияние возможных сочетаний на рис. 4 показано на примере только двух переменных, оставляя остальные постоянными. Так, совместное влияние  $T^{\circ}$  и времени предыстории на управляющее воздействие  $Y_1$  – загрузку концентрата – описывается функцией отклика:

$$Y_1 = 10,59 - 4,8x_3 - 3,23x_6 - 2,45x_3x_6. \quad (4)$$

На рис. 4 отчетливо прослеживается различие логики принятия решения при возможных сочетаниях значений переменных, а также граница АВ критической области, движение процесса к которой указывает оператору приближение к предаварийному состоянию и к границе, где ведение процесса уже невозможно.

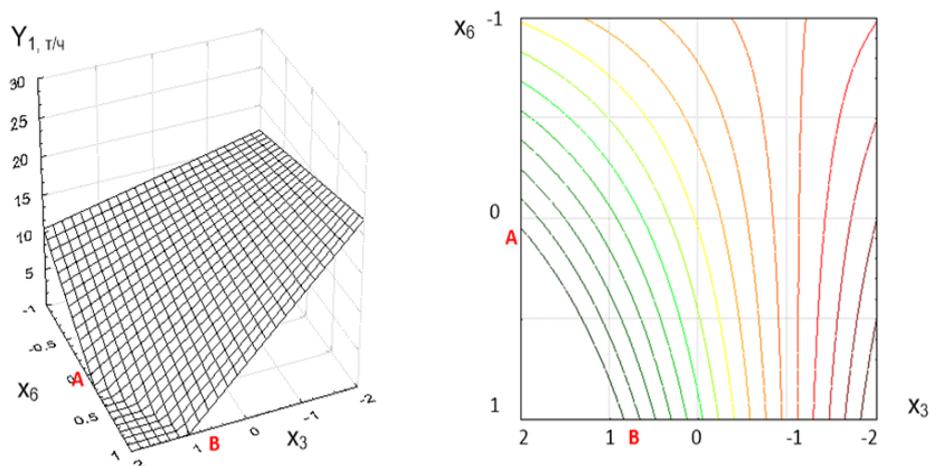


Рис. 4. Поверхность отклика принятия решения по функции (4)

Естественно предположить существование подобных областей в пространстве факторов и выше трех. Подчеркнем особо, что построенная модель автоматически представляет возможность выделения и идентификации закритических областей. Это лишний раз подтверждает адекватность модели ведению процесса и, кроме того, высокую квалификацию технолога-эксперта, в сознании которого она выработана на основании своего профессионального опыта.

Полиномиальные модели (2–3) продемонстрировали возможность автоматического управления рисками при приближении к аварийным областям функционирования объекта и были использованы как база знаний для нечеткого логического регулятора при автоматическом управлении процессом обжига сульфидного концентрата в агрегате кипящего слоя [10, 11].

### Обсуждение результатов

Оценка и прогнозирование аварийности инженерных сооружений вероятностными методами требует наличия убедительной статистики об авариях и разрушениях однотипных объектов. С одной стороны, такие ситуации по понятным причинам производствами чаще всего не афишируются, а с другой, – среди сложных объектов вряд ли найдется несколько одинаковых по конструктивным характеристикам и условиям эксплуатации, так что требование репрезентативности выборок очень проблематично.

В таких условиях повышение достоверности прогнозирования в части предупреждения ЧС и оценки безопасности объектов вероятностными методами возможно только на основе достаточно большого объема информации об авариях и катастрофах, то есть налицо явно «антигуманная» ситуация, когда для улучшения прогноза необходим количественный рост числа аварий и катастроф.

В подобной ситуации принципиально новые аппаратные средства в виде синтеза теории нечетких множеств и планирования экспериментов позволяют уйти от формального требования численного роста аварий и ЧС для повышения достоверности результатов прогноза и при выполнении расчетов учесть многокомпонентную информацию [6–8]. Применение предложенного метода в практике любой предметной области целесообразно с позиций создания адекватных математических моделей для оценивания состояния и управления безопасностью конкретных трудноформализуемых процессов [9–11].

Как показывает опыт, многофакторные нечетко-возможностные полиномиальные модели более предпочтительны к применению в области слабо формализованных систем (практически всех сложных процессов, объектов и явлений), чем детерминированные или

статистические, поскольку вбирают в себя «одушевленную» опытом и интуицией экспертную информацию. Эти же модели можно использовать также для целей оптимизации сложных объектов и более глубокого исследования, в том числе и управления рисками в техносфере [12–14].

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

### Выводы

1. В области защиты населения от промышленных аварий и катастроф данная проблема предупреждения и управления рисками аварий и негативных явлений становится приоритетной сферой государственной политики. Поэтому методологически оправданным оказалось применение нечетко-возможностных моделей для управления технологическими процессами, включая предупреждение аварийных и предаварийных ситуаций.

2. Показана высокая прогностическая способность нечетко-возможностных моделей, что позволяет делать обоснованные выводы и идентифицировать изменения физического состояния объектов в динамике в выбранном факторном пространстве.

3. При управлении рисками ЧС реализуется возможность обоснованного выбора таких технических и управленческих решений, которые позволяют избегать тяжелых последствий ЧС.

4. Нечетко-возможностный подход демонстрирует снижение трудоемкости и экономических затрат при построении адекватных математических моделей состояния трудноформализуемых объектов, процессов и явлений в широком пространстве предметных областей.

### Список источников

1. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and application to approximate reasoning-I // *Inf. Sci.* 1975. Vol. 8. P. 199–249. DOI: 6 10.1016/0020-0255(75)90036-5.

2. Nishikawa T. Fuzzy theory: The science of human intuition // *Jap. comput. quart.* 1989. №. 79. P. 25–37.

3. Fault-tolerant control systems – A holistic view / M. Blanke [et al.] // *Control engineering practice.* 1997. Vol. 5. P. 693–702. DOI: 10.1016/S0967-0661(97)00051-8.

4. Dubois D., Prade H. Possibility Theory: An approach to computerized processing of uncertainty // *New York: Plenum Press.* 1988. P. 168–170. DOI: 10.1080/03081078908935040.

5. Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. М.: Наука, 1989. 328 с.

6. Моделирование слабо формализованных систем на основе явных и неявных экспертных знаний / М.Б. Игнатъев [и др.]. СПб.: Политех-пресс, 2018. 501 с.

7. Спесивцев А.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2004. 238 с.

8. Спесивцев А.В. Мягкие измерения и мягкие вычисления при моделировании состояния сложных объектов на базе экспертных знаний // *Управление в условиях неопределенности: монография / под общ. ред. проф. С.В. Прокопчиной.* СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. С. 217–263.

9. Спесивцев А.В., Кардашев И.П. Методика количественной оценки технического состояния спецсооружений // *Добыча и переработка руд цветных металлов: сб. науч. трудов.* Норильск, 2000. С. 56–63.

10. Спесивцев А.В., Кимяев И.Т. Информационная модель нечеткого логического регулятора с интеллектуализированной базой знаний // *Управление большими системами.* 2008. Вып. 21. С. 165–172.

11. Способ автоматического управления обжигом никелевого концентрата в печи кипящего слоя: пат. Рос. Федерация RU2204616C2: МПК C22B1/10 / З.Г. Салихов,

А.В. Спесивцев, А.В. Дроздов, И.Т. Кимяев, В.Г. Степин. № 2204616.; заявл. 11.10.2000, опубл. 20.05.2003.

12. 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.

13. 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.

14. Астанков А.М., Мироненков О.В., Вагин А.В. Способ оптимального комплексирования методов неразрушающего контроля технического состояния насосных агрегатов стартовых комплексов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 6–15.

### References

1. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and application to approximate reasoning-I // *Inf. Sci.* 1975. Vol. 8. P. 199–249. DOI: 6 10.1016/0020-0255(75)90036-5.

2. Nishikawa T. Fuzzy theory: The science of human intuition // *Jap. Comput. Quart.* 1989. №. 79. P. 25–37.

3. Fault-tolerant control systems – A holistic view / M. Blanke [et al.] // *Control engineering practice.* 1997. Vol. 5. P. 693–702. DOI: 10.1016/S0967-0661(97)00051-8.

4. Dubois D., Prade H. Possibility Theory: An approach to computerized processing of uncertainty // New York: Plenum Press. 1988. P. 168–170. DOI: 10.1080/03081078908935040.

5. Kandrashina E.Yu., Litvinceva L.V., Pospelov D.A. Predstavlenie znaniy o vremeni i prostranstve v intellektual'nyh sistemah. M.: Nauka, 1989. 328 s.

6. Modelirovanie slabo formalizovannyh sistem na osnove yavnyh i neyavnyh ekspertnyh znaniy / M.B. Ignat'ev [i dr.]. SPb.: Politekh-press, 2018. 501 s.

7. Spesivcev A.V. Upravlenie riskami chrezvychajnyh situacij na osnove formalizacii ekspertnoj informacii. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2004. 238 s.

8. Spesivcev A.V. Myagkie izmereniya i myagkie vychisleniya pri modelirovanii sostoyaniya slozhnyh ob"ektov na baze ekspertnyh znaniy // Upravlenie v usloviyah neopredelennosti: monografiya / pod obshch. red. prof. S.V. Prokopchinox. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2017. S. 217–263.

9. Spesivcev A.V., Kardashev I.P. Metodika kolichestvennoj ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya specsooruzhenij // *Dobycha i pererabotka rud cvetnyh metallov: sb. nauch. trudov. Noril'sk, 2000. S. 56–63.*

10. Spesivcev A.V., Kimyaev I.T. Informacionnaya model' nechetkogo logicheskogo regulatora s intellektualizirovannoj bazoj znaniy // Upravlenie bol'shimi sistemami. 2008. Vyp. 21. S. 165–172.

11. Sposob avtomaticheskogo upravleniya obzhigom nikelovogo koncentrata v pechi kipyashchego sloya: pat. Ros. Federaciya RU2204616C2: MPK C22B1/10 / Z.G. Salihov, A.V. Spesivcev, A.V. Drozdov, I.T. Kimyaev, V.G. Stepin. № 2204616.; zayavl. 11.10.2000, opubl. 20.05.2003.

12. Skorikov D.V., Spesivcev A.V., Vagin A.V. Issledovanie vliyaniya metrologicheskikh harakteristik sredstv izmereniya na ocenku riska ekspluatatsii slozhnyh tekhnicheskikh kompleksov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2010. № 4 (16). S. 48–53.

13. Astankov A.M., Spesivcev A.V., Vagin A.V. Snizhenie riskov vozniknoveniya opasnyh posledstvij pri ekspluatatsii nasosnyh agregatov zapravochnogo oborudovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2016. № 1 (37). S. 6–14.

14. Astankov A.M., Mironenkov O.V., Vagin A.V. Sposob optimal'nogo kompleksirovaniya metodov nerazrushayushchego kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya nasosnyh agregatov startovyh kompleksov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere.* 2021. № 2 (58). S. 6–15.

*Информация об авторах:*

**Александр Васильевич Спесивцев**, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности Российской академии наук (197110, Санкт-Петербург, Корпусная ул., д. 18), доктор технических наук, доцент, e-mail: sav2050@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8928-4585>

**Александр Владимирович Вагин**, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: alexwagin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7966-4947>

*Information about the authors:*

**Alexander V. Spesivtsev**, leading researcher at the laboratory of information technologies in system analysis and modeling of the Saint-Petersburg research center for environmental safety of the Russian academy of sciences (197110, Saint-Petersburg, Korpusnaya str., 18), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: sav2050@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8928-4585>

**Alexander V. Vagin**, associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: alexwagin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7966-4947>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 20.04.2022; одобрена после рецензирования: 29.04.2022; принята к публикации: 04.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 20.04.2022; approved after review: 29.04.2022; accepted for publication: 04.05.2022

УДК 658.512

## **РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Александр Юрьевич Лабинский**✉.

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

✉[Labinsciy@yandex.ru](mailto:Labinsciy@yandex.ru)

*Аннотация.* Представлен расчет эффективности теплообменных аппаратов с различными схемами потока теплоносителей для снижения техногенных рисков. Рассмотрены прямоток, противоток, реверсивный ток, однократный и многократный перекрестный ток с различной степенью перемешивания потоков. Приведены результаты моделирования влияния схемы потока теплоносителей на тепловую эффективность. Компьютерная модель реализована в виде программы для ЭВМ, которая позволяет определять тепловую эффективность теплообменника, температурный напор, неизвестные концевые температуры и распределение температур по поверхности теплообменного аппарата. Исходными данными для расчета являются известные концевые температуры, расходы и теплоемкости сред, коэффициент теплопередачи и величина теплообменная поверхность. Поверочные расчеты теплообменных аппаратов выполняются с целью оценки эффективной и безопасной работы теплообменного оборудования, что обеспечивает предупреждение возникновения чрезвычайных ситуаций. Приведены результаты моделирования влияния схемы потока теплоносителей на тепловую эффективность.

*Ключевые слова:* возникновение чрезвычайных ситуаций, поверочные расчеты, эффективность теплообменных аппаратов, предупреждение чрезвычайных ситуаций, схема потока, теплоноситель, тепловая эффективность, теплообменные аппараты, математическая модель, программа для ЭВМ

**Для цитирования:** Лабинский А.Ю. Расчет эффективности теплообменных аппаратов для оценки опасности возникновения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 115–122.

## **CALCULATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT EXCHANGERS TO ASSESS THE RISK OF EMERGENCY**

**Alexander Yu. Labinskiy.**

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

✉[Labinsciy@yandex.ru](mailto:Labinsciy@yandex.ru)

*Abstract.* The calculation of the efficiency of heat exchangers with various flow schemes of heat carriers to reduce man-made risks is presented. The article considers a straight current, a counter current, a reverse current, a single and multiple cross current with different degree of mixing of flows. The results of modelling the influence of the heat transfer flow scheme on the thermal efficiency are presented. The computer model is implemented in the form of a computer program, which allows to determine the heat efficiency of the heat exchanger, temperature head, unknown terminal temperatures and temperature distribution over the surface of the heat exchanger. The reference data for the calculation are known endpoints, costs and capacity of the media, heat transfer coefficient and heat exchange surface value. Verification calculations of heat exchangers are carried out to assess the efficient and safe operation of heat exchangers, which ensures the prevention of emergencies. The results of modelling the influence of the heat transfer flow scheme on the thermal efficiency are presented.

*Keywords:* occurrence of emergencies, verification calculations, efficiency of heat exchanger, emergency warning, flow scheme, heat transfer, heat efficiency, heat exchangers, mathematical model, computer program

**For citation:** Labinskiy A.Yu. Calculation of the efficiency of heat exchangers to assess the risk of emergency // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 115–122.

### Введение

При экспертизе производственных зданий с целью разработки рекомендаций противопожарной защиты специалисты пожарной охраны обращают особое внимание на наличие теплообменного оборудования, содержащего теплообменные аппараты (ТА). В случае наличия ТА производится замер температур теплоносителей. Если значения температур выходят за рамки, регламентируемые технологическим процессом, это создает повышенную опасность возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС).

С целью предупреждения ЧС, по требованию специалистов пожарной охраны, инженеры-теплотехники выполняют поверочные расчеты ТА по оценке эффективной и безопасной работы теплообменного оборудования.

Таким образом, решаемой задачей является разработка компьютерной модели расчета эффективности ТА с различными схемами потока теплоносителей, реализованной в виде программы для ЭВМ.

### ТА с различными схемами потока

Вопросам оценки эффективности ТА с различными схемами потока теплоносителей посвящены работы многих авторов [1–10]. В зависимости от взаимного направления потоков теплоносителей в группе ТА с переменной температурой обоих теплоносителей различают прямоток, противоток, перекрестный ток, реверсивный ток и сложные схемы тока.

Схемы тока теплоносителей, значения индекса противоточности  $P_{\text{Э}}$  и коэффициента схемы тока  $F_{\text{Ф}}$  в рекуперативных ТА представлены в таблице.

Таблица

Характеристика потоков	Направление тока	Индекс $P_{\text{Э}}$	Коэффициент $F_{\text{Ф}}$
	Прямоток/Противоток	1/0	1/0
Не перемешаны	Однократный перекрестный	0,76	0,86
Перемешаны	Однократный перекрестный	0,496	0,50
Греющий не перемешан	Однократный перекрестный	0,60	0,70
Нагреваемый не перемешан	Однократный перекрестный	0,57	0,64
	Реверсивный	0,50	0,40
Перемешаны 2 хода	Многократный перекрестный Прямоточное соединение	0,124	0,660
Перемешаны 3 хода	Многократный перекрестный Прямоточное соединение	0,055	0,765
Перемешаны 2 хода	Многократный перекрестный Противоточное соединение	0,876	0,660
Перемешаны 3 хода	Многократный перекрестный Противоточное соединение	0,946	0,765

Схемы однократного и многократного перекрестного тока обычно выделяют в три группы в зависимости от наличия градиента температуры теплоносителя в сечениях ТА, нормальных к направлению движения теплоносителя. Если жидкость движется внутри труб, а газ движется перпендикулярно к пучку труб и может свободно перемешиваться в межтрубном пространстве, то его температура в сечении, нормальном к направлению движения газа, выравнивается. Так как жидкость внутри пучка труб движется отдельными потоками, в сечении пучка труб всегда имеет место градиент температур.

В рекуперативных ТА наибольший тепловой поток достигается в противоточной схеме движения теплоносителей, а наименьший – в прямоточной схеме.

### Расчет тепловой эффективности ТА

При расчете тепловой эффективности ТА используются следующие функции полных теплоемкостей массовых расходов и безразмерные комплексы. Функции полных теплоемкостей массовых расходов:

$$A = W_{\min}/W_{\max} = \Delta t_{\min}/\Delta t_{\max}; \quad R = 1/A = W_{\max}/W_{\min} = \Delta t_{\max}/\Delta t_{\min}.$$

Безразмерные комплексы:

$$P = \Delta t_{\min}/(t_{1\text{вх}} - t_{2\text{вх}}); \quad S = F \cdot k/W_{\min},$$

где  $W$  – полная теплоемкость массового расхода, Вт/К;  $S$  – число единиц переноса теплоты, которое характеризует интенсивность переноса тепла в ТА. Величины  $A$ ,  $R$  и  $P$  для нагревателей и охладителей различны:

– нагреватели:

$$A = W_2/W_1 = (t_{1\text{вх}} - t_{1\text{вых}})/(t_{2\text{вых}} - t_{2\text{вх}}); \\ R = W_1/W_2 = (t_{2\text{вых}} - t_{2\text{вх}})/(t_{1\text{вх}} - t_{1\text{вых}}); \quad P = (t_{1\text{вх}} - t_{1\text{вых}})/(t_{1\text{вх}} - t_{2\text{вх}});$$

– охладители:

$$A = W_1/W_2 = (t_{2\text{вых}} - t_{2\text{вх}})/(t_{1\text{вх}} - t_{1\text{вых}}); \\ R = W_2/W_1 = (t_{1\text{вх}} - t_{1\text{вых}})/(t_{2\text{вых}} - t_{2\text{вх}}); \quad P = (t_{2\text{вых}} - t_{2\text{вх}})/(t_{1\text{вх}} - t_{2\text{вх}}).$$

Обычно тепловая эффективность ТА определяется при определенных допущениях, среди которых можно выделить следующие допущения:

- тепловые потери малы и ими можно пренебречь ( $\varepsilon_{q1} = \varepsilon_{q2} = 1$ );
- теплоемкости теплоносителей постоянны;
- коэффициенты теплопередачи постоянны;
- агрегатное состояние теплоносителей не изменяется.

При этих допущениях тепловую эффективность  $\eta$  ТА можно определить по следующим формулам:

- 1) *Противоток*:  $\eta = \{1 - \exp[-S \cdot (1 - A)]\} / \{1 - A \cdot \exp[-S \cdot (1 - A)]\}$ ;
- 2) *Прямоток*:  $\eta = \{1 - \exp[-S \cdot (1 + A)]\} / (1 + A)$ .

*Однократный перекрестный ток*:

- 3) Теплоносители не перемешаны:

$$\eta = \exp\{[\exp(-A \cdot S^{0,78}) - 1] \cdot R \cdot S^{0,22}\}. \quad (1)$$

- 4) Теплоносители перемешаны:

$$\eta = 1 / \{1 / (1 - \exp(-S)) + A \cdot [(1 - \exp(-A \cdot S)) - 1]\}. \quad (2)$$

5) Теплоноситель  $W_{\max}$  перемешан,  $W_{\min}$  не перемешан:

$$\eta = \{ 1 - \exp \{-A*[1 - \exp(-S)]\} \} / A. \quad (3)$$

6) Теплоноситель  $W_{\max}$  не перемешан,  $W_{\min}$  перемешан:

$$\eta = 1 - \exp\{-R*[1 - \exp(-A*S)]\}. \quad (4)$$

*Множественный перекрестный ток:*

7) Противоток ходов:

$$\eta = \{ [(1-\eta_i)/(1-A*\eta_i)]^m - 1 \} / \{ A*(1-\eta_i)/(1-A*\eta_i)^m - 1 \}$$

при  $A=1$ :  $\eta = \eta_i^m / [1 + (m - 1)*\eta_i]$ , где  $\eta_i$  – эффективность одного хода, определяется по формулам (1–4);  $m$  – число ходов.

8) Прямоток ходов:

$$\eta = \{ 1 - [1 - \eta_i*(A + 1)]^m \} / (A + 1).$$

9) Ходы параллельны:

$$\eta = \eta_i * [m - (A/m)*\Sigma\eta_i] / m.$$

10) *Реверсивный ток:*

$$\eta = 2 / \{ 1 + A + [1 + \exp(-S*\sqrt{1 + A^2})]*\sqrt{1 + A^2} / [1 - \exp(-S*\sqrt{1 + A^2})] \}.$$

При изменении агрегатного состояния одного из теплоносителей, когда его температура постоянная, можно считать его теплоемкость бесконечно большой. Тогда водяной эквивалент  $W_{\max}=\infty$  и  $A=0$ . В этом случае тепловую эффективность ТА можно определить по формуле:  $\eta=1 - \exp(-S)$ .

### Компьютерная модель расчета эффективности ТА

На основании приведенных выше зависимостей была разработана компьютерная модель расчета эффективности ТА с различными схемами потока теплоносителей, реализованная в виде программы для ЭВМ.

Интерфейс программы расчета эффективности ТА с различными схемами потока теплоносителей представлен на рис. 1.

Программа позволяет выводить окно с эскизами различных схем потока теплоносителей в ТА (рис. 2).

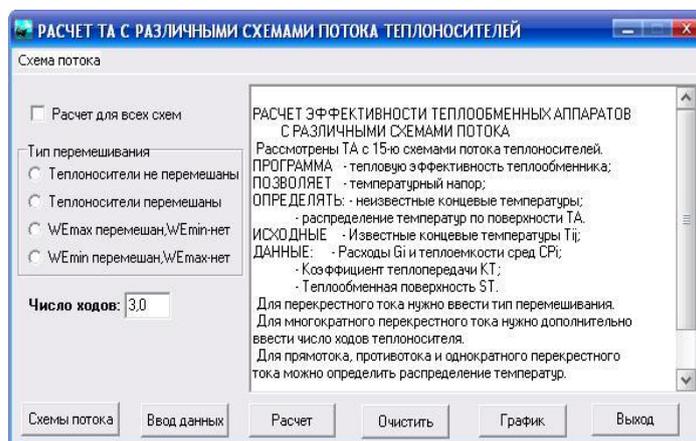


Рис. 1. Интерфейс программы расчета эффективности ТА с различными схемами потока

Рассмотрены ТА с различными схемами потока теплоносителей (противоток, прямоток, однократный и многократный перекрестный ток с различной степенью перемешивания теплоносителей и с противоточным, прямоточным и параллельным включением ходов, реверсивный ток).

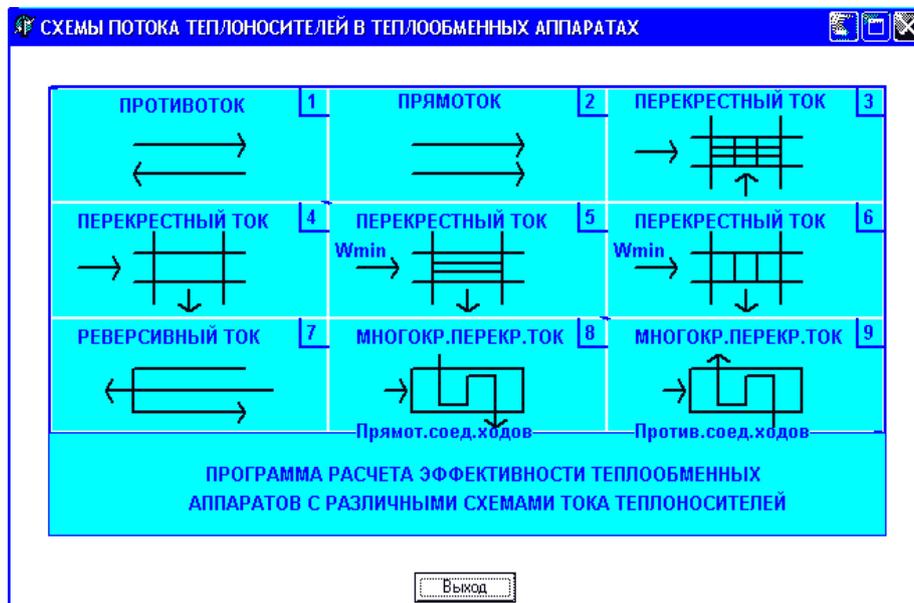


Рис. 2. Различные схемы тока теплоносителей в ТА

Программа позволяет определять:

- тепловую эффективность теплообменника;
- температурный напор;
- неизвестные конечные температуры;
- распределение температур по поверхности ТА.

Исходными данными являются:

- известные конечные температуры;
- расходы и теплоемкости сред;
- коэффициент теплопередачи;
- теплообменная поверхность.

Дано:

$$G_1=4,5 \text{ кг/с}; C_{p1}=2 \text{ 380 Дж/кг/К}; G_2=8,6 \text{ кг/с}; C_{p2}=2510 \text{ Дж/кг/К}; \\ t_{1\text{вх}}=313 \text{ К}; t_{1\text{вых}}=313 \text{ К}; t_{2\text{вх}}=230 \text{ К}; t_{2\text{вых}}=253 \text{ К}; k=235 \text{ Вт/м}^2\text{/К}; F=45 \text{ м}^2.$$

Величина полной теплоемкости массового расхода (водяной эквивалент) равна:

$$W=G \cdot C_p \text{ [кВт/К]}, W_1=G_1 \cdot C_{p1}, W_2=G_2 \cdot C_{p2}.$$

Для перекрестного тока нужно ввести тип перемешивания. Для многократного перекрестного тока нужно дополнительно ввести число ходов теплоносителя. Для прямотока, противотока и однократного перекрестного тока можно определить распределение температур.

В результате расчета эффективности ТА для четырех схем потока получены следующие значения: противоток –  $\eta=0,56$ ; прямоток –  $\eta=0,51$ ; однократный перекрестный ток –  $\eta=0,54$ ; реверсивный ток –  $\eta=0,535$ .

Распределение температур теплоносителей по длине поверхности теплообмена ТА определяется из уравнений:

– для прямотока (здесь  $x$  – текущая координата по длине ТА,  $L$  – длина ТА):

$$(t_{1ВХ} - t_1)/(t_{1ВХ} - t_{2ВХ}) = [1 - \exp(-(1 + W_1/W_2)*(k*F/W_1)*(x/L))]/[1 + W_1/W_2];$$

$$(t_2 - t_{2ВХ})/(t_{1ВХ} - t_{2ВХ}) = (W_1/W_2)*[1 - \exp(-(1 + W_1/W_2)*(k*F/W_1)*(x/L))]/[1 + W_1/W_2];$$

– для противотока:

$$(t_{1ВХ} - t_1)/(t_{1ВХ} - t_{2ВХ}) = [1 - \exp(-(1 - W_1/W_2)*(k*F/W_1)*(x/L))]/[1 - W_1/W_2*\exp(-(1 - W_1/W_2)*(k*F/W_1))];$$

$$(t_2 - t_{2ВХ})/(t_{1ВХ} - t_{2ВХ}) = (W_1/W_2)*[1 - \exp(-(1 - W_1/W_2)*(k*F/W_1)*(x/L))]/[1 - W_1/W_2*\exp(-(1 - W_1/W_2)*(k*F/W_1))].$$

Для перекрестного тока при расчете распределения температур нужно ввести длину и ширину поверхности (рис. 3, 4).



Рис. 3. Распределение температур при противотоке



Рис. 4. Распределение температур при прямотоке

### Определение конечных температур

Формулы определения неизвестных конечных температур используют две функции тепловой эффективности – эффективность охлаждения  $\Phi$  и эффективность нагрева  $Z$ :

$$\Phi = (t_{1ВХ} - t_{1ВЫХ}) / (t_{1ВХ} - t_{2ВХ}); \quad Z = (t_{2ВЫХ} - t_{2ВХ}) / (t_{1ВХ} - t_{2ВХ}).$$

Расчет конечных температур выполняют в следующем порядке:

– после определения тепловой эффективности ТА  $\eta$  рассчитывают эффективность нагрева:  $P = \eta/R$ , где  $R = 1/A = W_{\max}/W_{\min} = \Delta t_{\max}/\Delta t_{\min}$ ;

– определяют значения функций тепловой эффективности: для охладителя  $\Phi = \eta$  и  $Z = P$ ; для нагревателя  $\Phi = P$  и  $Z = \eta$ ;

– зная значения функций тепловой эффективности, определяют неизвестные конечные температуры.

Заданы температуры  $t_{1ВХ}$  и  $t_{2ВХ}$ , тогда:

$$t_{1ВЫХ} = t_{1ВХ} - \Phi * (t_{1ВХ} - t_{2ВХ});$$

$$t_{2ВЫХ} = t_{2ВХ} + Z * (t_{1ВХ} - t_{2ВХ}).$$

Заданы температуры  $t_{1ВХ}$  и  $t_{2ВЫХ}$ , тогда:

$$t_{1ВЫХ} = t_{1ВХ} * (1 + \Phi / (Z - 1)) * t_{2ВЫХ} * \Phi / (Z - 1); \quad t_{2ВХ} = t_{1ВХ} + Z / (Z - 1) * t_{2ВЫХ} / (Z - 1).$$

Заданы температуры  $t_{1ВЫХ}$  и  $t_{2ВХ}$ , тогда:

$$t_{1ВХ} = t_{1ВЫХ} / (1 - \Phi) - t_{2ВХ} * \Phi / (1 - \Phi); \quad t_{2ВЫХ} = t_{2ВХ} + Z / (1 - \Phi) + t_{2ВХ} * (1 - Z) / (1 - \Phi).$$

Заданы температуры  $t_{1ВЫХ}$  и  $t_{2ВЫХ}$ , тогда:

$$t_{1ВХ} = t_{1ВЫХ} * (Z - 1) / (Z - 1 + \Phi) + t_{2ВЫХ} * \Phi / (Z - 1 + \Phi);$$

$$t_{2ВХ} = t_{1ВЫХ} + Z / (Z - 1 + \Phi) + t_{2ВЫХ} * (\Phi - 1) / (Z - 1 + \Phi).$$

Заданы температуры  $t_{1ВХ}$  и  $t_{1ВЫХ}$ , тогда:

$$t_{2ВХ} = t_{1ВХ} * (1 - 1/\Phi) + t_{1ВЫХ} / \Phi; \quad t_{2ВЫХ} = t_{1ВХ} * [1 + (Z - 1)/\Phi] - t_{1ВЫХ} * (Z - 1) / \Phi.$$

Заданы температуры  $t_{2ВХ}$  и  $t_{2ВЫХ}$ , тогда:

$$t_{1ВХ} = t_{2ВХ} * (1 - 1/Z) + t_{2ВЫХ} / Z; \quad t_{1ВЫХ} = t_{2ВХ} * [1 - (1 - \Phi) / Z] + t_{2ВЫХ} * (1 - \Phi) / Z.$$

### Вывод

Разработана компьютерная модель расчета ТА с различными схемами потока теплоносителей, реализованная в виде программы для ЭВМ. Программа позволяет определять тепловую эффективность теплообменника, температурный напор, неизвестные конечные температуры и распределение температур по поверхности ТА.

В результате вычислительных экспериментов на ЭВМ произведена оценка тепловой эффективности ТА для четырех схем потока: противоток, прямоток, однократный перекрестный ток и реверсивный ток.

Опасность возникновения ЧС (пожара) возникает при выходе значений входных и выходных температур теплоносителей в ТА за регламентированные пределы более чем на 30 %.

### Список источников

1. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. М.: Высшая школа, 2012.
2. Кошмаров Ю.А. Теплотехника. М.: ИЦ «Академкнига», 2007.
3. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника. М.: Лань, 2012.
4. Теплотехника. Практический курс / Г.А. Круглов [и др.]. М.: Лань, 2017.
5. Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М. Тепломассообмен. М.: Лань, 2018.
6. Логинов В.С., Юхнов В.Е. Практикум по основам теплотехники. М.: Лань, 2019.
7. Золотонос Я.Д., Батоутдинова А.Г., Золотонос А.Я. Трубчатые теплообменники. Моделирование, расчет: монография. М.: Лань, 2018.
8. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
9. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
10. Winter F.W. Technische Wärmelehre. Essen, 2017.

### References

1. Alekseev G.N. Obshhaya teplotexnika. M.: Vy`sshaya shkola, 2012.
2. Koshmarov Yu.A. Teplotexnika. M.: ICz «Akademkniga», 2007.
3. Kruglov G.A., Bulgakova R.I., Kruglova E.S. Teplotexnika. M.: Lan`, 2012.
4. Teplotexnika. Prakticheskij kurs / G.A. Kruglov [i dr.]. M.: Lan`, 2017.
5. Deryugin V.V., Vasil`ev V.F., Ulyasheva V.M. Teplomassoobmen. M.: Lan`, 2018.
6. Loginov V.S., Yuxnov V.E. Praktikum po osnovam teplotexniki. M.: Lan`, 2019.
7. Zolotonosov Ya.D., Batoutdinova A.G., Zolotonosov A.Ya. Trubchaty`e teploobmenniki. Modelirovanie, raschet: monografiya. M.: Lan`, 2018.
8. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
9. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
10. Winter F.W. Technische Wärmelehre. Essen, 2017

### *Информация об авторах:*

**Александр Юрьевич Лабинский**, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

### *Information about the authors:*

**Alexander Yu. Labinskiy**, associate professor of the department of applied mathematics and information technology of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.03.2022; одобрена после рецензирования: 04.05.2022; принята к публикации: 11.05.2022

### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.03.2022; approved after review: 04.05.2022; accepted for publication: 11.05.2022

УДК 656.13

## **АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ФЛОТА ОДНОПАЛУБНЫХ ПРОГУЛОЧНЫХ ТЕПЛОХОДОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В КОНТЕКСТЕ КОНТРОЛЯ ОПАСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**Ольга Владимировна Ложкина<sup>✉</sup>;**

**Константин Борисович Мальчиков.**

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

<sup>✉</sup>*oljkina@yandex.ru*

*Аннотация.* Приведены результаты анализа структуры флота однопалубных пассажирских теплоходов Санкт-Петербурга по типам судовых проектов и характеристикам их силовых установок, включая среднюю мощность, возраст, расход топлива, показатели выбросов загрязняющих веществ. Установлено, что на внутренних водных путях в центральной части города эксплуатируются преимущественно отечественные прогулочные теплоходы типовых проектов «Мойка» (39 %), «Фонтанка» (29 %), «КС-100» (11 %), «КС-110» (9 %) и др. (12 %); средний возраст судов составляет 19,5 лет. Суда в основном оснащены двигательными установками российского производства (двигателями ЯМЗ – Ярославского моторного завода), белорусского производства (двигателями серии «Д» Минского моторного завода), итальянского производства (двигателями IVECO). Усредненные удельные выбросы поллютантов сопоставимы с аналогичными показателями европейской методики ЕМЕР/ЕЕА, но превышают значения, используемые в американской методике ЕРА NONROAD. Проведенное исследование позволило сформировать первичную базу исходных данных для последующей оценки выбросов поллютантов и загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга однопалубными пассажирскими теплоходами.

*Ключевые слова:* однопалубные пассажирские теплоходы, судовые двигатели, выбросы вредных веществ, загрязнение атмосферы

**Для цитирования:** Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Анализ структуры флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга в контексте контроля опасного воздействия на окружающую среду // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 123–134.

## **ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE FLEET OF SINGLE-DECK RECREATIONAL MOTOR SHIPS OF SAINT-PETERSBURG IN THE CONTEXT OF CONTROL OF HAZARDOUS ENVIRONMENTAL IMPACT**

**Olga V. Lozhkina<sup>✉</sup>;**

**Konstantin B. Malchikov.**

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

<sup>✉</sup>*oljkina@yandex.ru*

*Abstract.* The article presents the results of the analysis of the structure of the fleet of single-deck passenger motor ships in Saint-Petersburg by types of ship projects and characteristics of their engines, including average power, age, fuel consumption, and pollutant emissions. It has been established that Russian-made recreational boats dominate on the inland waterways in the central part of the city: «Moika» (39 %), «Fontanka» (29 %), «KS-100» (11 %), «KS-110» (9 %); the average age of ships is 19,5 years. The vessels are mainly equipped with Russian-made propulsion systems (YaMZ-engines produced by Yaroslavl motor plant), Belarusian-made (D-series engines produced by the Minsk motor plant), Italian-made (IVECO engines). The average specific emissions of pollutants are comparable to those of the European EMER/EEA methodology,

but exceed the values used in the American EPA NONROAD methodology. The study allows to form a primary base of initial data for the subsequent assessment of pollutant emissions and atmospheric air pollution in St. Petersburg by single-deck passenger motor ships.

*Keywords:* single-deck passenger ships, engines, emissions of harmful substances, air pollution

**For citation:** Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Analysis of the structure of the fleet of single-deck recreational motor ships of Saint-Petersburg in the context of control of hazardous environmental impact // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 123–134.

## Введение

Санкт-Петербург является одним из основных туристических центров Российской Федерации. Например, в 2018 г. северную столицу посетило около 8,2 млн туристов, из которых 3,9 млн составили иностранные граждане и 4,3 млн – граждане Российской Федерации, а прирост турпотока в сравнении с 2017 г. при этом составил 9,3 %. В 2020 г., в период пандемии COVID-19, произошел значительный спад туристических потоков: наш город посетило около 2,9 млн туристов, из которых 2,4 млн – граждане Российской Федерации [1]. В 2022 г., учитывая улучшение эпидемиологической обстановки, связанной со снижением заболеваемостью населения COVID-19, но сохраняющуюся напряженность геополитической обстановки, в городе ожидается увеличение турпотока за счет туристов из других регионов нашей страны.

Транспортная инфраструктура исторического центра Санкт-Петербурга, в силу объективных обстоятельств, испытывает серьезную нагрузку. Основным источником загрязнения воздушной среды является автотранспорт, однако в летний период негативное влияние автотранспортных средств на качество среды обитания усугубляется выбросами загрязняющих веществ двигательными установками судов. Санкт-Петербург имеет одну из самых развитых в мире систем водного транспорта. Общая протяженность всех водных артерий Санкт-Петербурга достигает 282 км, при этом в историческом центре города находится порядка 30 км внутренних водных путей, которые составляют реки и каналы: Фонтанка, Мойка, канал Грибоедова, Крюков канал. Движение на этих водных участках в период навигации достаточно интенсивное в течение практически всего периода навигации [2, 3].

Высокая интенсивность движения автотранспортных средств и судов в центре города, исторически неприспособленного к таким транспортным нагрузкам, плотная застройка в сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями приводят к высокому уровню загрязнения воздушной среды, о чем свидетельствуют данные Государственных докладов [4]. Так, например, в 2019 г. среднегодовые концентрации диоксида азота и озона в центральной части города составили соответственно 1,4 и 1,6 предельно допустимой концентрации (ПДК), а превышение максимально разовых ПДК достигало соответственно 2,3 и 1,3 раз.

Для мониторинга и прогнозирования вклада различных источников в суммарное загрязнение приземного воздуха широко используются расчетные методы [5–7]. В Российской Федерации одновременно действуют несколько официальных расчетных методик для инвентаризации выбросов автотранспорта, постоянно развивающихся и дополняющихся с учетом динамики изменения структуры парка автомобилей и условий их эксплуатации [8].

В то же время следует признать, что на сегодняшний день в нашей стране нет официальных методик для расчета выбросов загрязняющих веществ двигательными установками маломерных и однопалубных судов.

Из числа зарубежных методик следует выделить, прежде всего, американскую методику EPA NONROAD и европейскую ЕМЕП/ЕЕА, детально проанализированных в работах [9, 10]. Данные расчетные подходы отличаются такими исходными данными, как количество эксплуатируемых судов определенного типа, средний возраст их силовых установок, интенсивность эксплуатации, коэффициенты выбросов и др.

Целью настоящей работы явился анализ типовой и возрастной структуры флота однопалубных прогулочных теплоходов, эксплуатируемых на внутренних водных путях исторического центра Санкт-Петербурга, изучение основных технических характеристик двигателей внутреннего сгорания (ДВС), на них использующихся, и анализ доступной справочной информации по удельным показателям выбросов ключевых поллютантов.

### Методы исследования

Для расчета выбросов загрязняющих веществ двигательными установками судов используются известные расчетные подходы, детально проанализированные в статье [10]. Для проведения расчетов требуется создать информационную базу входных данных, содержащую сведения о количестве судов, их типовой и возрастной структуре, типах и мощности судовых двигателей, а также базовые коэффициенты выбросов (усредненных удельных выбросов) загрязняющих веществ для каждой из учетных категорий судов, в данном случае – флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга.

Методика исследования включала сбор, систематизацию и сравнительный анализ сведений, доступных в открытых источниках информации:

– о типовой и возрастной структуре флота однопалубных пассажирских теплоходов, зарегистрированных в Санкт-Петербурге (источник информации: официальный интернет-портал Федерального автономного учреждения «Российский речной регистр», а именно Регистровая книга и ее соответствующие разделы [11]);

– о технических характеристиках их силовых двигательных установок (источники информации: официальный сайт Российского речного регистра [11] и официальные интернет-ресурсы производителей соответствующих ДВС или дилеров, занимающихся их реализацией [12–17]);

– об удельных выбросах загрязняющих веществ (источники информации: научные публикации [18–22]).

### Результаты исследования и их обсуждение

Ограниченная высота пролетов мостов и ширина самих водных путей в центре Санкт-Петербурга делает невозможным эксплуатацию на них двухпалубных длинных судов, в связи с чем начиная с 1974 г., в этих целях выпускаются специальные однопалубные теплоходы ограниченной высоты и длины (первое судно такого типа проекта Р-118 до сих пор исправно служит на реках и каналах Санкт-Петербурга).

На рис. 1 приведены фотографии потоков однопалубных прогулочных теплоходов на р. Фонтанке (рис. 1 а) и на Крюковом канале (рис. 1 б).

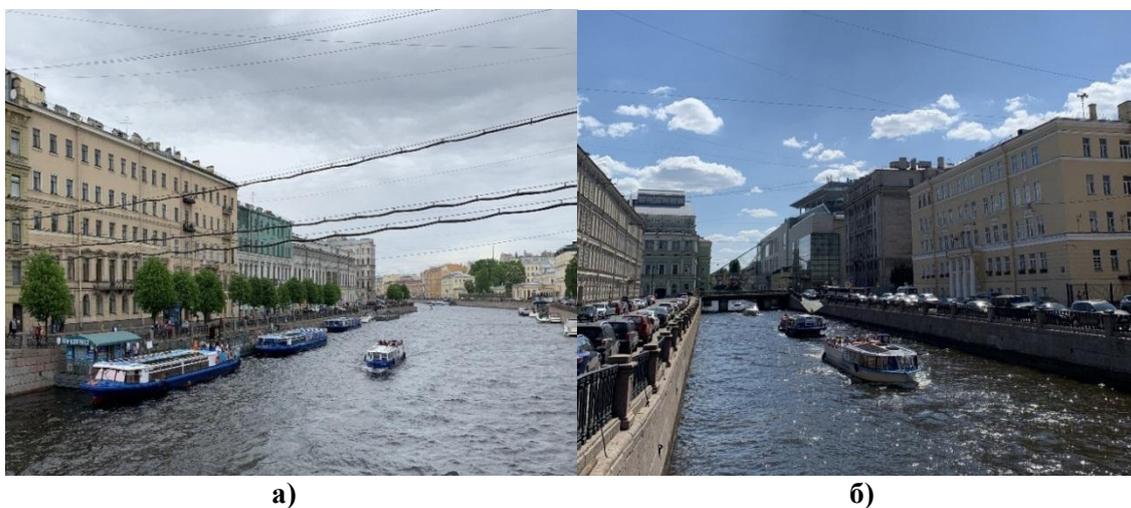


Рис. 1. Потоки маломерных судов и однопалубных речных теплоходов в историческом центре Санкт-Петербурга на Фонтанке (а) и Крюковом канале (б)

По состоянию на 2021 г., на основании данных Регистровой книги Российского речного регистра, в Санкт-Петербурге зарегистрировано 143 однопалубных пассажирских теплохода отечественного производства, эксплуатация которых, по информации соответствующих туристических интернет-порталов [23–25], также приходится на Санкт-Петербург. На рис. 2 приведена диаграмма, отражающая структуру однопалубных пассажирских теплоходов Санкт-Петербурга по типу проекта.

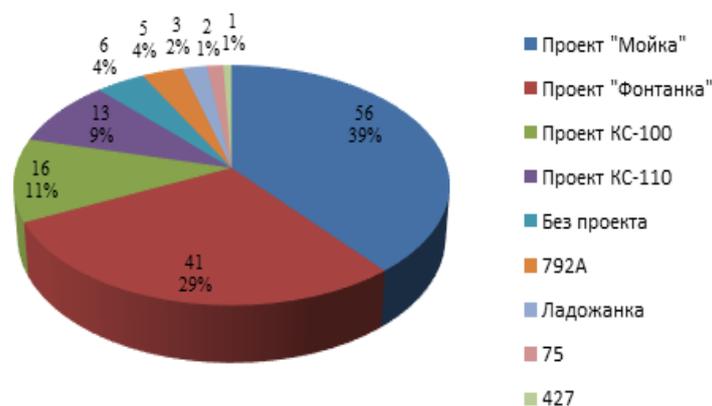


Рис. 2. Структура флота однопалубных пассажирских судов Санкт-Петербурга по типу проекта

Анализ данных диаграммы показывает, что большинство однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге произведено по проектам, разработанным в СССР. Тем не менее производство однопалубных пассажирских теплоходов продолжается и на современном этапе на предприятиях Санкт-Петербурга и Ленинградской обл. В табл. 1 представлены основные характеристики однопалубных пассажирских теплоходов, эксплуатирующихся на водных путях Санкт-Петербурга.

Таблица 1. Основные характеристики однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге

Проект судна	Длина констуктив., м	Ширина констуктив., м	Надводный борт, м	Водоизмещение, т	Пассажировместимость, чел.	Типовые двигательные установки	Производитель
1	2	3	4	5	6	7	8
Ладожанка	14,50	3,00	0,62	21,3	30-50	Д-243 IVECO N67 MNA M 15	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
Фонтанка							
2105	19,13	4,85	0,79	37,53	50	ЯМЗ-238ГМ2	–
Р-118	19,00	4,75	0,65	42,81	50-80	ЯМЗ-238М ЯМЗ-238ГМ2	ОАО «Свирская судовой верфь» (Подпорожский судоремонтный завод)
Р-118М	19,00	4,75	0,65	42,00	50	ЯМЗ-238М ЯМЗ-238ГМ2	
Р-118.2	19,00	4,75	0,65	42,81	50	ЯМЗ-238ГМ2	ООО «Лимендский судостроительный завод», г. Котлас, Архангельская обл.
Р-118.3	19,00	4,75	0,67	46,12	40	ЯМЗ-238М	ОАО «Свирская судовой верфь» (Подпорожский судоремонтный завод)

1	2	3	4	5	6	7	8
Р-118В	19,00	4,83	0,70	39,20	50	Д-245	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
ПР-1606	17,10	3,10	0,60	24,20	50	Д-245	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
Фонтанка-1	19,40	4,85	0,75	37,50	50	ЯМЗ-238М	ОАО «Свирская судовой верфь» (Подпорожский судоремонтный завод)
Фонтанка-2020	20,50	4,83	0,72	41,84	100	СД 140	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
82880	20,20	4,90	0,69	28,00	50	–	СПб ГУП «Экострой», Санкт-Петербург
Мойка							
82500	12,89	3,38	0,52	19,33	30-50	IVECO N67 MNA M 15 IVECO 8045 M08 Д-243 Д-245	ЗАО «Петротранс Инжиниринг», Санкт-Петербург
82510	18,63	4,85	0,76	40,4	50	IVECO N67 MNA M 15 ЯМЗ-236СР ЯМЗ-238ГМ2 Д-242 Д-243	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
82520	16,70	4,01	0,65	26,60	40	ЯМЗ-236СР	ООО «Ладожская верфь», г. Новая Ладога, Ленинградская обл.
82544	14,82	3,36	0,52	17,70	36-45	IVECO 8045 M08	ООО «Фирма»ЭОЛ», Санкт-Петербург
82544А	15,01	3,40	0,52	21,15	35	IVECO N45 MNA M 10	
82840	20,70	5,50	0,85	31,6	55	Д-245	
82850	15,93	3,40	0,53	-	35	IVECO N45 MNA M 10	
Мойка-500	14,20	3,50	0,62	21,75	50	Д-245	–
75	20,66	5,40	0,62	32,82	100	TD 2011 L04 W	ООО «Ладожский транспортный завод», г. Шлиссельбург, Ленинградская обл.
КС-100	16,70	4,01	0,54	24,60	40	ЯМЗ-236М	АО «Костромской судомеханический завод», г. Кострома
КС-100А	12,00	2,80	0,55	9,70	26-40	ЯМЗ-238ГМ2 Д-243 Д-245	
КС-100М	13,30	3,30	0,59	15,90	–	ЯМЗ-236СР Д-243 Д-244	
КС-100МП	14,30	3,40	0,73	16,30	40	ЯМЗ-236М	
КС-100П	13,50	2,90	0,65	–	10	Д-243	
КС-110П	15,60	3,30	0,58	18,50	18-50	Д-240 Д-243 ЯМЗ-236СР IVECO N45 MNA M 10	
КС-110М	15,60	3,30	0,58	19,50	50	IVECO 8065 M12 Д-243 ЯМЗ-236СР	
427	19,0	4,75	0,77	37,50	60	Д-243	
792А	18,00	4,20	0,66	25,70	40	ЯМЗ-236СР	АО «Ростовский судоремонтный завод «Прибой», г. Ростов-на-Дону

Что касается силовых двигательных установок, то на однопалубных пассажирских теплоходах, эксплуатирующихся в Санкт-Петербурге, используются, в основном, двигатели серии «Д» производства Минского моторного завода, судовые двигатели серии «ЯМЗ» производства Ярославского моторного завода и судовые двигатели итальянской компании IVECO. Их основные технические характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики двигателей внутреннего сгорания, используемых на однопалубных пассажирских теплоходах Санкт-Петербурга

Марка двигателя	Тип двигателя	Ном. мощность двигателя, кВт	Ном. расход топлива, г/кВт·час	Кол-во, ед.	%
Д-243 [12]	дизельный	59,6	226	25	17,48
Д-245 [12]	дизельный	77	220	15 (17)*	10,49
Д-242 [12]	дизельный	45,6	226	4 (8)*	2,79
Д-240 [12]	дизельный	59	238	2	1,40
Д-244 [12]	дизельный	43,5	230	1	0,70
ЯМЗ-238ГМ2 [13]	дизельный	132	228	36 (37)*	25,17
ЯМЗ-238М [13]	дизельный	176	227	9	6,30
ЯМЗ-236СР [13]	дизельный	176	227	8	5,60
ЯМЗ-236М [13]	дизельный	132	227	8	5,60
СД-140 [14]	дизельный	60	220	1	0,70
IVECO 8045 M08 [15]	дизельный	59	223	16	11,18
IVECO N67 MNA M 15 [15]	дизельный	99,5	230	8	5,60
IVECO N45 MNA M 10 [15]	дизельный	63	222	3	2,09
IVECO 8065 M12 [15]	дизельный	84	225	2	1,40
TD 2011 L04 W [16]	дизельный	68	223	2	1,40
Vetus DEUTZDTA44423D [16]	дизельный	93	202	1	0,70
HYUNDAI DD6BR [17]	дизельный	97	160	2	1,40

Примечание: \* при парной установке двигателя

Анализ вышеуказанных данных позволяет сделать вывод о средней мощности судового двигателя однопалубных пассажирских теплоходов, используемых в Санкт-Петербурге, которая составляет около 97,7 кВт, а удельный расход топлива таких судов составляет в среднем 224,8 г/кВт·час. Около 76,2 % всех судовых двигателей однопалубных пассажирских теплоходов коммерческого назначения приходится на российских и белорусских производителей, а 23,8 % – на иностранных (причем 20,3 % из них приходится на итальянскую компанию IVECO, 2,1 – % на немецкую компанию DEUTZ и 1,4 % – на корейскую компанию HYUNDAI).

Анализ возраста двигательных установок теплоходов проводился на основании сведений о введении теплоходов в эксплуатацию. Результаты отражены в табл. 3.

Таблица 3. Средний возраст однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге по типам проектов

Тип проекта	Кол-во судов	Средний возраст судов по состоянию на 06.2022, лет	Тип проекта	Кол-во судов	Средний возраст судов по состоянию на 06.2022, лет
Ладожанка	3	13,3	82544А	1	13
Фонтанка:			82840	2	10
2105	13	6	82850	1	7
Р-118	11	41	Мойка-500	1	12
Р-118М	4	19,2	75	2	9
Р-118.2	2	18	КС-100	2	26,5
Р-118.3	1	14	КС-100А	4	25,5
Р-118В	5	18	КС-100М	5	25,6
ПР-1606	1	14	КС-100МП	1	42

Тип проекта	Кол-во судов	Средний возраст судов по состоянию на 06.2022, лет	Тип проекта	Кол-во судов	Средний возраст судов по состоянию на 06.2022, лет
Фонтанка-1	1	17,5	КС-100П	4	17,5
Фонтанка-2020	1	2	КС-110П	7	34,1
82880	2	3,5			
Мойка:			КС-110М	6	27,5
82500	27	15	427	1	11
82510	18	13,5	729А	5	51,2
82520	3	18	Без проекта	6	13
82544	3	16,5			

Средний возраст однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге составляет около 19,5 лет.

С точки зрения оценки и прогнозирования выбросов поллютантов судовыми двигательными установками, важной является информация об усредненных удельных выбросах загрязняющих веществ. Ввиду отсутствия унифицированной системы учета выбросов эти данные были получены на основе анализа различных научных публикаций, находящихся в открытом доступе [18–22]. Результаты обобщены в табл. 4.

**Таблица 4. Показатели выбросов поллютантов некоторых судовых двигателей с воспламенением от сжатия, используемых на однопалубных пассажирских теплоходах в Санкт-Петербурге**

Марка двигателя	Поллютант					
	NO <sub>x</sub>	СО	СН	СО <sub>2</sub>	С	PM
Д-240 [18]	950 ppm	0,24 %	0,053 %	6 %	н.д.	н.д.
Д-243 [19]	1 450 ppm	0,05 %	0,00019 %	9 %	н.д.	н.д.
Д-245 [19]	6,6 г/кВт·час	3,6 г/кВт·час	1,7 г/кВт·час	н.д.	н.д.	н.д.
ЯМЗ-238ГМ2 [20]	4,31 г/кВт·час	3,71 г/кВт·час	0,46 г/кВт·час	н.д.	0,38 г/кВт·час	н.д.
ЯМЗ-238М2 [21]	2,3 г/кВт·час	4,2 г/кВт·час	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
ЯМЗ-236СР [22]	13,0 г/кВт·час	8,2 г/кВт·час	6,4 г/кВт·час	н.д.	н.д.	0,42 г/кВт·час

Примечание: н.д. – нет данных

Если сравнивать показатели выбросов поллютантов некоторых судовых двигателей отечественного производства, используемых на однопалубных пассажирских судах (табл. 4), со значениями выбросов зарубежных методик – американской модели EPA NONROAD [26] и европейской ЕМЕР ЕЕА [27], то можно сделать вывод, что они наиболее сопоставимы с показателями, применяющимися в европейской методике расчета валовых выбросов.

Например, для судовых дизельных двигателей с воспламенением от сжатия мощностью от 37 кВт (50 л.с.) до 221 кВт (300 л.с.) американская методика EPA NONROAD [26] устанавливает следующие базовые параметры выбросов поллютантов: NO<sub>x</sub> – 2,39–3,90 г/кВт·час; СО – 0,95 г/кВт·час; СН – 0,20–0,22 г/кВт·час; РМ – 0,080–0,13 г/кВт·час. Дело в том, что требования к качеству топлива и применяемым в ДВС технологиям в США более жесткие, чем в Европе и Российской Федерации, вследствие чего в методике EPA NONROAD базовые коэффициенты выбросов поллютантов имеют значительно меньшие величины.

Европейская модель ЕМЕР/ЕЕА [27] устанавливает входные данные по выбросам встроенных (бортовых) дизельных двигателей, которые более приближены к данным по выбросам отечественных судовых двигателей: NO<sub>x</sub> – 8,6 г/кВт·час; СО – 5,3 г/кВт·час; VOC (volatile organic compounds – летучие органические соединения) – 2,0 г/кВт·час; TSP (total suspended particles – общее количество взвешенных частиц) – 1,2 г/кВт·час.

Что касается среднего удельного расхода топлива, то для аналогичных судовых двигателей в американской методике расчета валовых выбросов EPA NONROAD его величина составляет 185,07 г/кВт·час, а в европейской методике ЕМЕР/ЕЕА – 275,0 г/кВт·час. При этом средняя мощность бортовых (стационарных или встроенных) судовых моторов в методике EPA NONROAD принимается равной 122,1 кВт.

### Заключение

В результате проведенного анализа на основе обобщения данных, представленных в открытых источниках информации, впервые была проведена систематизация флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга с целью формирования исходной базы данных для дальнейшего расчета выбросов загрязняющих веществ используемыми на них двигательными установками и прогнозирования вклада судов этого типа в суммарное загрязнение воздуха в Санкт-Петербурге.

В результате было установлено, что:

- флот прогулочных однопалубных теплоходов состоит из отечественных судов проектов «Мойка» (39 %), «Фонтанка» (29 %), «КС-100» (11 %), «КС-110» (9 %) и др. (12 %), средний возраст которых составляет около 19,5 лет;

- суда в основном оснащены двигательными установками российского производства (двигателями ЯМЗ – Ярославского моторного завода), белорусского производства (двигателями серии «Д» Минского моторного завода) – в совокупности 76,2 %, итальянского производства (двигателями IVECO) – 20,3 %;

- сравнение удельных выбросов загрязнителей, установленных для российских и белорусских двигателей, и коэффициентов выбросов, используемых в зарубежных методиках (американской EPA NONROAD и европейской ЕМЕР/ЕЕА) для двигателей аналогичного типа, показало, что они сопоставимы с показателями европейской методики ЕМЕР/ЕЕА, но превышают значения, используемые в американской методике EPA NONROAD, что, по-видимому, связано с более жесткими требованиями, предъявляемым к выбросам двигателей внутреннего сгорания в этой стране. Это указывает на ограниченную возможность использования при расчете судовых выбросов в атмосферу коэффициентов выбросов (факторов эмиссии) из зарубежных методик и необходимость их адаптации применительно к условиям эксплуатации судовых двигателей в Российской Федерации;

- в то же время сравнительный анализ технических характеристик двигателей по расходу топлива подтверждает возможность использования при расчетах входных данных, прежде всего европейской модели ЕМЕР/ЕЕА;

- результаты проведенного исследования позволят на следующем этапе работы оценить вклад флота однопалубных прогулочных теплоходов в суммарные валовые выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников в Санкт-Петербурге и в загрязнение воздушной среды в центре города в зонах совместного влияния автотранспорта и внутреннего водного транспорта.

### Список источников

1. Администрация Санкт-Петербурга.

URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_tourism/statistic/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_tourism/statistic/) (дата обращения: 24.02.2022).

2. Макеев И.В., Дмитриева А.А. Речной пассажирский транспорт Санкт-Петербурга: что мешает развитию? // Общество. Среда. Развитие (Тerra Humana). 2017. № 1 (42). С. 115–121.

3. Макеев И.В. Развитие водного пассажирского транспорта Санкт-Петербурга: географические подходы к модернизации: автореф. дис. ... канд. географ. наук. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2022. С. 1–24.

4. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге за 2019 год // Экологический портал Санкт-Петербурга Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга.

URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=982> (дата обращения: 24.02.2022).

5. Иванченко А.А. Прогнозирование и мониторинг безопасности водного транспорта в эксплуатации // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 2. С. 57–60.
6. Зега А.Н., Трофименко Ю.В. Оценка определения сокращения выбросов при пересадке пользователей автомобилей и общественного транспорта на велосипед для крупного города // European Journal of Natural History. 2022. № 1. С. 90–94.
7. Ложкина О.В., Комашинский В.И. Информационный процесс мониторинга и прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 18–26.
8. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Контроль и прогнозирование эффективности управления чрезвычайным воздействием транспорта на городскую среду и население: монография / под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 220 с.
9. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Современное состояние расчетного мониторинга и прогнозирования опасного воздействия выбросов маломерных судов на окружающую среду // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 46–53.
10. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. К вопросу о гармонизации отечественных и зарубежных методик оценки и прогнозирования выбросов маломерных судов // Техно-технологические проблемы сервиса. 2022. № 2 (60). С. 37–43.
11. Российский речной регистр. URL: <https://www.rivreg.ru/activities/class/reg-book/> (дата обращения: 14.02.2022).
12. ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод». URL: <http://www.po-mmz.minsk.by/catalogue/> (дата обращения: 14.02.2022).
13. ПАО «Автодизель» Ярославский моторный завод. URL: <https://www.ymzmotor.ru/service/manuals/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-dvigatelay-yamz-236m2-yamz-238m2-2016g-pdf-6-mb/> (дата обращения: 14.02.2022).
14. ЗАО «ПФК Тверьдизельарперат». URL: <https://ztda.ru/page.php?al=sd140> (дата обращения: 14.02.2022).
15. IVECO ООО «АВТ Моторс». URL: <https://fpt-iveco.ru/> (дата обращения: 14.02.2022).
16. DEUTZ (Германия). URL: <https://www.deutz.ru/produkcija/dvigateli> (дата обращения: 14.02.2022).
17. «Гидроком-Завод». URL: <http://www.hydrocom-motors.ru/products/detail.php?ID=102#tabs-2> (дата обращения: 14.02.2022).
18. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Пермский аграрный вестник. 2013. № 1 (1). С. 29–30.
19. Разработка дизелей на водотопливных эмульсиях / В.А. Марков [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 3 (27). С. 67–71.
20. Аль-Манди Али Аббас Хашим, Чернецов Д.А. Анализ результатов исследования топливной системы двигателей ЯМЗ-238, работающего по газодинамическому циклу // Корнос. 2020. С. 4–9.
21. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Майстренко Г.В. Пути снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобильных дизелей // Автомобильный транспорт. 2008. № 22. С. 14–18.
22. Хмельницкая А.А., Ильина Е.Г., Покусаев М.Н. Отчет о результатах эксперимента по оценке вредных выбросов главного двигателя маломерного судна на соответствие российским и международным экологическим требованиям // Новая наука: от идеи к результату. 2016. № 5-2 (84). С. 215–219.
23. Петербургский теплоход. URL: <https://teplohod-piter.ru> (дата обращения: 14.02.2022).
24. Spbkater. URL: <https://spbkater.ru> (дата обращения: 14.02.2022).

25. Судоходное агентство Невский Флот. URL: <https://neva-flot.ru> (дата обращения: 14.02.2022).
26. Exhaust and crankcase emission factors for nonroad engine modeling – compression-ignition. Report № NR-009d // Assessment and standards division EPA, office of transportation and air quality. EPA-420-R-10-018. July, 2010. Официальный интернет-портал Агентства по охране окружающей среды США EPA. URL: <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPDF.cgi?Dockey=P10081UI.pdf> (дата обращения: 14.02.2022).
27. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook 2019 // Technical guidance to prepare national emission inventories. ЕЕА Report № 13/2019. 2019 Part B: Technical chapters. 1.A.4. Официальный интернет-портал Европейского агентства по окружающей среде. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019#additional-files> (дата обращения: 14.02.2022).

## References

1. Administraciya Sankt-Peterburga. URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_tourism/statistic/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_tourism/statistic/) (дата обращения: 24.02.2022).
2. Makeev I.V., Dmitrieva A.A. Rechnoj passazhirskij transport Sankt-Peterburga: chto meshaet razvitiyu? // Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana). 2017. № 1 (42). S. 115–121.
3. Makeev I.V. Razvitie vodnogo passazhirskogo transporta Sankt-Peterburga: geograficheskie podhody k modernizacii: avtoref. dis. ... kand. geograf. nauk. SPb.: RGPU im. A.I. Gercena, 2022. S. 1–24.
4. Doklad ob ekologicheskoj situacii v Sankt-Peterburge za 2019 god // Ekologicheskij portal Sankt-Peterburga Komiteta po prirodopol'zovaniyu, ohrane okruzhayushchej sredy i obespecheniyu ekologicheskoj bezopasnosti Pravitel'stva Sankt-Peterburga. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=982> (дата обращения: 24.02.2022).
5. Ivanchenko A.A. Prognozirovaniye i monitoring bezopasnosti vodnogo transporta v ekspluatacii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 2. S. 57–60.
6. Zege A.N., Trofimenko Yu.V. Ocenka opredeleniya sokrashcheniya vybrosov pri peresadke pol'zovatelej avtomobilej i obshchestvennogo transporta na velosiped dlya krupnogo goroda // European Journal of Natural History. 2022. № 1. S. 90–94.
7. Lozhkina O.V., Komashinskij V.I. Informacionnyj process monitoring i prognozirovaniya effektivnosti ot vnedreniya ekologicheski orientirovannyh tekhnologij na avtomobil'nom transporte // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 18–26.
8. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Kontrol' i prognozirovaniye effektivnosti upravleniya chrezvychajnym vozdejstviem transporta na gorodskuyu sredyu i naselenie: monografiya / pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 220 s.
9. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Sovremennoe sostoyaniye raschetnogo monitoring i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya vybrosov malomernyh sudov na okruzhayushchuyu sredyu // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 46–53.
10. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. K voprosu o garmonizacii otechestvennyh i zarubezhnyh metodik ocenki i prognozirovaniya vybrosov malomernyh sudov // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2022. № 2 (60). S. 37–43.
11. Rossijskij rechnoj registr. URL: <https://www.rivreg.ru/activities/class/reg-book/> (дата обращения: 14.02.2022).
12. OAO «Upravlyayushchaya kompaniya holdinga «Minskij motornyj zavod». URL: <http://www.po-mmz.minsk.by/catalogue/> (дата обращения: 14.02.2022).
13. PAO «Avtodizel'» Yaroslavskij motornyj zavod. URL: <https://www.yzmotor.ru/service/manuals/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-dvigatelye-yamz-236m2-yamz-238m2-2016g-pdf-6-mb/> (дата обращения: 14.02.2022).
14. ZAO «PFK Tver'dizel'agregat». URL: <https://ztda.ru/page.php?al=sd140> (дата обращения: 14.02.2022).

15. IVECO ООО «AVT Motors». URL: <https://fpt-iveco.ru/> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
16. DEUTZ (Germaniya). URL: <https://www.deutz.ru/produkcija/dvigateli> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
17. «Gidrokom-Zavod». URL: <http://www.hydrocom-motors.ru/products/detail.php?ID=102#tabs-2> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
18. Lihanov V.A., Lopatin O.P. Uluchshenie ekspluatacionnyh pokazatelej traktornogo dizelya D-240 putem primeneniya etanol-toplivnoj emul'sii // Permskij agrarnyj vestnik. 2013. № 1 (1). S. 29–30.
19. Razrabotka dizelej na vodotoplivnyh emul'siyah / V.A. Markov [i dr.] // Transport na al'ternativnom toplive. 2012. № 3 (27). S. 67–71.
20. Al'-Mandi Ali Abbas Hashim, Chernecov D.A. Analiz rezul'tatov issledovaniya toplivnoj sistemy dvigatelej YAMZ-238, rabotayushchego po gazodinamicheskomu ciklu // Kornos. 2020. S. 4–9.
21. Abramchuk F.I., Kabanov A.N., Majstrenko G.V. Puti snizheniya vybrosov vrednyh veshchestv s otrabotavshimi gazami avtomobil'nyh dizelej // Avtomobil'nyj transport. 2008. № 22. S. 14–18.
22. Hmel'nickaya A.A., Il'ina E.G., Pokusaev M.N. Otchet o rezul'tatah eksperimenta po ocenke vrednyh vybrosov glavnogo dvigatelya malomernogo sudna na sootvetstvie rossijskih i mezhdunarodnyh ekologicheskim trebovaniyam // Novaya nauka: ot idei k rezul'tatu. 2016. № 5-2 (84). S. 215–219.
23. Peterburgskij teplohod. URL: <https://teplohod-piter.ru> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
24. Spbkater. URL: <https://spbkater.ru> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
25. Sudohodnoe agentstvo Nevskij Flot. URL: <https://neva-flot.ru> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
26. Exhaust and crankcase emission factors for nonroad engine modeling – compression-ignition. Report № NR-009d // Assessment and standards division EPA, office of transportation and air quality. EPA-420-R-10-018. July, 2010. Oficial'nyj internet-portal Agentstva po ohrane okruzhayushchej sredy SSHA EPA. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P10081UI.pdf> (data obrashcheniya: 14.02.2022).
27. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 // Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report № 13/2019. 2019 Part B: Technical chapters. 1.A.4. Oficial'nyj internet-portal Evropejskogo agentstva po okruzhayushchej srede. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019#additional-files> (data obrashcheniya: 14.02.2022).

*Информация об авторах:*

**Ольга Владимировна Ложкина**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

**Константин Борисович Мальчиков**, преподаватель кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>.

*Information about the authors:*

**Olga V. Lozhkina**, professor of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

**Konstantin B. Malchikov**, lecturer of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 12.05.2022; одобрена после рецензирования: 19.05.2022; принята к публикации: 16.06.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 12.05.2022; approved after review: 19.05.2022; accepted for publication: 16.06.2022

УДК 502.55

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПО УСТАНОВКЕ БОНОВОГО ЗАГРАЖДЕНИЯ ПОД ЛЕД**

**Алексей Вениаминович Гутовский;**

**Анна Борисовна Корниецкая.**

**Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия.**

**Сергей Александрович Турсенев<sup>✉</sup>.**

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

**<sup>✉</sup>stursenev@yandex.ru**

*Аннотация.* Рассмотрен вопрос актуальности повышения эффективности выполнения работ по локализации аварийных разливов нефти подо льдом проточного водоема за счет применения нового способа. На основе результатов натурного эксперимента построена зависимость усредненного времени бурения лунки ручным ледобуром от длины бонового заграждения, рассчитано время, необходимое для производства лунок во льду на заданном участке ледяного покрова, и выполнено сравнение эффективности нового способа локализации со способом с использованием автономной ледорезной установки.

*Ключевые слова:* экспериментальное исследование, время локализации, нефтеразлив, способ, боновое заграждение, лед, бурение

**Для цитирования:** Гутовский А.В., Корниецкая А.Б., Турсенев С.А. Определение времени выполнения операций по установке бонового заграждения под лед // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 135–143.

## **DETERMINATION OF THE EXECUTION TIME OF OPERATIONS FOR THE INSTALLATION OF A BOOM UNDER THE ICE**

**Aleksey V. Gutovskiy;**

**Anna B. Kornietskaya.**

**Civil defence academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia.**

**Sergey A. Tursenev<sup>✉</sup>.**

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

**<sup>✉</sup>stursenev@yandex.ru**

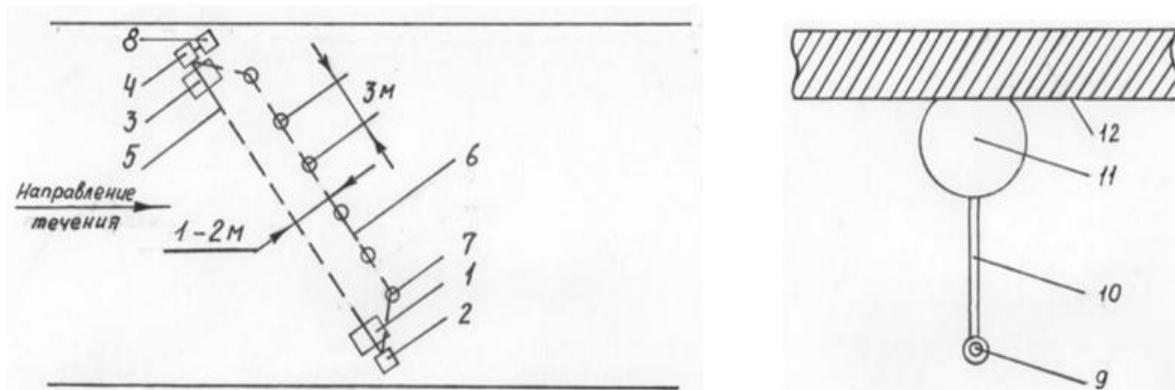
*Abstract.* The article considers the issue of the relevance of improving the efficiency of work on the localization of emergency oil spills under the ice of a flowing reservoir through the use of a new method. Based on the results of a full-scale experiment, the dependence of the average time of drilling a hole with a manual ice drill on the length of the boom was constructed, the time required for the production of holes in ice on a given section of the ice cover was calculated and the effectiveness of the new localization method was compared with the method using an autonomous ice-cutting installation.

*Keywords:* experimental study, localization time, oil spill, method, booms, ice, drilling

**For citation:** Gutovskiy A.V., Kornietskaya A.B., Tursenev S.A. Determination of the execution time of operations for the installation of a boom under the ice // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 135–143.

## Введение

Транспортировка нефтепродуктов является одной из составляющих нефтяной промышленности Российской Федерации. Согласно статистическим данным наша страна уже в 2019 г. занимала третье место в мире по показателям добычи нефти и в настоящее время продолжает развивать данную отрасль. Увеличение объемов добычи приводит к необходимости увеличения объемов транспортировки сырья, в том числе и по нефтепроводам. Общая длина магистральных нефтепроводов России превышает 53 тыс. км [1]. Ландшафтные особенности территории нашего государства диктуют необходимость прокладки некоторых участков нефтепроводов по дну рек. Как показывает практика, на этих участках периодически происходят аварии, в том числе и в условиях ледостава, когда нефть в течение длительного времени незаметно перемещалась вниз по течению реки, пересекая границы нескольких субъектов. Масштабы последствий подобных аварий в значительной степени зависят от времени реагирования и локализации пролитой нефти [2]. Технология локализации нефти в условиях льда является достаточно трудоемкой и финансово затратной. В настоящее время наибольшее распространение получили способы, при которых производят вскрытие льда энергией взрыва либо ледорезными установками с последующей укладкой боновых заграждений в полученную прорезь. Указанные способы имеют серьезные недостатки, связанные с безопасностью, длительностью выполнения операций, большими трудозатратами и применением дорогостоящего оборудования, что существенно сказывается на эффективности выполнения мероприятий [3–5]. В качестве альтернативы изучается возможность применения локализации нефти подо льдом проточного водоема способом (рис. 1), порядок выполнения операций которого подробно описан в патенте на изобретение [6].



**Рис. 1. Новый способ установки бонового заграждения подо льдом проточного водоема:**  
**1 – майна для сбора нефти; 2 – лебедка с тросом; 3 – майна для подачи бонового заграждения под лед; 4 – катушка с боновым заграждением; 5 – линия установки бонового заграждения;**  
**6 – линия разметки лунок; 7 – лунки; 8 – компрессорная установка;**  
**9 – утяжеляющий трос; 10 – юбка бонового заграждения;**  
**11 – воздушная полость бонового заграждения; 12 – нижняя поверхность льда**

Отличие нового способа от остальных заключается в установке бонового заграждения под лед без существенного нарушения ледяного покрова, что позволяет снизить время выполнения операций, трудозатраты и стоимость применяемого оборудования, а также повысить безопасность участников ликвидации нефтеразлива.

Для сравнения показателей времени выполнения работ по локализации нефтеразливов существующим способом и разработанным [6] необходимо провести экспериментальные исследования.

Одним из этапов выполнения работ по локализации новым способом является производство лунок в ледяном покрытии водоема.

### Методика исследования

С целью определения времени, необходимого для выполнения операции по производству ледобуром лунок во льду на участке 30 м, проведен натурный эксперимент с последующей обработкой результатов измерений по общепринятой методике, описанной в ГОСТ [7].

Исследования проводились в январе 2021 г. на Истринском водохранилище, расположенном в Московской области. Температура воздуха составляла 8 °С ниже нуля, глубина снежного покрова на льду 7–8 см (в ходе эксперимента влияние на результаты измерений не оказывала). Все операции выполнялись одним исследователем, измерение значений времени – его ассистентом. Для исключения ошибки в результатах измерений при проведении исследования применялось поверенное измерительное оборудование.

Производство одиннадцати лунок диаметром 0,13 м осуществлялось поочередно в одну линию на расстоянии 3 м друг от друга на участке 30 м (рис. 2).



Рис. 2. Производство лунок и измерение толщины ледяного покрытия водоема

Работы по бурению ледяного покрова водоема выполнялись с использованием ручного ледобура, приводимого в действие силой человека. Определение толщины льда в каждой лунке осуществлялось измерительной рулеткой. На основе результатов измерений рассчитана средняя толщина льда, которая составила 0,25 м (табл. 1).

Таблица 1. Результаты измерений толщины льда

Номер лунки	Толщина льда, м
1	0,24
2	0,25
3	0,26
4	0,26
5	0,26
6	0,26
7	0,24
8	0,24
9	0,25
10	0,25
11	0,26
Средняя толщина льда, м	0,25

Время операции по производству лунок во льду  $\tau_{л}$  рассчитывается по формуле:

$$\tau_{л} = \tau_{лр} + \sum \tau_{п} + \sum \tau_{б}, \quad (1)$$

где  $\tau_{лр}$  – время разметки линии лунок, с;  $\sum \tau_{п}$  – суммарное время перехода от одной лунки к другой, с;  $\sum \tau_{б}$  – суммарное время бурения лунок, с.

На первом этапе для определения суммарного времени бурения лунок выполнен пилотный эксперимент с числом измерений  $n = 11$ . Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений времени бурения лунок

Номер лунки	Результат измерения времени бурения лунок $x_i$ , с
1	33,1
2	31,8
3	32,7
4	32,5
5	33,2
6	32,9
7	33,0
8	34,0
9	32,1
10	33,8
11	32,8

Расчет среднего арифметического значения времени бурения лунок выполнен по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где  $x_i$  –  $i$ -й результат измерений;  $n$  – число наблюдений.

На следующем этапе выполнен расчет дисперсии  $D$  по формуле:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}.$$

Далее, по формуле (2) найдено среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (2)$$

Результаты расчетов  $\bar{x}$ ,  $D$  и  $\sigma$  представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов параметров  $\bar{x}$ ,  $D$  и  $\sigma$

$n$	$\bar{x}$	$D$	$\sigma$
11	32,9	0,42	0,65

Следующим этапом полученный интервал измерений согласно научным трудам [8, 9] разделен на бины (табл. 4).

Таблица 4. Выбор бинов для результатов измерений

Номер бина $k$	1	2	3	4
Значения $x$ в бине	$x < \bar{x} - \sigma$ или $x < 32,3$	$\bar{x} - \sigma < x < \bar{x}$ или $32,3 < x < 32,9$	$\bar{x} < x < \bar{x} + \sigma$ или $32,9 < x < 33,6$	$\bar{x} + \sigma < x$ или $33,6 < x$
Число наблюдений $O_k$ в бине	2	4	3	2
Вероятность $P_k$ , %	16	34	34	16
Ожидаемое число $E_k$ $E_k = n P_k$	1,76	3,74	3,74	1,76
$O_k - E_k$	0,24	0,26	-0,74	0,24

С целью подтверждения гипотезы о нормальном распределении результатов измерений рассчитан критерий  $\chi^2$  Пирсона по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^m \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k}.$$

В результате расчетов установлено, что критерий  $\chi^2$  Пирсона равен 0,2. Исходя из этого, так как  $\chi^2 < m$ , где  $m = 4$  – количество бинов, то результаты измерений подтверждают гипотезу о нормальном распределении.

Для определения необходимого количества наблюдений предварительно по формуле (3) был выполнен расчет коэффициента вариации  $U$  (среднеквадратической ошибки):

$$U = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \% . \quad (3)$$

Расчет позволил установить, что  $U=1,9$ .

Для нормального распределения результатов измерений необходимое количество наблюдений  $n_n$  [10] определяется из выражения:

$$n_n = \frac{U^2 \cdot t^2}{p^2},$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента (табличное значение), при  $n=11$  и  $P=0,95$  коэффициент  $t=2,228$ ). Полученное в результате вычислений необходимое количество измерений составило 2,32 раза, то есть для получения достоверных результатов измерений для расчетов достаточно было выполнить порядка двух бурений лунок.

С целью исключения грубых погрешностей проведен расчет с применением критерия Граббса. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого по формуле (4) вычисляется критерии Граббса  $G_1$  и  $G_2$ , предполагая, что наибольший  $x_{max}$  или наименьший  $x_{min}$  результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{max} - \bar{x}|}{\sigma}, \quad G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{min}|}{\sigma}. \quad (4)$$

Проведенный расчет критериев Граббса позволил установить, что  $G_1$  и  $G_2 = 1,7$ .

Согласно табличным данным при  $n=11$  теоретическое значение критерия Граббса  $G_T=2,355$ .

Так как  $G_1 < G_T$  и  $G_2 < G_T$ , то  $x_{max}$  и  $x_{min}$  не считаются промахом, следовательно, они сохраняются в ряду результатов измерений.

Доверительный интервал погрешности оценки измеряемой величины выражается:

$$\Delta x = \sigma t = 0,65 \times 2,228 = 1,45,$$

где  $\Delta x$  – основная погрешность измерения (граница доверительного интервала).

Доверительный интервал случайной погрешности измерения при симметричных доверительных границах имеет следующий вид:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \dots, P,$$

то есть его можно представить как:

$$x = 32,9 \pm 1,45 \dots, 95 \%.$$

Согласно данным табл. 2 все измерения находятся в пределах доверительного интервала, следовательно, результаты экспериментальных исследований достоверны, что позволило выполнить расчеты по определению суммарного времени бурения лунок по формуле:

$$\sum \tau_{\delta} = \tau_{\delta 1} + \tau_{\delta 2} + \dots + \tau_{\delta i} + \dots + \tau_{\delta n},$$

где  $\tau_{\delta i}$  – значение времени бурения  $i$ -ой лунки,  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество лунок.

В результате расчета установлено, что  $\sum \tau_{\delta} = 361,9 \text{ с} \approx 362 \text{ с}$ .

Также экспериментально было установлено время разметки линии лунок  $\tau_{лр}$  на участке 30 м, которое в среднем составило 30 с, что соответствует средней скорости человека медленным шагом  $V=1 \text{ м/с}$  (согласно данным исследований Всесоюзного научно-исследовательского института судебных экспертиз).

Далее, по формуле (5) выполнен расчет суммарного времени перехода от одной лунки к другой:

$$\sum \tau_{\pi} = \tau_{\pi 1} + \tau_{\pi 2} + \dots + \tau_{\pi j} + \dots + \tau_{\pi k}, \quad (5)$$

где  $\tau_{\pi j}$  –  $j$ -е значение времени перехода от одной лунки к другой (экспериментально установлено, что среднее значение  $\tau_{\pi j} = 6 \text{ с}$ ),  $j = \overline{1, k}$ ,  $k$  – количество переходов.

Исходя из того, что на участке 30 м во льду было сделано 11 лунок, то  $\sum \tau_{\pi}$  составляет 60 с.

По формуле (1) рассчитано время операции по производству лунок во льду  $\tau_{л} = 452 \text{ с}$ , то есть менее 8 мин.

По причине существенной физической нагрузки на человека, осуществляющего работы по бурению льда, принято решение изучить зависимость влияния длины участка установки бонового заграждения на время бурения лунок, так как при ликвидации нефтеразливов на крупных реках (таких как Дон, Волга и др.) протяженность заграждения может составлять свыше 150 м. В связи с чем операция по бурению 11 лунок была выполнена еще несколько раз подряд одним исследователем. Результаты средних арифметических значений времени бурения лунок представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты средних арифметических значений  $\bar{x}$ 

Номер операции	1	2	3	4	5
Расстояние от начала заграждения, м	30	63	96	129	162
$\bar{x}$ , с	32,9	34,2	35,1	37,0	40,8

На основе полученных значений (табл. 5) в программе Microsoft Excel построена зависимость усредненного времени бурения лунок от расстояния (рис. 3).

На основе графика (рис. 3) построено уравнение, позволяющее определить среднее арифметическое время, необходимое для выполнения работ по бурению лунки в зависимости от расстояния от начала заграждения (то есть длины бонового заграждения). Исследования позволили установить, что при выполнении пятой операции (табл. 5) среднее арифметическое время бурения одной лунки по сравнению с первой операцией, превысило на 7,9 с, что ведет к увеличению значения общего времени локализации нефтеразлива. Следовательно, в случае установки бонового заграждения длиной порядка 162 м при расчетах целесообразно принимать значение времени бурения лунки 40,8 с.

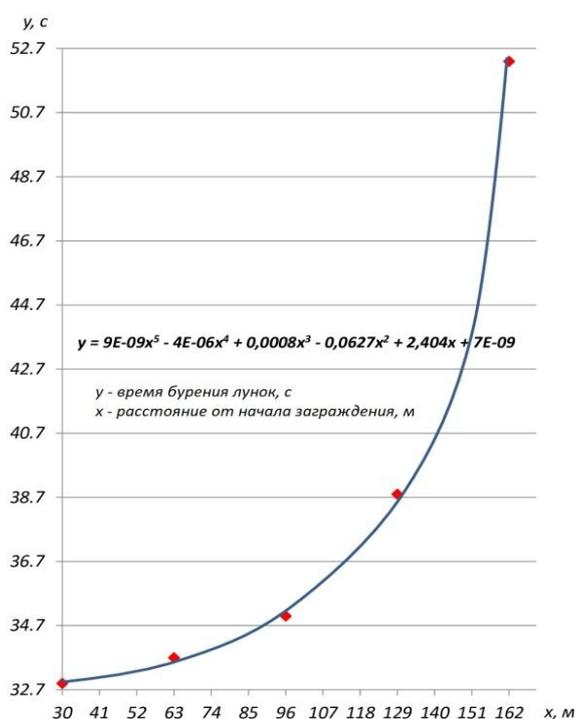


Рис. 3. Зависимость времени бурения лунок от расстояния

По формуле (1) время операции по производству лунок во льду  $\tau_{л}$  для бонового заграждения длиной 162 м составило 2 729 с (46 мин).

Современные автономные ледорезные установки, обладающие высокой производительностью, например УЛ-1300, достигают скорость резанья льда до 3 м/мин, что позволяет выполнить прорезь на участке 162 м за 54 мин, то есть на 8 мин дольше, чем при новом способе локализации нефтеразлива.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований установлена зависимость усредненного времени бурения одной лунки ручным ледобуром от длины бонового заграждения, что позволило рассчитать время производства лунок во льду на участке 162 м, которое составило 46 мин, что на 8 мин меньше значения времени выполнения прорези с применением современных ледорезных

установок. Однако в связи с тем, что у разных людей разный уровень физической подготовки, заключающийся в выносливости и силе, следовательно и время, затрачиваемое на ручное бурение лунок, будет различаться. Поэтому полученные результаты исследований будут достоверны при условии выполнения работ физически здоровым человеком средних лет мужского пола, имеющим опыт эксплуатации ручного ледобура, каковым является среднестатистический сотрудник аварийно-спасательной службы, привлекаемый для ликвидации аварийных разливов нефти. Также хотелось бы отметить, что одним из существенных недостатков ледорезной установки УЛ-1300 является ее высокая стоимость и сложность конструктивного исполнения, требующая определенный уровень знаний и навыков у эксплуатирующего персонала. Кроме того, масса ледорезной установки составляет 850 кг, что при недостаточной толщине ледяного покрова может привести к его разрушению и провалу людей под лед. К тому же большая масса оборудования усложняет его доставку к месту проведения аварийно-спасательных работ.

В дальнейшей работе планируется на основе результатов экспериментальных исследований определить общее время локализации нефтеразлива новым способом [6], включающим в себя, помимо времени операций по производству лунок, следующие операции:

- производство майны для сбора нефти;
- производство майны для подачи бонового заграждения под лед;
- крепление ручной лебедки с тросом ко льду;
- крепление катушки с боновым заграждением ко льду;
- крепление карабина с тросом к шесту;
- пропуск шеста с тросом подо льдом через всю длину установки бонового заграждения;
- снятие карабина с шеста и крепление его к стропу бонового заграждения;
- пропуск бонового заграждения подо льдом;
- наполнение бонового заграждения воздухом.

#### **Список источников**

1. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2019. № 53. 24 с.
2. Сафаров А.М. Оценка развития поставарийных ситуаций при порывах магистральных нефтепроводов // Нефтегазовое дело. 2007. № 2. С. 1–9.
3. Методы локализации разливов нефти и нефтепродуктов на водной поверхности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016/> (дата обращения: 02.03.2022).
4. Раднер С.С. Борьба с повышенной ледовой заторностью рек севера европейской и азиатской частей России // Вестник КРСУ. 2012. Т. 12. № 7. С. 119–124.
5. Корчагин К.А., Могильниченко Н.Ю. Предложения по защите объектов инфраструктуры при организации и ведении взрывных работ по ликвидации последствий опасных гидрологических явлений // Предотвращение. Спасение. Помощь: сб. тр. конф. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2021. С. 45–50.
6. Способ установки бонового заграждения подо льдом проточного водоема для сбора нефтепродуктов: пат. Рос. Федерации № 2605755 / Гутовский А.В., Гомонай М.В.; заявл. 30.10.14; опубл. 27.12.16, Бюл. № 15. 2019.
7. ГОСТ 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016/> (дата обращения: 02.03.2022).
8. Иванов В.В., Мельников В.И. Статистическая обработка экспериментальных данных: метод. указания. Н. Новгород: НГТУ, 2008. 9 с.
9. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 272 с.
10. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. М.: Лесная промышленность, 1966. 250 с.

## References

1. Gruzovye перевозки в России: обзор текучей статистики // Бюллетень о текучих тенденциях российской экономики. 2019. № 53. 24 с.
2. Safarov A.M. Ocenka razvitiya postavarijnyh situacij pri poryvah magistral'nyh nefteprovodov // Neftegazovoe delo. 2007. № 2. S. 1–9.
3. Metody lokalizacii razlivov nefti i nefteproduktov na vodnoj poverhnosti. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016/> (data obrashcheniya: 02.03.2022).
4. Radner S.S. Bor'ba s povyshennoj ledovoj zatornost'yu rek severa evropejskoj i aziatskoj chastej Rossii // Vestnik KRSU. 2012. T. 12. № 7. S. 119–124.
5. Korchagin K.A., Mogil'nichenko N.Yu. Predlozheniya po zashchite ob'ektov infrastruktury pri organizacii i vedenii vzryvnyh работ по ликвидации последствий опасных гидрологических явлений // Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch': sb. tr. konf. Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2021. S. 45–50.
6. Sposob ustanovki bonovogo zagrazhdeniya podo l'dom protochnogo vodoema dlya sora nefteproduktov: pat. Ros. Federacii № 2605755 / Gutovskij A.V., Gomonaj M.V.; zayavl. 30.10.14; opubl. 27.12.16, Byul. № 15. 2019.
7. GOST 8.736–2011. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Izmereniya pryamyje mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye polozheniya. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016/> (data obrashcheniya: 02.03.2022).
8. Ivanov V.V., Mel'nikov V.I. Statisticheskaya obrabotka eksperimental'nyh dannyh: metod. ukazaniya. N. Novgorod: NGTU, 2008. 172 s.
9. Tejlor Dzh. Vvedenie v teoriyu oshibok: per. s angl. M.: Mir, 1985. 272 s.
10. Leont'ev N.L. Tekhnika statisticheskikh vychislenij. M.: Lesnaya promyshlennost', 1966. 250 s.

### *Информация об авторах:*

**Алексей Вениаминович Гутовский**, старший преподаватель кафедры инженерной защиты населения и территорий Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1 А), e-mail: [gutovskiy.alexey@mail.ru](mailto:gutovskiy.alexey@mail.ru)

**Анна Борисовна Корниецкая**, студент факультета (заочного обучения) Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1 А), e-mail: [anna.kornietskaia@mail.ru](mailto:anna.kornietskaia@mail.ru)

**Сергей Александрович Турснев**, начальник кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [stursenev@yandex.ru](mailto:stursenev@yandex.ru)

### *Information about the authors:*

**Alexey V. Gutovskiy**, senior lecturer of the department engineering protection of population and territories of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., p. 1 A), e-mail: [gutovskiy.alexey@mail.ru](mailto:gutovskiy.alexey@mail.ru)

**Anna B. Kornietskaya**, student of the faculty of distance learning of Civil defence academy of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., p. 1 A), e-mail: [anna.kornietskaia@mail.ru](mailto:anna.kornietskaia@mail.ru)

**Sergey A. Tursenev**, head of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations of the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [stursenev@yandex.ru](mailto:stursenev@yandex.ru)

### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 01.04.2022; одобрена после рецензирования: 16.06.2022; принята к публикации: 17.06.2022

### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 01.04.2022; approved after review: 16.06.2022; accepted for publication: 17.06.2022

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.814.41:66.045.3

## ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОГЕЛЕЙ

**Амирхан Мусаевич Газдиев.**

Главное управление МЧС России по Республике Ингушетия, г. Магас,  
Республика Ингушетия.

**Анатолий Алексеевич Кузьмин**✉;

**Алексей Александрович Пермяков.**

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

✉[kaa47@mail.ru](mailto:kaa47@mail.ru)

*Аннотация.* Установлено, что использование полимерных материалов для формирования водонепроницаемой оболочки теплоизоляционного мата в силу недостаточной механической прочности и термостойкости, а также излишней термопластичности не удовлетворяет требованиям обеспечения пожарной безопасности, поскольку она подвергается непосредственному воздействию продуктов горения и разрушается уже на начальной стадии пожара по достижению температуры 250÷350 °С. Вариантом решения проблемы защиты конструкций на пожаре может быть использование волокнистых теплоизоляционных материалов с применением аэрогелей. Описан лабораторный эксперимент, позволяющий исследовать температурные поля в образцах, изготовленных из волокнистого теплоизоляционного материала Alison Aerogel DRT 0610 с использованием аэрогелей SiO<sub>2</sub>. Полученные результаты позволили оценить, в какой мере использование аэрогеля в структуре волокнистых теплоизолирующих материалов дает возможность сохранять огнестойкость защищаемых конструкций в случае воздействия на открытую поверхность теплоизоляции потока воды в ходе процесса пожаротушения. Гидрофобные свойства волокнистых теплоизолирующих материалов доказаны тем, что различия температурных полей в сухом и «мокроем» образце не выходят за рамки приборных погрешностей.

*Ключевые слова:* волокнистый пористый теплоизоляционный материал, аэрогель, огнестойкая конструкция, теплоизоляция, гидрофобность

**Для цитирования:** Газдиев А.М., Кузьмин А.А., Пермяков А.А. Повышение огнестойкости волокнистых теплоизоляционных материалов применением аэрогелей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 144–153.

## INCREASING THE FIRE RESISTANCE OF FIBER HEAT-INSULATING MATERIALS WITH THE USE OF AIROGELS

**Amirkhan M. Gazdiev. The Main directorate of EMERCOM of Russia for the Republic of Ingushetia, Magas, Republic of Ingushetia.**

**Anatoly A. Kuzmin**✉;

**Aleksey A. Permyakov.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**  
✉[kaa47@mail.ru](mailto:kaa47@mail.ru)

*Abstract.* It has been established that the use of traditional polymeric materials for the formation of a waterproof shell of a heat-insulating mat, due to insufficient mechanical strength and heat resistance, as well as excessive thermoplasticity, does not meet the requirements for ensuring fire safety, since it is directly exposed to combustion products and is destroyed already at the initial stage of a fire upon reaching a temperature of 250–350 °C. The solution to the problem can be the use of fibrous heat-insulating materials using airgels to protect structures in a fire. A laboratory experiment is described that answers the question to what extent the use of airgel in the structure of fibrous heat-insulating materials allows you to maintain the fire resistance of protected structures in the event that an open surface of thermal insulation is exposed to a water flow during fire extinguishing process. Alison Aerogel DRT 0610 flexible thermal insulation fibrous material, made on the basis of SiO<sub>2</sub> aerogels, was selected for testing. The results obtained in the course of measurements show that the differences in temperature fields in a dry and «wet» sample do not go beyond instrumental errors. This proves the hydrophobic properties of fibrous heat-insulating materials based on aerogels.

*Keywords:* fibrous porous heat-insulating material, airgel, fire resistant construction, moisture insulation, hydrophobicity

**For citation:** Gazdiev A.M., Kuzmin A.A., Permyakov A.A. Increasing the fire resistance of fibrous thermal insulation materials using aerogels // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 144–153.

### Введение

Безопасная работа различных конструкций в условиях пожара может быть обеспечена их изоляцией от воздействия опасных факторов пожара с применением химически стойких материалов небольшой плотности.

Изучение отечественных и зарубежных источников [1–6] дает основание предполагать, что наилучшие перспективы работы в высокотемпературной агрессивной среде имеют теплоизоляционные материалы с волокнистой структурой на стеклянной, минеральной основе или на основе оксидной керамики. Такие материалы сохраняют свои теплоизоляционные свойства в окислительной атмосфере пожара, когда температуры продуктов горения достигают значений 800 °C и более. Материалы с волокнистой структурой используются для изготовления теплоизоляционных гидрофобных оболочек строительных конструкций и конструктивно реализуются в виде плоских матов или цилиндрических скорлуп.

Современная промышленность предлагает достаточно широкий диапазон разнообразных видов волокнистых теплоизоляционных материалов, которые отличаются видом базовых минеральных волокон и характеризуются максимальной рабочей температурой и теплопроводящими свойствами.

По величине рабочих температур из номенклатуры волокнистых теплоизоляционных материалов можно выделить четыре основные группы:

– среднетемпературные материалы, у которых максимальное значение рабочих температур ограничено значением 700 °C, например асбестовые изделия общего назначения, а также минеральная вата и стекловата;

– огнеупорные волокнистые изоляционные изделия, у которых максимальное значение рабочих температур достигает значения  $1\ 750\ ^\circ\text{C}$  и в состав которых входят диоксид кремния, оксид алюминия, оксид магния, диоксид циркония и др.;

– высокоогнеупорные изоляционные конструкции, у которых максимальное значение рабочих температур находится в пределах  $2\ 300\div 2\ 500\ ^\circ\text{C}$ , которые основаны на использовании корунда, магнезита, оксидов бериллия, скандия;

– особо высокоогнеупорные изоляционные конструкции, у которых максимальное значение рабочей температуры превышает  $2\ 500\ ^\circ\text{C}$ , которые изготавливаются на основе углеграфитовых структур [2].

Учитывая возможные значения параметров состояния продуктов горения, образующихся в ходе пожара, наиболее актуальными материалами для защиты строительных конструкций представляются волокнистые теплоизоляционные материалы первых двух групп.

Основные технические требования, предъявляемые к подобным материалам, предполагают незначительную плотность материалов, их высокие теплоизоляционные свойства, малую интенсивность процессов дымовыделения, способность к самозатуханию при внешнем воздействии пожара. Таким условиям должны соответствовать все компоненты, составляющие теплоизоляционную систему строительной конструкции [7].

Гигроскопичность волокнистых теплоизоляционных материалов предполагает создание водонепроницаемой оболочки на наружной поверхности слоя теплоизоляции, так как воздействие воды, обычно используемой в процессе пожаротушения, может привести к набору влаги. Процесс набора влаги приводит не только к существенному ухудшению теплоизоляционных свойств материала, но это может так же привести к критическому увеличению веса слоя теплоизоляции и возможному его механическому разрушению [5].

Использование традиционных полимерных материалов (например полиэтилен) для формирования водонепроницаемой оболочки теплоизоляционного мата к настоящему моменту в силу целого ряда причин (механическая прочность, незначительная термостойкость, излишняя термопластичность) уже не вполне удовлетворяет требованиям обеспечения пожарной безопасности. Поэтому к настоящему моменту предложен ряд решений, позволяющих избежать использования полимерных оболочек в обеспечении влагоизоляции волокнистых теплоизоляционных матов.

Так авторами [8] предложена тепло-влагозащитная конструкция, представляющая собой многослойный ламинат, включающий в себя водозащитный слой толщиной  $6\div 25\ \mu\text{m}$ , неорганический волокнистый слой толщиной  $7\div 76\ \mu\text{m}$  и пленки из термопластичного материала толщиной более  $25\ \mu\text{m}$ . Подобный многослойный ламинат прикрывает от теплового и влажностного воздействия пожара внутренний мат. Схема подобной тепловлагозащитной конструкции представлена на рис. 1.

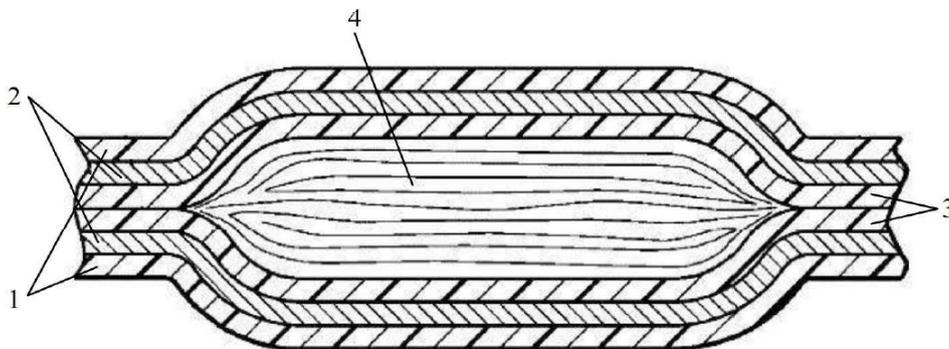


Рис. 1. Схема многослойной тепло-влагозащитной конструкции:

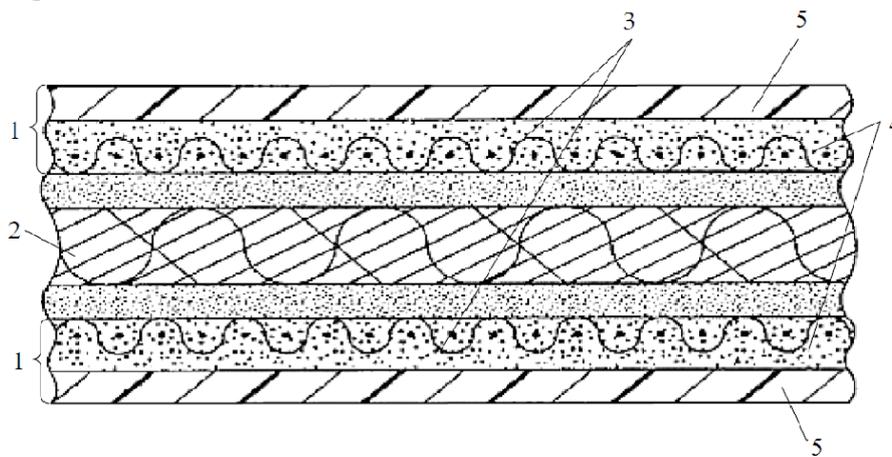
**1 – водозащитный слой; 2 – неорганический защитный слой; 3 – пленка из термопластичного материала; 4 – внутренний мат из неорганических волокнистых материалов**

Водозащитный слой 1, изготовленный из фторполимеров или полиамидов, задерживает инфильтрацию влаги во внутренний мат 4, а также поддерживает необходимую прочность многослойного ламината в целом. Возможна так же металлизация наружной поверхности водозащитного слоя 1 или его покрытие политетрафторэтиленом.

Неорганический защитный слой 2 представляет собой армирующую сетку из неорганического волокна с нанесенным на нее слоем слюды или вермикулита и предназначен для защиты от непосредственного воздействия открытого пламени пожара или продуктов горения на термопластичную пленку 3.

Внутренний мат 4 изготавливается из стеклянных, арамидных, керамических, кварцевых, углеродных и других неорганических волокнистых материалов.

В работе [9] описана многослойная теплозащитная конструкция, состоящая из волокнистого теплозащитного слоя и гибкой трехслойной составляющей, препятствующей дальнейшему распространению пожара. Такая многослойная конструкция представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Гибкая трехслойная огнестойкая конструкция: 1 – слой полимерных материалов; 2 – неорганический волокнистый материал; 3 – сеточный слой; 4 – негорючий склеивающий компонент; 5 – слой наружной облицовки**

Гибкая трехслойная огнестойкая конструкция имеет симметричную структуру из двух слоев полимерных материалов 1, армированных сеткой, и расположенного между ними слоя неорганического волокнистого материала 2. Предполагается, что полимерный материал, составляющий слой 1, остается стабильным до температуры 350 °С и обеспечивает необходимую гидроизоляцию теплоизоляционного слоя 2. Такими свойствами обладают, например, полиамидные смолы.

Армирующая сетка 3, представляющая собой плетеную конструкцию, выполненную из нейлона, стекловолокна или полиэфира, что обеспечивает ей необходимую механическую прочность. Сетка приклеивается к полимерному материалу с использованием негорючего связующего вещества.

Теплоизоляционный слой 2 состоит из неметаллических волокон, которые сопротивляются плавлению и горению вплоть до температур 550 °С. В качестве таких волокон предлагается использовать стеклянные, арамидные, нитридные, алюмосиликатные как в виде нетканых структур, так и в виде ткани.

Все подобные многослойные конструкции обладают, с позиции обеспечения пожарной безопасности, определенным недостатком: защита от проникновения влаги в теплоизоляционный слой обеспечивается наружным полимерным слоем, который, в свою очередь, подвергается непосредственному воздействию продуктов горения и может разрушиться уже на начальной стадии пожара по достижению температуры 250÷350 °С. Одним из направлений решения задачи защиты конструкций на пожаре возможно на основе

использования волокнистых теплоизоляционных материалов с применением аэрогелей, тем более что в современных научно-технических источниках публикуется все больше работ, например [10–16], в которых анализируются различные аспекты применения аэрогелей, позволяющих совершенствовать структуру композиционных материалов.

К аэрогелям относятся материалы, у которых сформирована открытая структура, размеры пор в которой находятся в микро- и даже нанодиапазоне, а собственно значение пористости может превысить 90 %. Высокопористый каркас аэрогеля образуется связями микрочастиц неорганического вещества, а поры заполняются воздухом либо другим химически инертным газом.

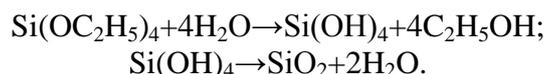
Технология изготовления аэрогелей предполагает наличие двух основных процессов:

– золь-процесс, заключающийся в формировании гель-состояния в благоприятной среде, образованной специальным растворителем;

– сушка полученного геля до состояния аэрогеля в сверхкритических условиях [10].

Механическая устойчивость структуры аэрогеля зависит от прочности каркаса, образованного в процессе формирования кластера, содержащего наноструктурированную решетку на основе силоксановых связей Si-O-Si. Это происходит в ходе гидролиза гидролиза и последующей конденсации молекул прекурсора на основе соединений, содержащих кремний [11].

Исходным сырьем в золь-процессе обычно являются производные алкоксисиланов, например тетраэтоксисилан. Поскольку вода не смешивается с такими прекурсорами, гомогенность получаемой смеси обеспечивается применением различных спиртов, например:



Важным условием формирования высокопористого каркаса аэрогеля является поддержание сверхкритических условий в процессе сушки, в ходе которой происходит удаление спиртовых растворов из образовавшихся в ходе технологического процесса пор. Процесс удаления прекурсоров из объема полученной заготовки не должен нарушать сформированную нанопористую структуру геля. В работе [12] представлено первое фотографическое изображение структуры аэрогеля на основе диоксида кремния, чаще называемое ксерогелем (рис. 3).

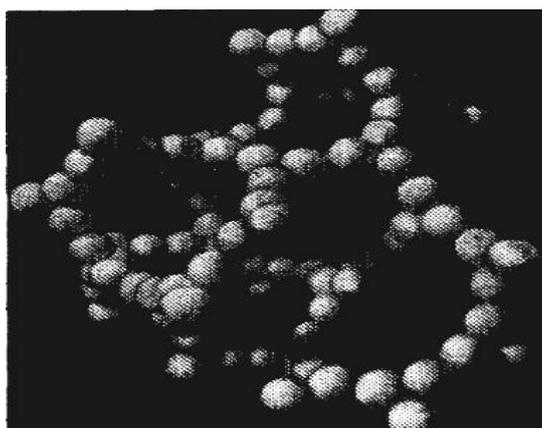


Рис. 3. Структура ксерогеля на основе диоксида кремния

Использование спиртовых растворов в качестве прекурсоров предопределило перспективы получения волокнистых теплоизолирующих материалов, имеющих гидрофобную поверхность на основе аэрогелей, не поглощающих и накапливающих влагу, для чего усиливают гидрофобизирующие свойства таких материалов. Например, прекурсор на основе диоксида кремния может так же содержать сопрекурсоры алкилсилан или арилсилан, усиливающие

гидрофобность волокнистых теплоизолирующих материалов. Процесс усиления гидрофобных свойств конечного продукта может быть организован на любых стадиях формирования структуры аэрогеля: посредством дополнения состава прекурсора гидрофобизирующим агентом; посредством непосредственного введения гидрофобизирующего агента во влажный гель; посредством введения гидрофобизирующего агента в аэрогель в процессе его сушки [13].

### Методы исследования

Для ответа на вопрос, в какой мере использование аэрогеля в структуре волокнистых теплоизолирующих материалов позволяет сохранять огнестойкость защищаемых конструкций в случае воздействия на открытую поверхность теплоизоляции потока воды в ходе процесса пожаротушения, был проведен лабораторный эксперимент.

Измерения проводились на специальной лабораторной установке, позволяющей осуществлять односторонний прогрев образцов испытываемых теплоизолирующих материалов. Схема экспериментальной зоны лабораторной установки представлена на рис. 4. В качестве источника тепла используются силитовые нагреватели, которые размещены над днищем установки. Тепловой поток, создаваемый нагревателями, ориентирован вверх и направлен на испытываемый образец за счет необходимой теплоизоляции лабораторной установки и установки защитной маски с окном, на который и накладывается испытываемый образец, края которого выходят за габариты окна. Для исключения влияния неравномерности образующегося теплового поля торцевые поверхности испытываемого образца так же теплоизолируются. На необогреваемой поверхности испытываемого образца волокнистого теплоизолирующего материала накладывается металлическая пластина, которая позволяет учесть влияние защищаемой конструкции на процесс теплообмена в ходе пожаротушения. Расстояние между силитовыми нагревателями и обогреваемой поверхностью испытываемого образца установлено в 50 мм. Измерение и регулирование температуры нагреваемого воздуха осуществляется посредством термоэлектрических первичных преобразователей типа ТПП ПП(R), размещенных вблизи обогреваемой поверхности испытываемого образца, на металлической пластине и непосредственно в теле внутри образца волокнистого теплоизолирующего материала. Показания первичных преобразователей документируются посредством многоканального технологического регистратора типа РМТ 39-DM, подключенного к персональному компьютеру.

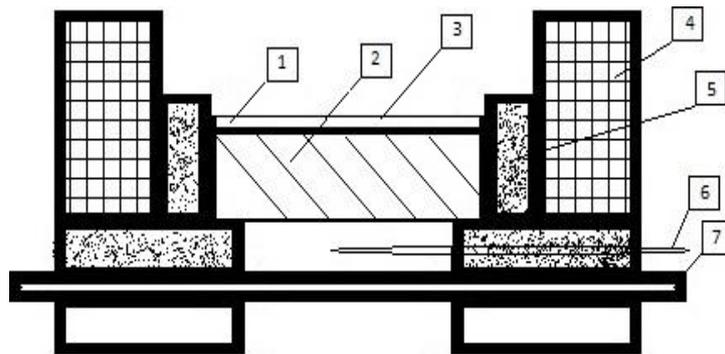


Рис. 4. Схема экспериментальной зоны лабораторной установки: 1 – металлическая пластина; 2 – образец испытываемого материала; 3 – термоэлектрический преобразователь необогреваемой поверхности; 4 – теплоизоляция стенда; 5 – защитная маска; 6 – термоэлектрический преобразователь обогреваемой поверхности; 7 – силитовые нагреватели

Для испытаний был выбран волокнистый материал гибкой теплоизоляции Alison Aerogel DRT 0610, изготовленный на основе аэрогелей  $\text{SiO}_2$  [14], основные характеристики которого представлены в табл.

Таблица. Свойства волокнистого материала Alison Aerogel DRT 0610

Плотность	Максимальная температура использования	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С) при температуре		Водопоглощение	Коэффициент паропроницаемости	Группа горючести
		10	300			
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	t, °С	10	300	$\beta$ , кг/м <sup>2</sup>	$\mu$	
200	650	0,019	0,039	0,14	0,088	негорючая

Испытуемые образцы квадратной формы с размером стороны  $100 \pm 10$  мм и толщиной  $50 \pm 2$  мм были вырезаны из рулона волокнистого материала Alison Aerogel DRT 0610. Один из образцов в ходе испытаний оставался сухим, а другой – «мокрым», перед прогревом был полностью погружен в емкость с водой и выдерживался в состоянии полного погружения в течение 10 мин. В дальнейшем испытания показали, что вариации продолжительности погружения образца в пределах 10–30 мин практически не влияют на результаты испытаний.

В процессе измерения испытуемый образец подвергался нагреву горячим воздухом, моделирующим тепловое воздействие на ограждающие конструкции продуктов горения в ходе пожара, при этом температура линейно возрастала до значения  $1\ 200$  °С и поддерживалась постоянной до момента завершения измерения при переходе в стационарный режим, когда прекращается рост температуры на необогреваемой поверхности испытываемого образца.

Непосредственно с необогреваемой поверхностью испытываемого образца волокнистого теплоизолирующего материала контактировала латунная пластина с размерами боковых поверхностей 110 мм и толщиной 3 мм, температура которой измерялась посредством термоэлектрических первичных преобразователей типа ТПП ПП(Р). Для обеспечения необходимого теплового контакта спай преобразователя помещался в предварительно насверленное углубление, заполненное расплавом тритника.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты испытаний сухого и «мокрого» образцов волокнистого теплоизолирующего материала Alison Aerogel DRT 0610, изготовленного на основе аэрогелей, представлены на рис. 5, на котором отображены временные зависимости температуры греющей воздушной среды, а так же температур на необогреваемых поверхностях сухого и мокрого образцов в течении первых 100 мин.

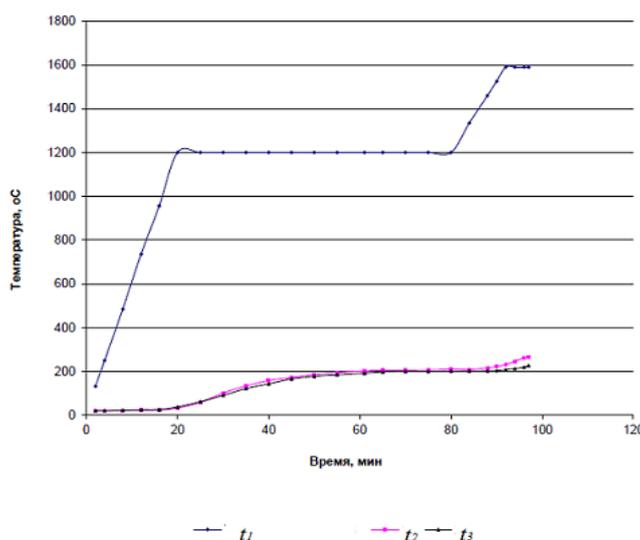


Рис. 5. Результаты испытаний сухого и «мокрого» образцов волокнистого теплоизолирующего материала:  
 $t_1$  – температура нагревающей воздушной среды;  
 $t_2$  – температура на необогреваемой поверхности «мокрого» образца;  
 $t_3$  – температура на необогреваемой поверхности сухого образца

Установка выходила на температуру выдержки в течение 20 мин, к этому времени температура на холодной стороне увеличивалась незначительно. После выхода на температуру выдержки температура на холодной стороне образца медленно росла (в течение 35–40 мин), затем установилась на одном уровне (небольшой рост температуры в пределах погрешности измерений).

Параметры прогрева образцов вполне согласуются с результатами измерений, представленных в работе [5]. Результаты, полученные в ходе проведения измерений, показывают, что различия температурных полей в сухом и «мокром» образце не выходят за рамки приборных погрешностей. Поскольку величина коэффициента теплопроводности воды на порядок превышает величину коэффициента теплопроводности воздуха, аутентичность температурных полей сухого и «мокрого» образца экспериментально подтверждено сохранение гидрофобных свойств волокнистых теплоизолирующих материалов на основе аэрогелей, по крайней мере, в течение первых 100 мин теплового воздействия на обогреваемую поверхность.

### Заключение

Таким образом, в ходе исследования возможности повышения огнезащитных свойств волокнистых теплоизолирующих материалов было установлено, что применение аэрогелей придает материалам гидрофобные свойства и вследствие этого огнезащитные свойства волокнистых теплоизолирующих материалов не ухудшаются при попадании на них воды в процессе пожаротушения.

### Список источников

1. Бабашов В.Г., Луговой А.А., Карпов Ю.В. Температуропроводность гибкого градиентного теплоизоляционного материала // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Т. 7. № 1.
2. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений / Д.В. Геращенко [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 380–386.
3. Janssen R. Reaction formed alumina-alumina FRCMC // 7th International conference on high temperature ceramic matrix composites (HT-CMC 7). Германия, Байройт, 2010. С. 398–414.
4. Истомин А.В., Беспалов А.С., Бабашов В.Г. Придание повышенной огнестойкости теплозвукоизоляционному материалу на основе смеси неорганических и растительных волокон // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 4 (53). С. 74–78.
5. Возможности волокнистой тепловой защиты / В.Н. Грибков [и др.] // Человек-Земля-Космос: труды первой Междунар. авиакосм. конф. «Материалы и технология производства авиакосмических систем». М.: Военная академия им. Ф.Э. Дзержинского, 1995. Т. 5. С. 223–231.
6. Бучилин Н.В., Люлюкина Г.Ю. Особенности спекания высокопористых керамических материалов на основе оксида алюминия // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 4 (45). С. 40–46.
7. Ивахненко Ю.А., Варрик Н.М. Пути повышения пожаростойкости волокнистых теплоизоляционных материалов (обзор) // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». 2015. № 12. С. 72–79.
8. Composite laminate for a thermal and acoustic insulation blanket: pat. 8292027 US; publ. 23.10.2012.
9. Laminate sheet material for fare barrier applications: pat. 6670291 US; publ. 30.12.2003.
10. Бабашов В.Г., Варрик Н.М., Карасева Т.А. Применение аэрогелей для создания теплоизоляционных материалов (обзор) // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». 2019. № 6 (78). С. 32–42.

11. Исследование процесса получения теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей / А.В. Шиндряев [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 6. С. 130–132.
12. Смирнов Б.М. Аэрогели // Успехи физических наук. 1987. Т. 152. Вып. 1. С. 133–157.
13. Hydrophobic Aerogel Materials: pat. US 9868843, № 14/873753; filed 02.10.15; publ. 16.01.18.
14. Теплоизоляция с аэрогелями (Россия) // ООО «ТИМ». URL: www.tim-firm.ru (дата обращения: 04.09.2021).
15. Aerogel composites, process for producing the same and their use: pat. US 5789075, № 793178; filed 17.08.95; publ. 04.08.98.
16. Preparation method of fiber-reinforced  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  aerogel material with wave transmission and heat insulation integrated function: pat. CH 106630931, № 20161885973; filed 10.10.16; publ. 10.05.17.

### References

1. Babashov V.G., Lugovoj A.A., Karpov Yu.V. Temperaturoprovodnost' gibkogo gradientnogo teploizolyacionnogo materiala // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». 2015. Т. 7. № 1.
2. Vysokotemperaturnye teploizolyacionnye i teplozashchitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij / D.V. Gerashchenko [i dr.] // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2012. № 5. S. 380–386.
3. Janssen R. Reaction formed alumina-alumina FRCMC // 7th International conference on high temperature ceramic matrix composites (HT-CMC 7). Germaniya, Bajrojt, 2010. S. 398–414.
4. Istomin A.V., Bepalov A.S., Babashov V.G. Pridanie povyshennoj ognestojkosti teplozvukoizolyacionnomu materialu na osnove smesi neorganicheskikh i rastitel'nyh volokon // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2018. № 4 (53). S. 74–78.
5. Vozmozhnosti voloknistoj teplovoj zashchity / V.N. Gribkov [i dr.] // Chelovek-Zemlya-Kosmos: trudy pervoj Mezhdunar. aviakosm. konf. «Materialy i tekhnologiya proizvodstva aviakosmicheskikh sistem». M.: Voennaya akademiya im. F.E. Dzerzhinskogo, 1995. Т. 5. S. 223–231.
6. Buchilin N.V., Lyulyukina G.Yu. Osobennosti spekaniya vysokoporistyh keramicheskikh materialov na osnove oksida alyuminiya // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2016. № 4 (45). S. 40–46.
7. Ivahnenko Yu.A., Varrik N.M. Puti povysheniya pozharostojkosti voloknistyh teploizolyacionnyh materialov (obzor) // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Trudy VIAM». 2015. № 12. S. 72–79.
8. Composite laminate for a thermal and acoustic insulation blanket: pat. 8292027 US; publ. 23.10.2012.
9. Laminate sheet material for fare barrier applications: pat. 6670291 US; publ. 30.12.2003.
10. Babashov V.G., Varrik N.M., Karaseva T.A. Primenenie aérogelej dlya sozdaniya teploizolyacionnyh materialov (obzor) // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Trudy VIAM». 2019. № 6 (78). S. 32–42.
11. Issledovanie processa polucheniya teploizolyacionnyh materialov na osnove aérogelej / A.V. SHindryaev [i dr.] // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2017. Т. 31. № 6. S. 130–132.
12. Smirnov B.M. Aerogeli // Uspekhi fizicheskikh nauk. 1987. Т. 152. Vyp. 1. S. 133–157.
13. Hydrophobic Aerogel Materials: pat. US 9868843, № 14/873753; filed 02.10.15; publ. 16.01.18.
14. Teploizolyaciya s aérogeleyami (Rossiya) // ООО «ТИМ». URL: www.tim-firm.ru (data obrashcheniya: 04.09.2021).
15. Aerogel composites, process for producing the same and their use: pat. US 5789075, № 793178; filed 17.08.95; publ. 04.08.98.
16. Preparation method of fiber-reinforced  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  aerogel material with wave transmission and heat insulation integrated function: pat. CH 106630931, № 20161885973; filed 10.10.16; publ. 10.05.17.

*Информация об авторах:*

**Амирхан Мусаевич Газдиев**, заместитель начальника отдела мониторинга, моделирования и организации превентивных мероприятий Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Республике Ингушетия (386001, Республика Ингушетия, г. Магас, ул. Д. Мальсагова, д. 34), <http://orcid.org/0000-0002-8318-8971>

**Анатолий Алексеевич Кузьмин**, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: [kaa47@mail.ru](mailto:kaa47@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0297-2984>

**Алексей Александрович Пермяков**, заместитель начальника кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, <http://orcid.org/0000-0002-2081-6934>

*Information about the authors:*

**Amirkhan M. Gazdiev**, deputy head of the department of monitoring, modeling and organization of preventive measures of the crisis management center of the Main directorate of EMERCOM of Russia in the Republic of Ingushetia (386001, Republic of Ingushetia, Magas, D. Malsagova str., 34) <http://orcid.org/0000-0002-8318-8971>

**Anatoly A. Kuzmin**, associate professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: [kaa47@mail.ru](mailto:kaa47@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0297-2984>

**Alexey A. Permyakov**, deputy head of the department of physical and technical fundamentals of fire safety at the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, <http://orcid.org/0000-0002-2081-6934>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 18.05.2022; одобрена после рецензирования: 07.06.2021; принята к публикации: 14.06.2022.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 18.05.2022; approved after review: 07.06.2022; accepted for publication: 14.06.2022.

УДК 614.844.1

## **ОЦЕНКА СПОСОБОВ ВЫТЕСНЕНИЯ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТУШЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Максим Равильевич Сытдыков**<sup>✉</sup>;

**Дмитрий Федорович Кожевин;**

**Андрей Владимирович Иванов.**

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

<sup>✉</sup>[sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru)

*Аннотация.* Наиболее востребованным транспортом углеводородов в Российской Федерации является трубопроводный транспорт, компоненты которого относятся к категории опасных производственных объектов. Одним из видов аварий на трубопроводном транспорте являются открытые фонтаны, подразделяющиеся по мощности (дебиту). Тушение пожаров газовых и нефтяных фонтанов осложняется большим тепловым излучением и, как следствие, требует обеспечения безопасного расстояния для личного состава. Из вышеизложенного следует, что решение проблемы недостаточной дальности доставки огнетушащих веществ в очаг пожара существующими средствами пожаротушения на данный момент является актуальной.

В работе рассмотрена проблема доставки огнетушащих составов различными техническими средствами пожаротушения. Проведен анализ существующих способов вытеснения огнетушащих составов из существующих технических средств и выявлены их общие недостатки. На основании полученных данных проведена сравнительная оценка технической эффективности и эффекта использования огнетушащих порошковых составов в технических средствах пожаротушения. Предложены варианты решения данной проблемы.

*Ключевые слова:* трубопроводный транспорт, открытый фонтан, способ вытеснения, дальность подачи, оценка эффективности

**Для цитирования:** Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Иванов А.В. Оценка способов вытеснения огнетушащих веществ из средств пожаротушения, предназначенных для тушения углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 154–163.

## **COMPARATIVE EVALUATION OF METHODS OF DISPLACEMENT OF EXTINGUISHING AGENTS FROM FIRE EXTINGUISHING MEDIA**

**Maxim R. Sytdykov**<sup>✉</sup>;

**Dmitry F. Kozhevin;**

**Andrey V. Ivanov.**

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

<sup>✉</sup>[sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru)

*Abstract.* The most popular transportation of hydrocarbons in the Russian Federation is pipeline transport, the components of which belong to the category of hazardous production facilities. One of the types of accidents in pipeline transport are open fountains, divided by capacity (debit). Extinguishing such fountains is complicated by large thermal radiation and, as a result, requires ensuring a safe distance for personnel. It follows from the above that the solution to the problem of insufficient range of delivery of extinguishing agents to the fire by existing fire extinguishing means is currently relevant.

The paper considers the problem of the delivery of fire extinguishing compounds by various technical means of fire extinguishing. The analysis of existing methods of displacement of fire extinguishing compounds from existing technical means is carried out and their common disadvantages are revealed. Based on the data obtained, a comparative assessment of the technical

efficiency and effect of the use of fire extinguishing powder compositions in technical means of fire extinguishing was carried out. Solutions to this problem are proposed.

**Keywords:** pipeline transport, open fountain, displacement method, delivery range, efficiency assessment

**For citation:** Sytdykov M.R., Kozhevin D.F., Ivanov A.V. Comparative evaluation of methods of displacement of extinguishing agents from fire extinguishing media // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 154–163.

### Введение

В Российской Федерации транспортировка углеводородов осуществляется трубопроводным, железнодорожным, автомобильным и водным транспортом. Наиболее востребованным из них является трубопроводный транспорт, общая протяженность которого составляет более 180 тыс. км [1].

В 2021 г. на газ пришлось 48,4 %, а на нефть – 40 % всех грузов, транспортируемых трубопроводным транспортом.

Большую долю трубопроводного транспорта составляют магистральные трубопроводы, имеющие в своей структуре помимо линейной части (трубопроводной линии) площадочные объекты (нефтебазы и склады большой вместимости), обеспечивающие хранение взрывопожароопасных продуктов. Оба компонента структуры являются ее основными составными частями, отнесенными к категории опасных производственных объектов [2].

Основными причинами, вызывающими аварии на объектах трубопроводного транспорта, приводящими к пожарам, являются [3]: нарушение технологического процесса; нарушение режима труда и отдыха работников; отсутствие производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности, приводящие к значительным человеческим жертвам и тяжким последствиям. Это подтверждают и наиболее крупные аварии на объектах транспортировки углеводородов, произошедшие в мире за последние 30 лет. В табл. 1 представлены сведения по пострадавшим и погибшим в результате этих аварий.

Таблица 1. Крупные аварии на объектах транспорта углеводородов

Место аварии	Дата	Количество пострадавших, чел.	Количество погибших, чел.	Причины
Сан-Хуан-Иксуатепек, пригород Мехико (Мексика)	19.11.1984	7 097	более 500	Разгерметизация трубопровода из-за коррозии металла
Перегон Аша – Улу-Теляк, Башкирская АССР	04.06.1989	623	575	Разгерметизация трубопровода
Ж/д станция Алматы-2, г. Алма-Ата КССР	20.05.1989	191	20	Нарушение правил маневровых работ
ООО «Ставролен», г. Буденновск, Россия	26.02.2014	18	–	Разгерметизация клапана установки по производству этилена из-за коррозии металла
г. Измит, Турция	01.02.2007	7	2	Нарушение технологического процесса при очистке РВС
ЛПДС «Конда», ХМАО Россия	22.08.2009	5	4	Попадание грозового разряда в РВС
АО «РН-Няганьнефтегаз» ХМАО, Россия	12.08.2020	3	1	Нарушение требований монтажа оборудования

Место аварии	Дата	Количество пострадавших, чел.	Количество погибших, чел.	Причины
АО «КазТрансОйл», г. Актау, Казахстан	11.10.2011	–	8	Нарушение технологического процесса при очистке РВС
ООО «Лукоил-Коми» Республика Коми, Россия	29.04.2020	–	1	Нарушение технологического процесса при ремонте скважины

Примечание: РВС – резервуар вертикальный стальной

Представленные в табл. 1 данные по количеству пострадавших и погибших людей в результате этих аварий свидетельствуют о необходимости решения проблемы в области обеспечения пожарной безопасности объектов транспортировки углеводородов.

Одним из видов аварий на данных объектах являются открытые фонтаны, подразделяющиеся по мощности (дебиту) на [4]: небольшие (0,5 млн м<sup>3</sup>/сут), средние (1 млн м<sup>3</sup>/сут газа, до 300 млн м<sup>3</sup>/сут нефти), мощные (1–3 млн м<sup>3</sup>/сут газа, более 300 млн м<sup>3</sup>/сут нефти) и большой мощности (до 5 млн м<sup>3</sup>/сут газа, до 1 000 млн м<sup>3</sup>/сут нефти). Они представляют собой неуправляемое истечение пластовых флюидов, приносящих большой экономический и экологический ущерб окружающей среде.

В 2020 г. на объектах нефтегазодобывающей промышленности произошло 10 аварий (2 – открытые фонтаны), в 2019 г. – 7 аварий (2 – открытые фонтаны). Количество смертельно травмированных составило 8 человек (в 2019 г. – 8). В результате аварий погибло 2 человека (в 2019 г. – 5). Ущерб от аварий составил 143 895 тыс. руб.[3]. Распределение аварий, произошедших на объектах нефтегазодобычи в 2019–2020 гг., представлено в табл. 2.

Таблица 2. Распределение аварий, произошедших на объектах нефтегазодобычи, по их видам

Виды аварий	Количество аварий				+/-
	2019 г.		2020 г.		
	количество, ед.	%	количество, ед.	%	
Открытые фонтаны и выбросы	2	29	2	20	0
Взрывы и пожары на объектах	2	29	6	60	+4
Падение буровых вышек, разрушение их частей	0	0	0	0	0
Прочие (разрушения технических устройств, разливы нефтесодержащей жидкости)	3	42	2	20	-1
Всего:	7	100	10	100	+3

Данные по количеству аварий и несчастных случаев со смертельным исходом за период с 2009 по 2020 г. показаны на рис. 1.

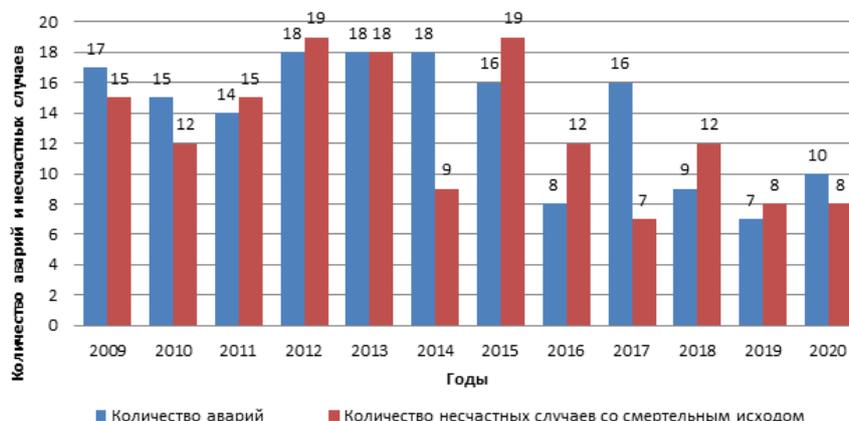


Рис. 1. Динамика аварийности и производственного травматизма со смертельным итогом на опасных производственных объектах нефтегазодобычи в 2009–2020 гг.

Проведенный анализ указывает на актуальность выбранной темы исследования, целью которого является обобщение сведений о способах тушения пожаров открытых фонтанов углеводородов и изучение способов подачи огнетушащих веществ (ОТВ), обоснование закономерностей, определяющих эффективность вытеснения ОТВ в очаг пожара из средств пожаротушения продуктами горения углеводородов.

### **Способы тушения пожаров открытых фонтанов углеводородов**

Возникающие открытые фонтаны условно можно подразделить на нефтяные (содержание в массе более 50 % нефти или конденсата), газонефтяные (10–50 % нефти или конденсата) и газовые (более 90 % газа).

По конфигурации струи открытые фонтаны различают на компактные (фонтанирование происходит через открытую трубу), распыленные (истечение происходит через неплотности в соединениях) и комбинированные (имеется распыленный и компактный факел) (рис. 2–4).



**Рис. 2. Пожар компактного открытого фонтана**



**Рис. 3. Пожар распыленного открытого фонтана**



Рис. 4. Пожар комбинированного открытого фонтана

Одним из важнейших факторов, осложняющих работу личного состава по тушению пожара открытого фонтана, является сильный шум (табл. 3).

Таблица 3. Максимальный уровень шума газовых и нефтяных фонтанов

Дебит фонтана	Уровень шума, децибел	
	горящий фонтан	негорящий фонтан
Небольшой	125	124
Средний	129	127
Мощный	131	130
Большой мощности	132	131

Допустимый уровень шума для людей без специальных средств защиты органов слуха и воздействия на организм человека приведены в табл. 4.

Таблица 4. Допустимый уровень шума при работе по тушению фонтанов

Уровень шума, дБ	Допустимое время работы	Степень воздействия шума на человека
80	До 4,5 ч	Допустимый уровень
90	До 4 ч	Допустимый уровень
100	До 1 ч	Болевые ощущения
120	До 3 мин	Постоянная боль
140	Недопустимо	Болевой порог, шок
180	Недопустимо	Смертельный уровень

На территории постсоветского пространства тушение пожаров открытых фонтанов всех видов чаще всего проводят с помощью лафетных стволов пожарных автомобилей порошкового тушения (АПТ), автомобилями газовой тушения, а также пневматическими порошковыми пламеподавителями «ППП-200» [5].

Важным фактором для успешной ликвидации пожара является дальность подачи ОТВ с расстояния, безопасного для личного состава, участвующего в тушении.

Так, при использовании лафетных стволов АПТ и автомобилей газовой тушения оптимальная дальность подачи ОТВ составляет 15 м [5], а безопасное расстояние  $L_{без}$  для личного состава от факела открытого фонтана даже небольшой мощности составляет более 50 м [6].

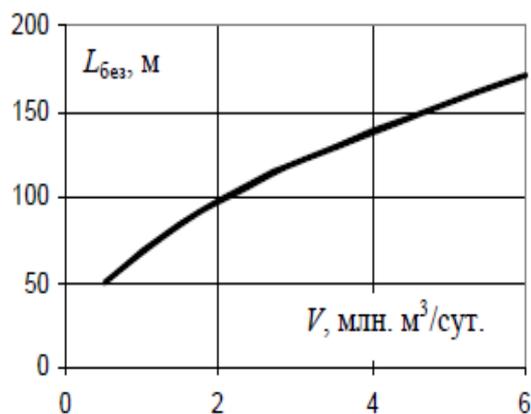


Рис. 4. Безопасное расстояние от пожара открытого фонтана [6]

Представленные на рис. 4 данные показывают, что для тушения пожаров открытых фонтанов необходимо применять способы, обеспечивающие подачу ОТВ с безопасных расстояний для личного состава [7].

### Способы подачи ОТВ

В технических средствах пожаротушения реализованы различные способы подачи ОТВ, приведенные на рис. 5.



Рис. 5. Классификация способов доставки ОТВ (доставка обеспечивается (+), доставка не обеспечивается (-))

В поточных методах подача ОТВ производится в виде сплошной массы (воды, пены, газа или порошка) при помощи ручных и лафетных пожарных стволов, генераторов воздушно-механической пены и др. Однако данные методы применяются только для подачи воды или пены.

В специальных ствольных установках за счет метания контейнеров с ОТВ в очаг пожара реализован контейнерный метод. А применение авиационной техники для тушения пожаров основано на бомбовом методе.

В импульсных пожарных установках «Импульс Шторм», порошковых пневматических пламеподавителях «ППП-200» и струйной системе высокого давления на базе реактивного двигателя (BASF, Германия), предназначенных для тушения пожаров открытых фонтанов, реализован импульсный метод доставки ОТВ [8]. Известны разработки [9], в которых

использованы стационарные импульсные порошковые установки пожаротушения, автоматически срабатывающие при возникновении пожара, который определяется инфракрасными излучателями или тепловизорами.

Метод бросания в основном реализуется ручным забрасыванием огнетушителей, снаряженных порошковыми или аэрозолеобразующими огнетушащими составами.

Наиболее широкое применение получили методы и технические средства, не использующие пороховые заряды или твердые и жидкие топлива.

Согласно [10] наиболее универсальными ОТВ являются огнетушащие порошковые составы. В тоже время основополагающим фактором, по мнению авторов [8], для быстрой локализации и успешного тушения пожара является максимальная концентрация ОТВ в очаге пожара в единицу времени на единицу площади, которую в полной мере способны обеспечить порошковые установки импульсного тушения.

Тушение пожара в импульсных установках осуществляется за счет ингибирующего и охлаждающего действия на горящий факел открытого фонтана огнетушащего порошка, вытеснение которого из установки пожаротушения осуществляется энергией сжатого воздуха или порохового заряда (пиропатрона) [11].

### **Сравнительная оценка технической эффективности использования порошковых составов техническими средствами пожаротушения**

Технические средства пожаротушения реализованы с помощью технологического оборудования для хранения и вытеснения ОТВ, конструктивно размещенного на стационарных или транспортных платформах.

Под технической эффективностью использования порошковых составов техническими средствами пожаротушения понимается их огнетушащая способность, то есть способность потушить определенный модельный очаг пожара.

Для оценки технической эффективности средств пожаротушения используют до 40 единичных показателей, что неудобно и требует проведения их комплексирования.

Коэффициент эффективности использования порошковых составов средствами тушения можно определить из соотношения [12]:

$$K_{ef} = \frac{Q}{S \cdot I \cdot M},$$

где  $Q$  – среднее значение расхода ОТВ на тушение пожара, обеспечиваемое техническим средством, кг/с;  $S$  – максимальное значение огнетушащей способности, м<sup>2</sup>/кг;  $I$  – оптимальное значение интенсивности подачи ОТВ на тушение, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $M$  – запас ОТВ, кг.

Принято в соответствии с данными [13]:  $S = 0,88$  м<sup>2</sup>/кг,  $I = 0,2$  кг/(м<sup>2</sup>·с).

Для оценки технической эффективности, с учетом предъявляемых требований к системам хранения огнетушащих порошковых составов, сформирован безразмерный комплекс, отражающий показатели, влияющие на полноту выхода порошка, и имеющий следующий вид [14]:

$$\pi_3 = \frac{Q}{P \cdot L \cdot \tau},$$

где  $Q$  – среднее значение расхода ОТВ на тушение пожара, обеспечиваемое техническим средством, кг/с;  $P$  – давление в техническом средстве, МПа;  $L$  – длина струи, м;  $\tau$  – время выхода порошка, с.

Результаты сравнительной оценки рабочих показателей технических средств, подающих порошковые составы, отображены в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительная оценка рабочих показателей технических средств порошкового тушения

Показатели	Тип технических средств пожаротушения							
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60	АП-5000 мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301)	АП-5 (53213),	АП-4 (43105), мод 196	Установка «Импульс Шторм»	Установка «ППП-200»
Расход порошка $Q$ , (кг/с)	40	50	50	40	40	80	300	200
Дальность подачи порошка $L$ , м	40	30	50	35	30	45	100	20
Запас порошка $M$ , кг	5000	5000	5000	1000	6300	4000	3000	200
Время выхода порошка $\tau$ , с	125	100	100	25	158	50	10	1
Давление в техническом средстве $P$ , МПа	1,2	20	1	1	0,43	0,8	30	15
$K_{ef}$	0,045	0,056	0,11	0,16	0,18	0,12	0,56	5,6
$\pi_3$	0,006	0,0008	0,01	0,05	0,02	0,04	0,01	0,7

Из данных табл. 5 видно, что для тушения пожаров открытых фонтанов по наибольшим численным значениям расхода, дальности струи и запаса порошка целесообразнее использовать установку «Импульс Шторм», а по коэффициентам эффективности использования порошковых составов  $K_{ef}$  и  $\pi_3$  – установку «ППП-200», основанные на импульсном способе доставки ОТВ.

### Заключение

Наряду с преимуществами каждого из способов вытеснения ОТВ, они имеют общий недостаток – малую дальность подачи ОТВ. Данный показатель в условиях высокого теплового воздействия от пожара открытого фонтана является критерием безопасности, так как при тушении таких пожаров существует угроза жизни и здоровью участникам его пожара. Данный недостаток не присущ только установке «Импульс Шторм», имеющей дальность подачи ОТВ выше безопасного расстояния (50 м) для личного состава от факела. Однако, на взгляд авторов, сложность конструкции и малая мобильность данной установки не позволяет ее применять для тушения открытых фонтанов.

Для решения данной проблемы необходима разработка нового способа, обеспечивающего подачу ОТВ с расстояний, превышающих критические для безопасности личного состава по тепловому излучению. Таким может быть способ вытеснения ОТВ из средств пожаротушения продуктами горения углеводородов.

### Список источников

1. Статистика перевозки грузов по видам транспорта Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (дата обращения: 24.03.2022).

2. Техногенная безопасность объектов хранения и трубопроводного транспорта углеводородов: монография / А.С. Поляков [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019.
3. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. М.: 2021. С. 126–135.
4. Чабаев Л.У. Технологические и методологические основы предупреждения и ликвидации газовых фонтанов при эксплуатации и ремонте скважин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2009. С. 47.
5. Повзик Я.С. Пожарная тактика. М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. С. 416.
6. Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности: ППБО-85 // Электронная база данных документов по пожарной безопасности. 2014. № 2. С. 53.
7. Семко А.Н., Виноградов С.А. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов // Вестник Донецкого Национального университета. 2011. № 1. С. 160–167.
8. Решение проблемы эффективности тушения пожаров применением стволовых установок контейнерной доставки огнетушащих веществ / А.В. Каришин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2007. № 3. С. 72–82.
9. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Tereshchenko A.G. Impulse spray fire-extinguishing system. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper> (дата обращения: 26.02.2022).
10. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
11. Анализ автомобильных и других средств тушения газовых фонтанов, разработка их классификации и индексации / И.В. Цебрюк [и др.] // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. № 4. С. 232–240.
12. Пивоваров В.В., Навценя Н.В. Автомобили порошкового тушения. Развитие производства на предприятиях России, эффективность применения // Пожарная безопасность. 2004. № 5. С. 89–94.
13. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожара. М., 2004. С. 361.
14. Сорокин И.А. Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2022. С. 12.

## References

1. Statistika perevozki gruzov po vidam transporta Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (data obrashcheniya: 24.03.2022).
2. Tekhnogennaya bezopasnost' ob"ektov hraneniya i truboprovodnogo transporta uglevodorodov: monografiya / A.S. Polyakov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019.
3. Godovoj otchet o deyatel'nosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. M.: 2021. S. 126–135.
4. CHabaev L.U. Tekhnologicheskie i metodologicheskie osnovy preduprezhdeniya i likvidacii gazovyh fontanov pri ekspluatacii i remonte skvazhin: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Ufa, 2009. S. 47.
5. Povzik Ya.S. Pozharnaya taktika. M.: ZAO «Spectekhnika», 2004. S. 416.
6. Pravila pozharnoj bezopasnosti v neftyanoj promyshlennosti: PPBO-85 // Elektronnaya baza dannyh dokumentov po pozharnoj bezopasnosti. 2014. № 2. S. 53.
7. Semko A.N., Vinogradov S.A. Ispol'zovanie impul'snyh struj zhidkosti vysokoj skorosti dlya tusheniya gazovyh fakelov // Vestnik Doneckogo Nacional'nogo universiteta. 2011. № 1. S. 160–167.
8. Reshenie problemy effektivnosti tusheniya pozharov primeneniem stvolovyh ustanovok kontejnernoj dostavki ognetushashchih veshchestv / A.V. Karishin [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2007. № 3. S. 72–82.

9. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Tereshchenko A.G. Impulse spray fire-extinguishing system. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper> (data obrashcheniya: 26.02.2022).
10. Ob utverzhenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
11. Analiz avtomobil'nyh i drugih sredstv tusheniya gazovyh fontanov, razrabotka ih klassifikacii i indeksacii / I.V. Cebryuk [i dr.] // Naukovij visnik NLTU Ukraïni. 2015. № 4. S. 232–240.
12. Pivovarov V.V., Navcena N.V. Avtomobili poroshkovogo tusheniya. Razvitie proizvodstva na predpriyatiyah Rossii, effektivnost' primeneniya // Pozharnaya bezopasnost'. 2004. № 5. S. 89–94.
13. Povzik Ya.S. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. M., 2004. S. 361.
14. Sorokin I.A. Metodika ocenki effektivnosti poroshkovykh ognetushitelej pri tushenii pozharov na ob'ektah neftegazovoj otrasli: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2022. S. 12.

*Информация об авторах:*

**Максим Равильевич Сытдыков**, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

**Дмитрий Федорович Кожевин**, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [Kozhevin\\_DF@igps.ru](mailto:Kozhevin_DF@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

**Андрей Владимирович Иванов**, преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [andrei-ivanov84@mail.ru](mailto:andrei-ivanov84@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

*Information about the authors:*

**Maxim R. Sytdykov**, head of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [sytdykov@igps.ru](mailto:sytdykov@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

**Dmitry F. Kozhevin**, head of the department of physico-chemical foundations of gorenje and extinguishing processes of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [Kozhevin\\_DF@igps.ru](mailto:Kozhevin_DF@igps.ru), <http://orcid.org/0000-0002-6418-107X>

**Andrey V. Ivanov**, lecturer of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [andrei-ivanov84@mail.ru](mailto:andrei-ivanov84@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.03.2022; одобрена после рецензирования: 13.05.2021; принята к публикации: 16.06.2022.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.03.2022; approved after review: 13.05.2022; accepted for publication: 16.06.2022.

## ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

---

---

УДК 614.849; 656.08

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ВЫБОРЕ АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ M1G ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ**

**Владислав Романович Новиков**<sup>✉</sup>.

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

<sup>✉</sup>[novikovvr@ma.ru](mailto:novikovvr@ma.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена проблемам выбора легковых автомобилей повышенной проходимости, относящихся к категории транспортных средств M1G, которые могли бы применяться аварийно-спасательными подразделениями МЧС России в Арктической зоне Российской Федерации в качестве оперативного транспорта. Приведена краткая характеристика территорий, входящих в Арктическую зону Российской Федерации. Для экспертной оценки предложен ряд технических параметров легковых автомобилей. Проведена экспертная оценка технических параметров автомобилей, имеющих на российском рынке, в том числе уже эксплуатирующихся в арктических комплексных аварийно-спасательных центрах МЧС России и пожарно-спасательных частях, расположенных на территориях, входящих в Арктическую зону Российской Федерации. На основании полученных данных проведена оценка некоторых автомобилей категории M1G, имеющих сертификаты одобрения транспортного средства на территории Российской Федерации.

*Ключевые слова:* Арктическая зона, легковой автомобиль повышенной проходимости, экспертная оценка, оперативный транспорт, аварийно-спасательные работы

**Для цитирования:** Новиков В.Р. Применение метода экспертных оценок при выборе автомобилей категории M1G для оснащения подразделений МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 164–171.

### **APPLICATION OF THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENTS WHEN CHOOSING CARS OF THE M1G CATEGORY FOR EQUIPPING UNITS OF EMERCOM OF RUSSIA**

**Vladislav R. Novikov**<sup>✉</sup>.

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

<sup>✉</sup>[novikovvr@ma.ru](mailto:novikovvr@ma.ru)

*Abstract.* The article is devoted to the problems of choosing passenger cars of increased cross-country capability belonging to the category of M1G vehicles that could be used by emergency rescue units of EMERCOM of Russia in the Arctic zone of the Russian Federation as operational transport. A brief description of the territories included in the Arctic zone of the Russian Federation is given. A number of technical parameters of passenger cars are proposed for expert evaluation. An expert assessment of the technical parameters of vehicles available on the Russian market, including those already in operation in the Arctic integrated emergency rescue centers of EMERCOM of Russia and fire and rescue units located in the territories included in the Arctic zone of the Russian Federation, was

carried out. Based on the data obtained, an assessment of some M1G category cars with vehicle approval certificates in the territory of the Russian Federation was carried out.

*Keywords:* Arctic zone, cross-country passenger car, expert assessment, operational transport, emergency rescue operations

**For citation:** Novikov V.R. Application of the method of expert assessments when choosing cars of the M1G category for equipping units of EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 2 (62). P. 164–171.

## Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) занимает площадь более 4,9 млн км<sup>2</sup>, шельфовые и внутренние моря порядка 4 млн км<sup>2</sup>, где среднегодовые показатели температуры, в зависимости от региона, колеблются в диапазоне от минус 60 °С до плюс 15 °С. На ее территории полностью или частично расположены территории восьми субъектов, представленных на рис. 1. Население составляет порядка 2,5 млн человек [1, 2].

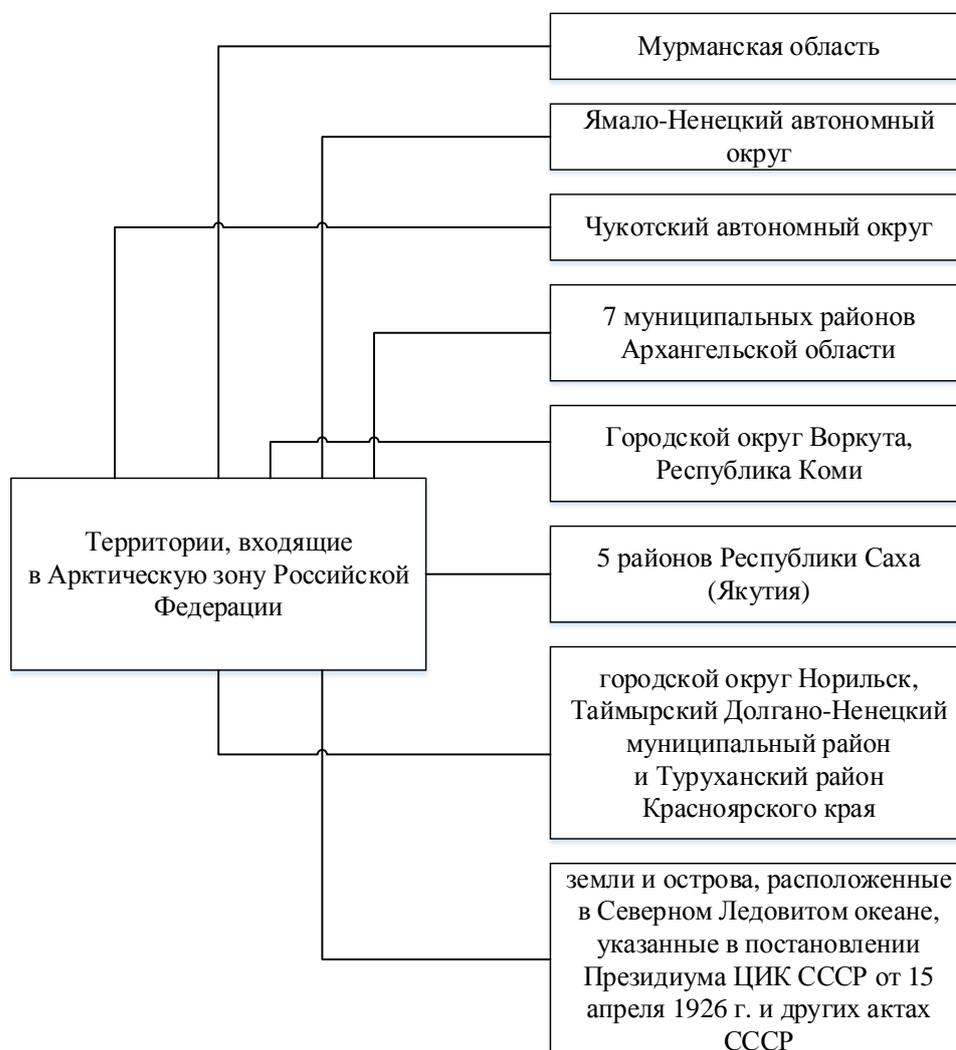


Рис. 1. Субъекты Российской Федерации, расположенные в АЗРФ

При этом продолжение освоения АЗРФ является одним из важнейших аспектов развития науки, техники и экономики [3]. В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании способов и методов выбора различного оборудования, в том числе и аварийно-спасательной техники для подразделений МЧС России.

На основании требований нормативной документации [4] арктические комплексные аварийно-спасательные центры (АКАСЦ) должны укомплектовываться легковыми автомобилями категории М1G для обеспечения оперативной деятельности, также автомобили этой категории могут использоваться подразделениями пожарной охраны.

В статье рассматривается один из методов такого выбора, а именно – экспертная оценка [5, 6]. Несмотря на субъективизм данного метода, существует необходимость проведения такой оценки для дальнейшего сравнения с другими и подтверждения или опровержения полученных данных и конечного выбора метода, позволяющего минимизировать финансовые и другие риски при оснащении АКАСЦ и пожарно-спасательных гарнизонов.

### **Оценка технических параметров автомобилей категории М1G методом экспертной оценки**

Оценка технических параметров легковых автомобилей категории М1G, предлагаемых для оснащения АКАСЦ и пожарно-спасательных гарнизонов, выполнена на основе экспертных оценок пяти специалистов, обобщенные сведения о которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сведения об экспертах, привлеченных к опросу

Занимаемая должность	Стаж работы в МЧС России, лет	Количество
Заместитель начальника управления главного управления МЧС России	20–30	2
Начальник отряда федеральной противопожарной службы	25	1
Начальник аварийно-спасательной службы субъекта Российской Федерации	18	1
Заместитель начальника пожарно-спасательной части федеральной противопожарной службы	18	1

В опросном листе представлены 12 технических параметров, перечень которых сформирован на основании технической и нормативной документации по легковым автомобилям категории М1G [7]. Эксперты, в зависимости от значимости параметра, в том числе и стоимости, определяли наиболее важный для эксплуатации автомобиля в качестве оперативного транспорта на территории АЗРФ. Каждый из экспертов проставил ранги (от 1 до 12). Первое место и, соответственно, ранг 12, присвоены самому важному, по их мнению, параметру, остальным параметрам – от 11 до 1, в случае если эксперт считает параметры равноценными, то их значение определяется как среднее их суммы, первичные результаты опроса представлены в табл. 2.

Таблица 2. Ранги технических параметров автомобиля категории М1G

№ п/п	Наименование технического параметра	Ранги					Сумма рангов
		№ эксперта					
		1	2	3	4	5	
1	Полная масса автомобиля	1	3	2	2	1	9
2	Объем топливного бака	3	5	9	3,5	4	24,5
3	Максимальная скорость	2	1	3	1	2	9
4	Мощность двигателя	8	7	1	7	5	28
5	Габаритные размеры	7	2	8	3,5	3	23,5
6	Вид топлива	5	4	4,5	6	7,5	27
7	Расход топлива на 100 км пробега	4	6	4,5	8	6	25,5
8	Угол въезда	9	9	6	5	10	44,5
9	Угол съезда	10	8	7	10,5	11	46,5
10	Продольный угол проходимости	11	11	10	10,5	9	50
11	Клиренс	6	12	11	9	12	53
12	Стоимость	12	10	12	8	7,5	49,5

Полного согласия между экспертами нет, поэтому приведенные данные подвергаются более тщательному математическому анализу, а именно: применению метода средних арифметических рангов и метода медиан рангов. Уточненные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов по методу средних арифметических и методу медиан для рангов

Наименование технического параметра	Сумма рангов	Среднее арифметическое рангов	Итоговый ранг по среднему арифметическому	Медианы рангов	Итоговый ранг по медианам	Итоговый ранг
Полная масса автомобиля	9	11	11	11	11,5	11
Объем топливного бака	24,5	7,9	8	8,5	10	10
Максимальная скорость	9	11,4	12	11	11,5	12
Мощность двигателя	27	7,4	6	6	6	7
Габаритные размеры	25,5	8,1	9	8,5	8,5	9
Вид топлива	28	7,6	7	8	7	8
Расход топлива на 100 км пробега	25,5	8,3	10	3	4	5
Угол въезда	44,5	4,1	5	8,5	8,5	6
Угол съезда	46,5	3,7	4	4	5	4
Продольный угол проходимости	48	3	2	3	2,5	3
Клиренс	52	2,4	1	3	2,5	2
Стоимость	48,5	3,1	3	1	1	1

На основании полученных значений была проведена оценка автомобилей категории М1G, представленных на рынке и находящихся на вооружении подразделений МЧС России [8–15], оценка производилась по сумме рангов технических параметров, где наименьшее численное значение соответствует лучшему результату, данные представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты оценки автомобилей

Марка автомобиля	Сумма рангов	Итоговое значение
Nissan Patrol	50,5	5,5
Suzuki Jimny	41	1
Уаз Patriot	50,5	5,5
Toyota Fortuner	51,5	7
Nissan Terrano	48	4
Renault Duster	44	3
Lada Niva	42	2
Skoda Kodiaq	57,5	8

Как видно из полученных данных, на основании экспертной оценки для оснащения АКАСЦ и пожарно-спасательных гарнизонов предпочтительны автомобили Suzuki Jimny

и Lada Niva, которая успешно применяется подразделениями МЧС России. Также необходимо обратить внимание, что все автомобили должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 50992–2019 «Автомобильные транспортные средства. Климатическая безопасность. Технические требования и методы испытаний» и ГОСТ 15150–69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».

### Заключение

Оснащение АКАСЦ и подразделений пожарно-спасательных гарнизонов оперативным транспортом является проблемным вопросом в системе МЧС России ввиду жестких требований, предъявляемых к автомобилям не только по климатическому исполнению, но и по надежности и удобству технического обслуживания.

Поэтому вопрос выбора аварийно-спасательной техники, в том числе и оперативного легкового транспорта для АКАСЦ, дислоцируемых в АЗРФ, требует дальнейшего рассмотрения.

### Список источников

1. Корчак Е.А. Арктическая зона России: социальный портрет регионов. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2017. 101 с.
2. АРКТИКА / В.М. Котляков [и др.] // Большая российская энциклопедия. 2020. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/3452274> (дата обращения: 25.03.2022).
3. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента Рос. Федерации от 26 окт. 2020 г. № 645. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. Об утверждении норм материально-технического обеспечения поисково-спасательных формирований Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 26 янв. 2021 г. № 30 // МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/5895> (дата обращения: 25.03.2022).
5. Таранцев А.А., Шилин К.Ю. Методы многопараметрической оптимизации в задачах выбора решений: учеб.-метод. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России; ИПТ РАН, 2019. 31 с.
6. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб.: в 3-х ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Ч. 2: Экспертные оценки. 486 с.
7. О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств (вместе с ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств): решение Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 877 (в ред. от 21 дек. 2021 г.). URL: [https://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n\\_19/](https://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n_19/) (дата обращения: 25.03.2022).
8. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Lada Niva ТС RU E-RU.MT02.00271.P3 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: [https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMTI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTE1OTkAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMTI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTE1OTkAB19fRU9GX18*) (дата обращения: 06.04.2022).

9. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль УАЗ Patriot TC RU E-RU.MT02.00328.P11 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIхAAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIхAAdfX0VPR19f) (дата обращения: 06.04.2022).

10. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Skoda Kodiaq TC RU E-CZ.AЯ04.00283.P6 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMjI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTI4NTQAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMjI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTI4NTQAB19fRU9GX18*) (дата обращения: 06.04.2022)

11. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Renault Duster TC RU E-RU.MT02.00095.P7 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ3Njс0AAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ3Njс0AAdfX0VPR19f) (дата обращения: 06.04.2022).

12. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Nissan Patrol TC RU E-CN.MT02.00304 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/compulsory/vehicletypeapproval?portal:componentId=0f65ab12-94e8-4973-a2b2-8e634fa52aa6&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXdIAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQADMjgwAAZkb2NfaWQAAAABAAQyMDQ0AAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/compulsory/vehicletypeapproval?portal:componentId=0f65ab12-94e8-4973-a2b2-8e634fa52aa6&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXdIAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQADMjgwAAZkb2NfaWQAAAABAAQyMDQ0AAdfX0VPR19f) (дата обращения: 06.04.2022).

13. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Nissan Terrano TC RU E-RU.MT02.00310 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXcXAARmcm9tAAAAQACODAAAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXcXAARmcm9tAAAAQACODAAAB19fRU9GX18*) (дата обращения: 06.04.2022).

14. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Toyota Fortuner TC RU E-TH.MT02.00669.P3 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXdJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEOdYwMAAGZG9jX2lkAAAAQAEMjA2NAAHX19FT0ZfXw\\*\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00ABXdJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEOdYwMAAGZG9jX2lkAAAAQAEMjA2NAAHX19FT0ZfXw**) (дата обращения: 06.04.2022).

15. Свидетельство об одобрении типа транспортного средства автомобиль Suzuki Jimny TC RU E-JP.MT02.00212.P1 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

URL:<https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2->

7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\_r00A BXdHAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQABMAAG ZG9jX2lkAAAAAQAFMTE4MTUAB19fRU9GX18\* (дата обращения: 06.04.2022).

## References

1. Korchak E.A. Arkticheskaya zona Rossii: social'nyj portret regionov. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2017. 101 s.
2. ARKTIKA / V.M. Kotlyakov [i dr.] // Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. 2020. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/3452274> (дата обращения: 25.03.2022).
3. O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 goda: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 26 okt. 2020 g. № 645. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
4. Ob utverzhdenii norm material'no-tehnicheskogo obespecheniya poiskovo-spasatel'nyh formirovanij Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij: prikaz MCHS Rossii ot 26 yanv. 2021 g. № 30 // MCHS Rossii. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/5895> (дата обращения: 25.03.2022).
5. Tarancev A.A., Shilin K.Yu. Metody mnogoparametricheskoy optimizacii v zadachah vybora reshenij: ucheb.-metod. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, IPT RAN, 2019. 31 s.
6. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: ucheb.: v 3-h ch. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 2009. CH. 2: Ekspertnye ocenki. 2011. 486 s.
7. O prinyatii tekhnicheskogo reglamenta Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti kolesnyh transportnyh sredstv (vmeste s TR TS 018/2011. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza. O bezopasnosti kolesnyh transportnyh sredstv): reshenie Komissii Tamozhennogo soyuza ot 9 dek. 2011 g. № 877 (v red. ot 21 dek. 2021 g.). URL: [https://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuz-a-ot-09122011-n\\_19/](https://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuz-a-ot-09122011-n_19/) (дата обращения: 25.03.2022).
8. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Lada Niva TS RU E-RU.MT02.00271.R3 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00A BXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMTI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTE1OTkAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00A BXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMTI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTE1OTkAB19fRU9GX18*) (дата обращения: 06.04.2022).
9. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' UAZ Patriot TS RU E-RU.MT02.00328.R11 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00A BXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIxAAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00A BXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIxAAdfX0VPR19f) (дата обращения: 06.04.2022).
10. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Skoda Kodiaq TS RU E-CZ.AYA04.00283.R6 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00A BXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMjI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTI4NTQAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00A BXdKAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEMjI0MAAGZG9jX2lkAAAAAQAFMTI4NTQAB19fRU9GX18*) (дата обращения: 06.04.2022).
11. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Renault Duster TS RU E-RU.MT02.00095.R7 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_r00A BXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIxAAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_r00A BXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ4NTIxAAdfX0VPR19f)

dgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\_rO0ABXc5AAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AAZkb2NfaWQAAAABAAQ3Nj c0AAAdfX0VPR19f (data obrashcheniya: 06.04.2022).

12. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Nissan Patrol TS RU E-CH.MT02.00304 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/compulsory/vehicletypeapproval?portal:componentId=0f65ab12-94e8-4973-a2b2-8e634fa52aa6&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXdIAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQADMjgwAAZkb2NfaWQAAAABAAQyMDQ0AAAdfX0VPR19f](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/compulsory/vehicletypeapproval?portal:componentId=0f65ab12-94e8-4973-a2b2-8e634fa52aa6&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXdIAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQADMjgwAAZkb2NfaWQAAAABAAQyMDQ0AAAdfX0VPR19f) (data obrashcheniya: 06.04.2022).

13. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Nissan Terrano TS RU E-RU.MT02.00310 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXcXAARmcm9tAAAAAQACODAAAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXcXAARmcm9tAAAAAQACODAAAB19fRU9GX18*) (data obrashcheniya: 06.04.2022).

14. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Toyota Fortuner TS RU E-TH.MT02.00669.R3 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXdJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEODYwMAAGZG9jX2lkAAAAQAEMjA2NAAHX19FT0ZfXw\\*\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXdJAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQAEODYwMAAGZG9jX2lkAAAAQAEMjA2NAAHX19FT0ZfXw**) (data obrashcheniya: 06.04.2022).

15. Svidetel'stvo ob odobrenii tipa transportnogo sredstva avtomobil' Suzuki Jimny TS RU E-JP.MT02.00212.R1 // Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:[https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXdHAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQABMAAGZG9jX2lkAAAAQAFMTE4MTUAB19fRU9GX18\\*](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/compliance/evaluationcompliance/AcknowledgementCorrespondence/vehicletypeapproval018?portal:componentId=c3ec30b7-b58b-4330-8ab2-7e3b9b82739c&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXdHAAZhY3Rpb24AAAABABBjb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAQABMAAGZG9jX2lkAAAAQAFMTE4MTUAB19fRU9GX18*) (data obrashcheniya: 06.04.2022).

*Информация об авторах:*

**Владислав Романович Новиков**, старший преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: novikovvr@ma.ru

*Information about the authors:*

**Vladislav R. Novikov**, senior lecturer of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: novikovvr@ma.ru

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 30.03.2022; одобрена после рецензирования: 25.04.2022; принята к публикации: 11.05.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 30.03.2022; approved after review: 25.04.2022; accepted for publication: 11.05.2022

---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

В последующем учебное заведение преобразовывалось и меняло свое название.

25 апреля 2022 г. в соответствии с Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина Санкт-Петербургскому университету ГПС МЧС России присвоено почётное наименование «имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева».

Учебным заведением за вековую историю подготовлено несколько десятков тысяч 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 Георгиевского креста, 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 имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Учебный процесс осуществляется по 891 дисциплине на 27 кафедрах. Университет осуществляет подготовку по разным формам обучения: очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий по программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации, переподготовку и повышение квалификации специалистов МЧС России.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы кандидат технических наук, доцент Гавкалюк Богдан Васильевич.

Подготовка реализуется по 21 образовательной программе высшего образования, что является наибольшим количеством реализуемых программ среди образовательных организаций высшего образования МЧС России, и 83 программам дополнительного профессионального образования и профессионального обучения.

По программам специалитета в университете можно пройти обучение по таким направлениям подготовки, как: «Пожарная безопасность», «Горное дело», «Психология служебной деятельности», «Экономическая безопасность», «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Судебная экспертиза». По программам бакалавриата – «Техносферная безопасность», «Системный анализ и управление», «Психология», «Управление персоналом», «Государственное и муниципальное управление», «Юриспруденция». По программам магистратуры – «Техносферная безопасность», «Системный анализ и управление», «Государственное и муниципальное управление», «Юриспруденция».

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.

Укомплектованность научно-педагогическим составом, имеющим учёные степени и звания, составляет более 70 %, что позволяет университету занимать лидирующие позиции среди учебных заведений Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 55 докторов наук, 268 кандидатов наук, 46 профессоров, 150 доцентов.

В составе университета:

- 28 кафедр;
- 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. Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

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.

Институт активно участвует в разработке новых и совершенствовании существующих инструментальных методов и технических средств исследования и экспертизы пожаров, производстве судебных пожарно-технических экспертиз и исследованиях в области экспертизы пожаров, выполнении поисковых научно-исследовательских работ прикладного характера, выполнении поисковых научно-исследовательских работ по обеспечению безопасности в Арктическом регионе и проведении сертификационных испытаний, апробировании методик по стандартам ISO, EN и резолюциям IMO.

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. Ниш (Сербия).

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус. Он 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.

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет более 7 000 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Университет издает 7 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».

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».

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. Университет, осуществляя образовательную деятельность, обладает широкой локализацией на территории Российской Федерации, государств-участников Содружества Независимых Государств и других стран.

Большой интерес к обучению в университете проявляется со стороны иностранных граждан. В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. Только в период с 2016 по 2021 г. в университете прошли обучение по программам дополнительного профессионального образования 712 иностранных граждан, завершили обучение по программам высшего образования 468 иностранных граждан.

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.

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.

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-спасательному спорту (ПСС) 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 ПСС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по 18 видам спорта. 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.

К 75-летию со Дня Победы в Великой Отечественной войне и 30-летию МЧС России на территории учебного заведения был открыт музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся, сотрудники, гости университета могут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до высшего учебного заведения.

В федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева» созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов МЧС России.



---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

---

---

К публикации принимаются исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

**1. Материалы** для публикации представляются в редакцию журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – *заклучением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя помимо вышеуказанных документов должна сопровождаться *отзывом научного руководителя*;

г) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

д) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем** от **8** до **15** страниц.

**3.** Оригинальность статей должна быть **не менее 70 %**.

**4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:**

### **Введение**

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

### **Методы исследования**

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

### **Заключение**

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

**Для ОБЗОРНЫХ аналитических статей** допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения должны быть подтверждены сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

### **5. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;  
б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов (**не более трех**); место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

**Требования к аннотации.** Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных

исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

#### **6. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

#### **7. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

#### **8. Оформление библиографии (списка литературы):**

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей – **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей – не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

#### *Правила оформления списка литературы:*

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

#### *Примеры оформления списка литературы:*

##### **Литература**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневых процессов: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

#### **9. Оформление раздела «Сведения об авторах»**

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>).

*Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.*

**Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.**

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.**

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 614.8

### МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

Сергей Петрович Иванов✉.

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

✉spi78@mail.ru

*Аннотация.* 100–250 слов

*Ключевые слова:* 3–10 слов

**Для цитирования:** Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 25–30. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

### METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

Sergey P. Ivanov✉. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,  
Saint-Petersburg, Russia

✉spi78@mail.ru

*Abstract.*

*Keywords:*

**For citation:** Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere.* 2022. № 1 (61). P. 25–30.

#### **Введение**

Текст, текст, текст

#### **Методы исследования**

Текст, текст, текст

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Текст, текст, текст

#### **Заключение**

Текст, текст, текст

**Список источников** (не менее 10 источников)

**References**

*Информация об авторах:*

**Сергей Петрович Иванов** – заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

*Information about the authors:*

**Sergey P. Ivanov** – deputy head of the Research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022;  
принята к публикации: 11.02.2022 (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

**The information about article:**

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

**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 имени Героя  
Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»**

**Научно-аналитический журнал**

**Проблемы управления рисками в техносфере  
№ 2 (62)–2022**

**Подписной индекс № 16401 в электронном каталоге ГК «Урал-Пресс»**

**Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.**

Редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 30.06.2022. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. л. 22,75 Тираж 1000 экз. Зак. № 83

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149