

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

**Денисов А. Н., Данилов М. М., Григорьев А. Н., Захаревский В. Б.**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА D1 ПОРОШКОВЫМИ ОГНЕТУШАЩИМИ СОСТАВАМИ .....3

**Чибисов А. Л., Федоткин Д. В., Инчиков А. П., Волкова А. В.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДЫМОВЫДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ .....13

**Чан Дык Чунг, Фогилев И. С.**

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ В УДАЛЕННЫХ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЯХ ВЬЕТНАМА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ И ДОБРОВОЛЬНЫМИ ПОЖАРНЫМИ .....24

**Бельшина Ю. Н., Цыганков М. С., Ян Лун Никита**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПЕРЕНОСНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРОГРЕВА ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....38

**Кононенко Е. В., Мокроусова О. А., Черкасский Г. А.**

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....47

**Глухих П. А., Ефимов И. А., Белявский Н. В., Головина Е. В., Сафронова И. Г.**

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНИКОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ .....61

**Алешков М. В., Гумиров А. С.**

СОЗДАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ ПРИ ПОДАЧЕ ПО ПОЖАРНЫМ РУКАВАМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР .....69

**Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Коваль Ю. Н.**

УЧАСТКИ АЗИАТСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ, ГДЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЙ В 1961–2024 ГГ. ИХ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ МЕСЯЦЕВ ПОЖАРООПАСНОГО СЕЗОНА БЛИЗКИ К КОНСЕРВАТИВНЫМ .....81

## БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

**Чикир М. В.**

БАЙЕСОВСКОЕ СЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ .....98

**Малютина Е. В., Тимашев С. А.**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СОЦИАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ НА ТЕХНОГЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ. ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЖИВУЧЕСТЬЮ РЕГИОНА .....111

**Самигуллин Г. Х., Евлов З. Б., Булатов В. О.**

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА КРИОГЕННОГО ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИВЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА .....122

**Горлов В. В., Меньших В. В., Никитенко В. А.**

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО ЭВАКУАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....136

## CONTENTS

### FIRE SAFETY

- Alexey N. Denisov, Mikhail M. Danilov, Alexey N. Grigoriev, Viktor B. Zakharevsky**  
EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF DEVELOPING AND EXTINGUISHING FIRES OF DI CLASS WITH POWDER EXTINGUISHING COMPOSITIONS .....3
- Andrey L. Chibisov, Dmitry V. Fedotkin, Andrei P. Inchikov, Anna V. Volkova**  
DETERMINATION OF THE SMOKE EMISSION COEFFICIENT OF DISPERSED METALS AND THEIR COMPOUNDS .....13
- Tran Duc Trung , Ivan S. Fogilev**  
PREVENTION OF CASCADING DEVELOPMENT OF FIRES IN REMOTE RURAL SETTLEMENTS OF VIETNAM BY FIRE PROTECTION UNITS AND VOLUNTEER FIREFIGHTERS .....24
- Yulia N. Belshina, Mikhail S. Tsygankov, Nikita Yan Lun**  
SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A PORTABLE DEVICE HEATING OF INTUMESCENT FLAME-RETARDANT COATINGS .....38
- Elena V. Kononenko, Olga A. Mokrousova, Grigorii A. Cherkasskiy**  
PRIORITY DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF FIRE SAFETY .....47
- Pavel A. Glukhykh, Ivan A. Efimov, Nikolay V. Belyavsky, Ekaterina V. Golovina, Irina G. Safronova**  
APPLICATION OF INSTRUMENTAL METHODS OF STUDYING EMERGENCY MODES OF OPERATION OF ELECTRICAL CONDUCTORS AT THE PRESENT STAGE .....61
- Mikhail V. Aleshkov, Andrey S. Gumirov**  
CREATION OF A MEASURING COMPLEX FOR DETERMINING THE COOLING OF COMPRESSION FOAM WHEN DELIVERED THROUGH FIRE HOSES IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS .....69
- Alexander V. Kholoptsev, Roman G. Shubkin, Yulia N. Koval**  
IDENTIFICATION OF AREAS OF THE ASIAN TERRITORY OF RUSSIA WHERE SCENARIOS FOR CHANGES IN THEIR THERMAL REGIME IN 1961–2024 FOR THE MONTHS OF THE FIRE-HAZARDOUS SEASON ARE CLOSE TO CONSERVATIVE .....81

### SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS

- Maria V. Chikir**  
BAYESIAN NETWORK PREDICTING NATURAL RISKS ON THE RAILWAY .....98
- Elizaveta V. Malyutina, Sviatoslav A. Timashev**  
AUTOMATED MONITORING OF SOCIAL RESPONSE TO MAN-MADE INCIDENTS: A TOOL FOR MANAGING REGIONAL RESILIENCE .....111
- Gafur Kh. Samigullin, Zelimkhan B. Evloev, Vyacheslav O. Bulatov**  
THE METHODOLOGY OF ASSESSING THE RISK OF CRYOGENIC INJURY TO HUMANS IN EMERGENCY SITUATIONS DURING A SPILL OF LIQUEFIED NATURAL GAS .....122
- Vitaly V. Gorlov, Valery V. Menshikh, Vitaly A. Nikitenko**  
DEVELOPMENT OF A MODEL AND ALGORITHM FOR OPTIMIZING EVACUATION DECISIONS IN EMERGENCY SITUATIONS .....136

УДК 614.842/.847

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА D1 ПОРОШКОВЫМИ ОГNETУШАЩИМИ СОСТАВАМИ

Денисов Алексей Николаевич, Данилов Михаил Михайлович, Григорьев Алексей Николаевич, Захаревский Виктор Борисович

Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена экспериментальному обоснованию параметров развития (времени свободного развития горения стружки магниевых сплавов по поверхности непрессованной) и тушения пожара (оценки количества сухого молотого флюса, затраченного для тушения непрессованной стружки магниевых сплавов). Учет указанных параметров необходим для прогнозирования развития пожара и планирования сил и средств пожарных подразделений для ликвидации возгорания. Тушение пожаров класса D1, включая алюминий и магний, представляет собой многогранный процесс из-за высокой реакционной способности этих материалов и невозможности использования традиционных огнетушащих веществ, таких как вода и/или диоксид углерода. Подаваемые вещества могут усугубить ситуацию за счет экзотермических реакций с выделением взрывоопасных газов.

Для тушения пожаров класса D1 в основном используются порошковые огнетушащие составы, т. к. они обеспечивают изоляцию горячей поверхности от кислорода и могут быть эффективны при правильном выборе состава и способа применения. Однако, несмотря на прогресс в этой области, поиск оптимальных порошковых составов, способов их применения и подачи в очаг остается актуальной научно-практической задачей.

В рамках исследования была проведена серия лабораторных экспериментов с целью получения минимальных значений огнетушащей концентрации порошкового огнетушащего состава и скорости развития горения.

Результаты исследования рекомендуется использовать в подразделениях пожарной охраны при ликвидации горения, в учебном процессе, а также в научно-исследовательских работах с целью разработки рекомендаций для выбора рационального способа подачи порошковых огнетушащих составов для тушения пожаров класса D1.

**Ключевые слова:** пожары класса D1, линейная скорость, магний, металл, тушение, порошковый огнетушащий состав, непрессованная стружка, эксперимент, флюс

**Для цитирования:** Экспериментальное обоснование параметров развития и тушения пожаров класса D1 порошковыми огнетушащими составами // А. Н. Денисов [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 3–12.

# EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF DEVELOPING AND EXTINGUISHING FIRES OF DI CLASS WITH POWDER EXTINGUISHING COMPOSITIONS

Alexey N. Denisov, Mikhail M. Danilov, Alexey N. Grigoriev, Viktor B. Zakharevsky  
SFA of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the experimental substantiation of the parameters of the development (time of free development of combustion of magnesium alloy chips on the surface of unpressed) and fire extinguishing (estimation of the amount of dry ground flux spent for extinguishing unpressed magnesium alloy chips). Accounting for these parameters is necessary for predicting the development of a fire and planning the forces and means of fire departments to eliminate the fire. Extinguishing Class D1 fires, including aluminum and magnesium, is a multifaceted process due to the high reactivity of these materials and the inability to use traditional extinguishing agents such as water and/or carbon dioxide. The supplied substances can aggravate the situation due to exothermic reactions with the release of explosive gases.

To extinguish class D1 fires, powder fire extinguishing compositions are mainly used, since they provide isolation of the burning surface from oxygen and can be effective with the correct choice of composition and method of application. However, despite the progress in this area, the search for optimal powder compositions, methods of their application and supply to the hearth remains an urgent scientific and practical task.

As part of the study, a series of laboratory experiments were conducted to obtain minimum values of the fire extinguishing concentration of the powder fire extinguishing composition and the rate of combustion development.

The results of the study are recommended to be used in fire protection units when extinguishing fires, in the educational process, as well as in research work with the aim of developing recommendations for choosing a rational method of supplying powder fire extinguishing agents for extinguishing class D1 fires.

**Keywords:** D1 class fires, linear velocity, magnesium, metal, extinguishing, powder extinguishing compound, unpressed chips, experiment, flux

**For Citation:** Experimental substantiation of parameters of developing and extinguishing fires of Di class with powder extinguishing compositions // A. N. Denisov et al. // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 3–12.

## Введение

Проблема возникновения химической реакции (выделение водорода), усиливающей пожар, при подаче в очаг горения воды и других традиционных огнетушащих ве-

ществ известна как практикам пожаротушения, так и научному сообществу [1]. Анализ горения легких порошкообразных металлов (алюминия, магния, бора) в воздухе, водяном паре и диоксиде углерода выявил такие их особенности, как большая химическая

активность, высокое значение тепловыделения в реакциях горения, которые делают эти металлы не менее пожаровзрывоопасными, чем пары углеводородных горючих.

При ограниченном выборе огнетушащих веществ, которые могут быть применены для ликвидации горения металлов, наиболее эффективными являются порошковые огнетушащие составы [2, 3]. Поиск идеального средства тушения постоянно ведется учеными во всех странах мира. Рассматриваются песок, цементный порошок [4], соли, хлопья целлюлозы [5], расширяющийся графит (EG) и бикарбоната калия ( $\text{KHCO}_3$ ) [6], но такое вещество до сих пор не найдено [7–11].

Порошковое пожаротушение — это прием пожаротушения, реализующий традиционный способ прекращения горения (химического торможения) посредством подачи огнетушащего вещества в виде мелкозернистой порошковой смеси. Химически огнетушащие порошки представляют собой соли металлов с различными специальными добавками. Механизм ликвидации горения с их помощью основан на ряде свойств: нагреваясь, порошковая смесь отнимает тепло у очага возгорания, значительно снижая температуру горения; разлагаясь при нагревании, порошковая смесь выделяет негорючие газы, препятствующие воспламенению; смешиваясь с горячим воздухом, порошковая смесь создает вокруг очага возгорания взвесь, препятствующую притоку кислорода; вещества, применяемые для производства порошковых смесей, служат ингибиторами (подавителями) процесса горения.

### Материалы и методы

Были идентифицированы количественные показатели развития и тушения пожа-

ров класса D1 порошковыми огнетушащими составами. Для обработки результатов эксперимента использовались методы статистической обработки полученных данных: выборочный средний, дисперсии, моды и медианы; сравнения первичных статистик у нескольких выборок; определение эффективного способа прекращения горения (в стране и за рубежом) иерархическим методом.

### Результаты и их обсуждение

Авторами проводились физические эксперименты с целью экспериментального обоснования скорости распространения горения по изделиям из титановых, магниевых, алюминиевых, магниево-цинковых сплавов, магниевой стружки и оценки огнетушащей способности воды, пенных и порошковых огнетушащих составов, в т. ч. сухого молотого флюса [12], при горении магния и алюминия. Результаты (выборочные) одного из них представлены в настоящей статье.

Эксперимент был проведен на открытом воздухе с контролем метеорологических факторов. Соблюдались следующие условия.

- **Отсутствие осадков.** Эксперимент проводился в сухую погоду, без дождя или других подобных погодных явлений, чтобы исключить влияние влаги на процесс горения и тушения.
- **Низкая скорость ветра.** Скорость ветра была ограничена до 1 м/с, что позволяло минимизировать воздействие внешних аэродинамических факторов на распространение пламени и эффективность тушения.
- **Тип площадки.** Модельный очаг горения располагался на ровной, гори-

зонтальной поверхности (рис. 1). На площадке размещались: квадратный противень из листовой стали<sup>1</sup>, магниевая стружка<sup>2</sup>, емкости для измерения объема<sup>3</sup>, емкость для тушения<sup>4</sup>, секундомер<sup>5</sup>. Эксперимент состоял из подготовки, зажигания, тушения и измерения.

- **Подготовка.** Магниевая стружка равномерно распределяется по противню.
- **Зажигание.** Стружка зажигается с одного из углов противня.
- **Тушение.** Когда огонь распространится на 80 % площади, начинается подача сухого молотого флюса.
- **Измерение.** Секундомер использовался для регистрации времени горения и времени, необходимого для полного тушения [12].

Инициация горения обеспечивала контролируемое начало горения и позволяла отслеживать распространение пламени. Металлическая стружка зажигалась с одного из углов противня с целью контроля распространения горения по площади исследуемого материала (для сравнения линейной скорости распространения горения по поверхности в другом эксперименте). Сухой молотый флюс подавался с расстояния от

<sup>1</sup> Квадратный противень из листовой стали со стороной  $500 \pm 10$  мм, высотой  $150 \pm 5$  мм и толщиной стенок от 2,5 до 3,0 мм (ГОСТ Р 53280.5–2009).

<sup>2</sup> Используется в качестве горючего материала для эксперимента. Представляет собой легкий металл с высокой реакционной способностью, что делает его сложным для тушения.

<sup>3</sup> Две емкости, соответствующие стандарту ГОСТ 20558–82. Первая емкость используется для измерения объема магниевой стружки. Вторая емкость предназначена для измерения объема сухого молотого флюса.

<sup>4</sup> Также соответствует стандарту ГОСТ 20558–82. Используется для подачи сухого молотого флюса на горящую магниевую стружку.

<sup>5</sup> Соответствует стандарту ГОСТ 8.423–81. Позволяет точно измерять время эксперимента, включая время горения и время тушения.

600 до 800 мм над поверхностью металла (изменение расстояния в этом диапазоне не влияло на равномерность распределения флюса, на поверхность и время тушения). С такого же расстояния подавался порошок из огнетушителя (ОП-8) (рис. 2).

При отсутствии признаков горения металла подачу порошка прекращали, что обеспечивало локализацию пожара по БУПО при одновременном выполнении условий: в очаге визуально не наблюдается факел пламени и характеризуется тление горючих материалов.

Если в течение 10 мин после окончания предыдущей итерации тушения возникали повторные очаги горения, то производилось дотушивание. Очаг считался ликвидированным, если в течение 10 мин после последнего дотушивания не произошло повторного воспламенения (рис. 3).

Оценка эффективности тушения осуществлялась на основе разницы объема использованного и оставшегося огнетушащего вещества от объема магниевой стружки. В серии экспериментов с тушением непрессованной стружки магниевых сплавов сухим молотым флюсом процентное соотношение объема магниевой стружки к количеству флюса, затраченного для тушения, составило 71 %.

Для анализа развития пожара и определения требуемого количества сил и средств подразделений пожарной охраны необходимо знать линейную скорость распространения горения по поверхности магниевой стружки.

Эксперимент по определению линейной скорости распространения горения состоял из подготовки, зажигания и измерения. На этапе подготовки на ровной бетонной площадке устанавливалась линейка, вдоль



Рис. 1. Подготовка к проведению эксперимента:  
1 — противень с непрессованной стружкой магниевых сплавов;  
2 — емкость для измерения объема с сухим молотым флюсом

Fig. 1. Preparation for the experiment:  
1 — tray with unpressed magnesium alloy chips;  
2 — volume measuring vessel with dry ground flux



Рис. 2. Тушение непрессованной стружки магниевых сплавов порошковым огнетушителем ОП-8  
Fig. 2. Extinguishing of unpressed magnesium alloy chips with powder fire extinguisher OP-8



Рис. 3. Фрагмент проведения эксперимента (окончание)

Fig. 3. Fragment of the experiment (end)



Рис. 4. Фрагмент последовательности проведения эксперимента (подготовка):

1 — непрессованная стружка магниевых сплавов; 2 — линейка

Fig. 4. Fragment of the experiment sequence (preparation):

1 — unpressed magnesium alloy chips; 2 — ruler

которой равномерно распределялась полоса магниевой стружки длиной 1 м (рис. 4). После этого с одного края осуществлялась инициация горения, и включался секундомер. По истечении одной минуты горения фиксировалось продвижение огня по полосе магниевой стружки.

В результате получили значения линейной скорости распространения горения

по поверхности непрессованной магниевой стружки, которая составила 0,3 м/мин.

В дальнейшем важно разработать модель, которая будет учитывать зависимость минимальной огнетушащей концентрации порошкового состава не только от объема горючего вещества, но и от времени свободного развития горения (начало тушения). Это позволит минимизировать затраты, по-

высвить эффективность пожаротушения, лучше понять динамику пожара и оптимизировать тактику тушения (приемы подачи порошка).

### Выводы

Применение порошковых огнетушащих составов обладает рядом преимуществ: стоимость, длительное хранение, тушение пожаров пяти классов из шести, широкий температурный диапазон применения, отсутствие требований к герметизации помещения. Однако имеются и недостатки: неэффективность при тушении веществ,

способных гореть без притока воздуха; химическая активность; затруднение перекачки (традиционными способами); представляют опасность для здоровья человека.

На основе экспериментальных данных было установлено, что линейная скорость распространения горения непрессованной стружки магния и магниевых сплавов составляет 0,3 м/мин, а эффективность огнетушащего вещества молотого флюса 71 %. Эти параметры нужны для определения численности и технической оснащенности подразделения пожарной охраны для организации и осуществления тушения пожаров класса D1.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малинин В. И., Серебренников С. Ю., Бербек А. М. Анализ особенностей горения порошков металлов в смесях с воздухом, водой и диоксидом углерода // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 4. С. 12–17. EDN MSZDBZ.
2. Тушение титана с применением газовых и порошковых огнетушащих составов / С. В. Добровенко [и др.] // Пожарная безопасность. 2011. № 3. С. 40–43. EDN OEXBLV.
3. Sharma T. P., Lal B. B., Singh J. Metal fire extinguishment // Fire Technol. 1987. № 23. pp. 205–229. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01036937>.
4. Yan, Long & Wang, Ning & Xu, Zhisheng. Experimental study on the effectiveness and safety of cement powder on extinguishing metal magnesium fires based on pneumatic conveying technology // Case Studies in Thermal Engineering. 2022. № 37. pp. 102–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102279>.
5. HAGAUER, Josef & MATLSCHWEIGER, Ulrich & TIPPELREITHER, Christian & HRIBERNIG, Thomas & Lutz, Markus & Lackner, Maximilian. Controlling Magnesium Fires by Cellulose Flake Blanketing and Subsequent Water Mist Cooling. Fire. 2022. № 5 (83). pp. 628–631. DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4426>.
6. Huang, An-Chi & Cao, Fang-Chao & Ma, Xin-Yue. A Comparative Approach Study on the Thermal and Calorimetric Analysis of Fire-Extinguishing Powders // Safety. 2024. № 10. 31 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10010031>.
7. Кицак А. И. Эффективность тушения пожара струйными системами порошкового пожаротушения в условиях нестационарности процессов теплообмена и гетерогенного ингибирования

ния частицами порошка активных центров пламени // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29, № 5. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.22227/PVB.2020.29.05.89-99>. EDN TSCLQK.

8. Experimental study of the effectiveness of three kinds of extinguishing agents on suppressing lithium-ion battery fires / Jiajia, Xu et al. // Applied Thermal Engineering. 2020. № 171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>.

9. Зависимость огнетушащей концентрации порошковых огнетушащих составов от параметров внутреннего пожара / И. Н. Герасимова [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 1. С. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.25257/FE.2023.1.14-21>. EDN YSYBXA.

10. Прохоренко К. В., Боровков И. А. Противопожарная защита помещений с классом возможного пожара Д1 (магний, титан) модулями порошкового пожаротушения МПП-100 (ОПАН-100) // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году науки и технологий. Москва, 12–16 мая 2021 г. М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021. С. 357–362. EDN NRCONG.

11. Маклецов, А. К. Современные системы порошкового пожаротушения // Современные проблемы гражданской защиты. 2014. № 1 (10). С. 26–30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sistemy-poroshkovogo-pozharotusheniya> (дата обращения: 14.04.2025).

12. Лапшин, В. С., Денисов, А. Н. Нахождение удельного расхода огнетушащего вещества необходимого для тушения пожаров в цехах механической обработки металла // Современные тенденции развития образования, науки и технологий : сб. научных трудов по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 30 ноября 2018 года / под общ. ред. А. В. Туголукова. М., 2018. С. 189–193. EDN VOQOSQ.

## REFERENCES

1. Malinin V. I., Serebrennikov S. Yu., Berbek A. M. Analysis of the features of combustion of metal powders in mixtures with air, water and carbon dioxide // Pozharovzryvozasnost. 2010. Т. 19, № 4. pp. 12–17. EDN MSZDBZ.

2. Titanium extinguishing with the use of gas and powder fire extinguishing compositions / S. V. Dobrovenko et al. // Fire safety. 2011. № 3. pp. 40–43. EDN OEXBLV.

3. Sharma T. P., Lal B. B., Singh J. Metal fire extinguishment // Fire Technol. 1987. № 23. pp. 205–229. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01036937>.

4. Yan, Long & Wang, Ning & Xu, Zhisheng. Experimental study on the effectiveness and safety of cement powder on extinguishing metal magnesium fires based on pneumatic conveying technology // Case Studies in Thermal Engineering. 2022. № 37. pp. 102–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102279>.

5. HAGAUER, Josef & MATLSCHWEIGER, Ulrich & TIPPELREITHER, Christian & HRIBERNIG, Thomas & Lutz, Markus & Lackner, Maximilian. Controlling Magnesium Fires by Cellulose Flake Blanketing and Subsequent Water Mist Cooling // Fire. 2022. № 5. № 83. pp. 628–631. DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4426>.

6. Huang, An-Chi & Cao, Fang-Chao & Ma, Xin-Yue. A Comparative Approach Study on the Thermal and Calorimetric Analysis of Fire-Extinguishing Powders // Safety. 2024. № 10. 31 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10010031>.

7. Kitsak A. I. Efficiency of fire extinguishing by jet systems of powder fire extinguishing in conditions of non-stationarity of heat exchange processes and heterogeneous inhibition of active flame centers by powder particles // Pozharovzryvzvobezopasnost. 2020. T. 29, № 5. pp. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.22227/PVB.2020.29.05.89-99>. EDN TSCLQK.

8. Experimental study of the effectiveness of three kinds of extinguishing agents on suppressing lithium-ion battery fires / Jiajia, Xu et al. // Applied Thermal Engineering. 2020. № 171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>.

9. Dependence of extinguishing concentration of powder fire extinguishing compositions on internal fire parameters / I. N. Gerasimova et al. // Fires and emergencies: prevention, elimination. 2023. № 1. pp. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.25257/FE.2023.1.14-21>. EDN YSYBXA.

10. Prokhorenko K. V., Borovkov I. A. Fire protection of premises with possible fire class D1 (magnesium, titanium) by modules of powder fire extinguishing MPP-100 (OPAN-100) // Actual problems of fire safety : proceedings of XXXIII Intern. scientific-practical conf. devoted to the Year of science and technology. Moscow, May 12–16, 2021. M. : FGBU VNIPO MES of Russia, 2021. pp. 357–362. EDN NRCONG.

11. Makletsov, A. K. Modern systems of powder fire extinguishing // Modern problems of civil protection. 2014. № 1 (10). pp. 26–30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sistemy-poroshkovogo-pozharotusheniya> (date of application: 14.04.2025).

12. Lapshin V. S., Denisov A. N. Finding the specific consumption of fire extinguishing agent necessary for fire extinguishing in the shops of mechanical metal processing // Modern trends in the development of education, science and technology : a collection of scientific papers on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference Moscow, November 30, 2018 / ed. by A. V. Tugolukov. M., 2018. pp. 189–193. EDN VOQOSQ.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Денисов Алексей Николаевич**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры пожарной тактики и службы в составе учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); РИНЦ ID: 231119; Scopus Author ID: 57221203824, WOS Research ID: AAA-7038-2021; ORCID: 0000-0003-2594-9389; e-mail: [dan\\_aleks@mail.ru](mailto:dan_aleks@mail.ru)

**Данилов Михаил Михайлович**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры пожарной тактики и службы в составе учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); РИНЦ ID: 853796; ORCID: 0000-0003-2732-7620; [mdagps@yandex.ru](mailto:mdagps@yandex.ru)

**Григорьев Алексей Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной тактики и службы в составе учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России (129366,

Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); ORCID: 0009-0005-2199-1434; SPIN: 1467-6690; e-mail: lcurina@mail.ru

**Захаревский Виктор Борисович**, старший преподаватель кафедры пожарной тактики и службы в составе учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); ORCID: 0009-0007-2393-557X; SPIN: 8036-6712; e-mail: zvb\_ptis\_agps@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexey N. Denisov**, Dr. Sci. (Eng.), professor, Professor of the Department of Fire Tactics and Service in the Fire Fighting Training and Research Complex of the Fire Fighting Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); RINC ID: 231119; Scopus Author ID: 57221203824; Research ID: AAA-7038-2021; ORCID: 0000-0003-2594-9389; e-mail: dan\_aleks@mail.ru

**Mikhail M. Danilov**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, associate professor Department of Fire Tactics and Service within the Fire Fighting Training and Research Complex of the Fire Fighting Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); RINC ID: 853796; ORCID: 0000-0003-2732-7620; mdagps@yandex.ru

**Alexey N. Grigoriev**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor Department of Fire Tactics and Service in the Fire Fighting Training and Research Complex of the Fire Fighting Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); ORCID: 0009-0005-2199-1434; SPIN: 1467-6690; e-mail: lcurina@mail.ru

**Victor B. Zakharevsky**, Senior Lecturer Department of Fire Tactics and Service within the Fire Fighting Training and Research Complex of the Fire Fighting Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); ORCID: 0009-0007-2393-557X; SPIN: 8036-6712; e-mail: zvb\_ptis\_agps@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2025

Одобрено после рецензирования 29.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025

УДК 614.841.41:614.849

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДЫМОВЫДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

Чибисов Андрей Леонидович<sup>1</sup>, Федоткин Дмитрий Вячеславович<sup>2</sup>, Инчиков Андрей Павлович<sup>2</sup>, Волкова Анна Владимировна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «Специальные Проекты и Системы», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальная проблема изучения таких вопросов выделения дымовых аэрозолей при горении металлов и их соединений, как нормирование определения коэффициента дымовыделения, зависимости дисперсного состава, оптических свойств, интенсивности выделения дымовых аэрозолей от условий горения или применения огнетушащих веществ, а также от особенностей горения металлов в расплавленном состоянии. Представлена экспериментальная установка для решения обозначенных научных задач. Отмечено отсутствие стандартной методики для определения коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений для частиц с характерным размером менее 850 мкм. Описана исследовательская методика и представлены результаты предварительных исследований с применением источников монохроматического излучения 405 нм, 650 нм и 980 нм. Для условий проведения исследований, приближенных к стандартным, коэффициент дымовыделения стружки магниевых сплавов МА2-1 составил  $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  (в реальных условиях масштабного очага горения значение может измениться). Отмечено значительное влияние условий горения и возможности формирования достаточно мощного очага на полноту сгорания образца и, как следствие, на численное значение коэффициента дымообразования. На основе полученных результатов намечены дальнейшие пути развития методики и исследования возможности ее стандартизации.

Обсуждена возможность применения стандартной методики и испытательного оборудования по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения № 1) для определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений.

**Ключевые слова:** горение металлов, дымовые аэрозоли, обнаружение, эвакуация

**Для цитирования:** Определение коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений / А. Л. Чибисов [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 13–23.

## DETERMINATION OF THE SMOKE EMISSION COEFFICIENT OF DISPERSED METALS AND THEIR COMPOUNDS

Andrey L. Chibisov<sup>1</sup>, Dmitry V. Fedotkin<sup>2</sup>, Andrei P. Inchikov<sup>2</sup>, Anna V. Volkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Special Projects and Systems LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> VNIIPPO EMERCOM of Russia, Balashikha, Russian Federation

**Abstract.** The article considers the current problem of studying such issues of smoke aerosols emission during the combustion of metals and their compounds as standardization of smoke emission coefficient determination, dependence of disperse composition, optical properties, intensity of smoke aerosols emission on the conditions of combustion or application of extinguishing agents, as well as on the peculiarities of combustion of metals in the molten state. An experimental setup for solving the above-mentioned scientific problems is presented. The absence of a standard methodology for determining the smoke emission coefficient of dispersed metals and their compounds for particles with a characteristic size less than 850 microns is noted. The research methodology is described and the results of preliminary studies using monochromatic radiation sources of 405 nm, 650 nm and 980 nm are presented. For research conditions close to standard, the smoke emission coefficient of MA2-1 magnesium alloy chips was  $348 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  (under real conditions of a large-scale combustion source, the value may change). A significant influence of combustion conditions and the possibility of forming a sufficiently powerful fire on the completeness of sample combustion and, as a consequence, on the numerical value of the smoke formation coefficient is noted. Based on the results obtained, further ways of developing the methodology and studying the possibility of its standardization are outlined. The possibility of using standard methodology and test equipment according to GOST 12.1.044–2018 (in the edition of Amendment № 1) for determination of smoke generation coefficient of dispersed metals and their compounds is discussed.

**Keywords:** metal combustion, smoke aerosols, detection, evacuation

**For Citation:** Determination of the smoke emission coefficient of dispersed metals and their compounds / A. L. Chibisov et al. // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 13–23.

## Введение

В настоящее время металлы, способные гореть в дисперсном (пыль, порошок, стружка) или расплавленном состоянии, а также металлоорганические и элементоорганические соединения активно применяются в различных сферах деятельности, например в изготовлении деталей из легких сплавов, органическом синтезе, в качестве теплоносителя для ядерных реакторов гражданского назначения на быстрых нейтронах. Широкое применение пожароопасных металлов и их соединений в промышленности обуславливает актуальность

и необходимость изучения их пожароопасных свойств, в т. ч. дымообразующую способность.

Механизмы выделения дымовых аэрозолей — конденсированных продуктов горения металлов и металлоорганических соединений — рассматривались различными исследователями, например [1–6], в т. ч. и авторами [7, 8]. При этом актуальность указанного направления исследований обуславливает необходимость внедрения научных разработок в практическую деятельность.

Процесс выделения аэрозолей при горении металлов представляет практический интерес в следующих аспектах.

- **Выделение аэрозолей как процесс дымовыделения, зависящий от механизма и условий горения металлов.**

Определение коэффициента дымообразования металлов необходимо для расчета показателей риска, времени блокирования путей эвакуации, уточнения тактики действий пожарно-спасательных подразделений. В настоящее время для горючих металлов в дисперсном состоянии (для частиц или стружки с характерным размером менее 850 мкм) или горящих при расплавлении оно нормативно не определено. Методика по ГОСТ 12.1.044–2018 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» (в ред. Изменения № 1, введенного в действие приказом Росстандарта от 13 августа 2024 г. № 1055-ст) [9] распространяется на дисперсные металлы с характерным размером частиц более 850 мкм, но на практике получение показателя, отражающего реальную пожарную опасность материала (металла или его соединения), вызывает серьезные сложности. Этот вопрос актуален, т. к. на производствах при расчете риска и времени блокирования путей эвакуации необходимо учитывать находящиеся в помещении горючие металлы и металлоорганические соединения, которые могут составлять основную пожарную нагрузку.

- **Размер аэрозольных частиц.** Средний размер частиц дымовых аэрозолей металлов и органических материалов отличается на порядок в зависимости от условий измерения, что может влиять на эффективность обнаруже-

ния дыма оптическими извещателями, т. к. дым с меньшим размером частиц аэрозоля более прозрачен для инфракрасного излучения некоторой длины волны [10]. Кроме того, средний размер частиц аэрозоля определяет возможность их витания и выноса за пределы здания и распространения на местности, что важно для определения перечня мер при загораниях радиоактивных металлов.

- **Оптические свойства аэрозоля при горении металлов и металлоорганических соединений.** Результаты таких исследований позволят определить длину волны излучения, для которой дымовой аэрозоль будет прозрачен, что позволит прогнозировать возможность применения тепловизионного или иного стационарного или переносного оборудования для обнаружения очага горения в плотно задымленном помещении.

- **Зависимость интенсивности выделения аэрозолей и размера аэрозольных частиц от дисперсности металла, условий его горения, тушения и локализации горения.** Такие исследования актуальны для объектов с обращением радиоактивных металлов при определении средств и тактики тушения и локализации, а также прогнозирования последствий пожара с точки зрения загрязнения окружающей среды, зон возможного радиоактивного загрязнения.

В настоящей статье мы остановимся на одном из важнейших направлений исследований выделения дымовых аэрозолей — определении коэффициента дымообразования металлов и их соединений в дисперсном состоянии (порошок, гранулы, стружка).

### Основная часть

С 31 декабря 2024 г. вступил в действие межгосударственный стандарт [9], в котором приводится методика и описание испытательного оборудования для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов (п. 11). В стандарте не указано, что представленная методика не распространяется на металлы и их соединения, т. е. определение коэффициента дымообразования металлов и их соединений в дисперсном состоянии с характерным размером частиц более 850 мкм формально возможно. Твердые вещества и материалы в дисперсном состоянии с характерным размером частиц менее 850 мкм (п. 3.34) выделены в отдельное агрегатное состояние — пыли, а коэффициент дымообразования для пылей не определяется (п. 5.5, табл. 5.3). При этом на практике известно, что пожароопасные свойства металлов и их соединений в значительной степени зависят от дисперсности, а фракция менее 850 мкм имеет сравнительно более пожароопасные свойства.

В ФГБУ ВНИИПО МЧС России разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать процесс выделения дымовых аэрозолей при горении металлов, в т. ч. горящих в расплавленном состоянии, и соединений металлов, например металлоорганических, посредством определения поглощения луча монохроматического излучения различной длины волны в видимом и инфракрасном диапазоне с одновременным определением массовой концентрации аэрозоля в объеме камеры, возможностью изменения условий размещения и горения образца, в т. ч. создания газовой среды заданного состава или при-

менения огнетушащих веществ. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка представляет из себя герметичную дымовую камеру 1 из негорючего материала объемом 1 м<sup>3</sup>. В камере размещена оптическая система 8, 9 с формированием и регистрацией монохроматического луча длиной волны 405 нм, 650 нм и 980 нм (прорабатывается возможность использования излучения с иной длиной волны в среднем или дальнем инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне, а также анализатора спектра). Регулируется мощность источника монохроматического излучения. С помощью аспирационной системы 10, 11 с заданным расходом производится забор атмосферы камеры в процессе горения. Газовая арматура 7 позволяет создавать в камере атмосферу заданного состава и проводить отбор газовой фазы для анализа. Перегородкой из негорючего материала 4 выделен отсек с принудительной циркуляцией внутренней среды в камере, которую обеспечивают три вентилятора с регулируемыми оборотами 5. Перегородка выделенного отсека препятствует засветке фотоприемника от свечения при горении металла. В выделенном отсеке на подложке из огнеупорного материала 15 установлена регулируемая нагревательная площадка 14, на которую устанавливается лодочка с образцом 13. Через герметичные люки 2 и 6 проводятся подготовительные мероприятия и обслуживание оборудования. Дымовая камера через шибер 3 подключена к системе вытяжной вентиляции.

Для отработки и определения условий исследовательской методики определения коэффициента дымообразования металлов и их соединений, предлагаемой авторами

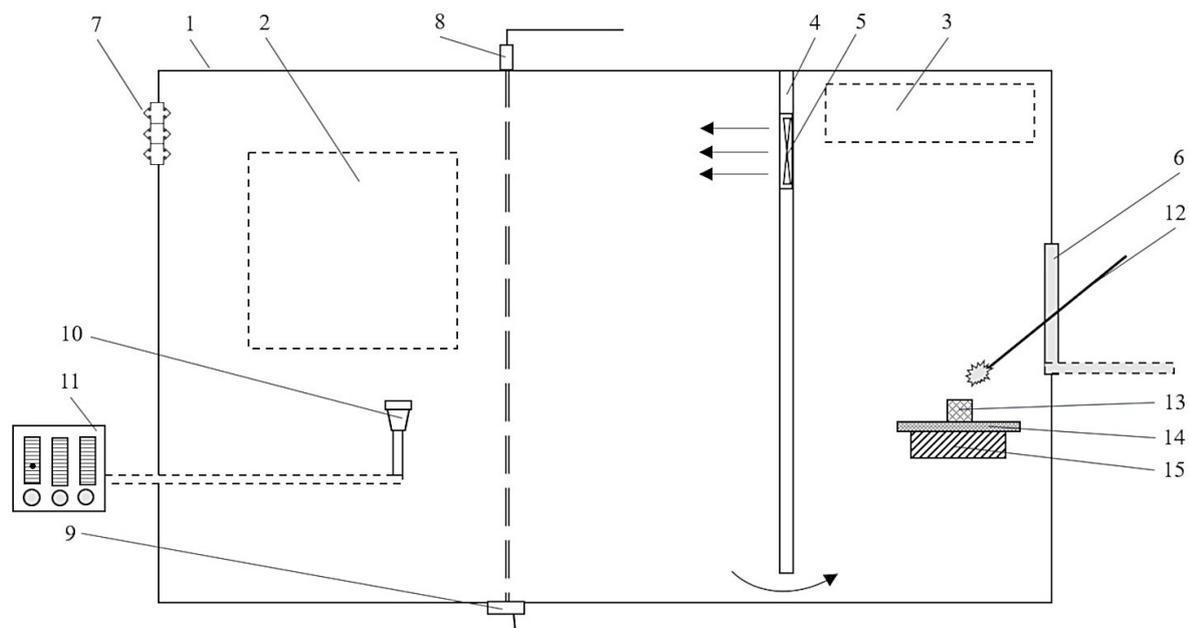


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 — корпус камеры из нержавеющей стали; 2, 6 — непрозрачный герметичный люк;  
 3 — шибер системы вытяжной вентиляции; 4 — непрозрачная перегородка из негорючего материала;  
 5 — вентиляторы; 7 — газовая арматура; 8 — источник монохроматического излучения;  
 9 — приемник монохроматического излучения; 10 — аспирационная воронка с фильтром;  
 11 — регулируемый аспиратор; 12 — источник зажигания образца; 13 — образец;  
 14 — площадка с регулируемым нагревом; 15 — подставка из огнеупорного материала

Fig. 1. Scheme experimental setup:

- 1 — stainless steel chamber body; 2, 6 — opaque sealed hatch; 3 — exhaust ventilation system gate;  
 4 — opaque partition made of non-flammable material; 5 — fans; 7 — gas fittings; 8 — source of monochromatic radiation; 9 — receiver of monochromatic radiation; 10 — aspiration funnel with filter; 11 — adjustable aspirator;  
 12 — ignition source of the sample; 13 — sample; 14 — pad with adjustable heating;  
 15 — base made of refractory material

статьи, на описанной выше установке была проведена серия предварительных испытаний со стружкой магниевого сплава МА2-1 по ГОСТ 14957–76.

Стружка магниевого сплава МА2-1 представлена в виде крупной «ваты», ломкая, вьется, ширина стружки от 0,1 до 2 мм, толщина от 50 до 100 мкм, основная масса толщиной 70 мкм. Имеет металлическую блестящую поверхность с одной стороны и матовую светло-серую с другой стороны, следов окисления, цветов побежалости и посторонних включений не наблюдается. Поверхность стружки значительно деформирована.

Методика проведения исследований укрупненно включала следующую последовательность действий: продувка испытательной камеры воздухом, взвешивание и размещение образца в стальной лодочке, размещение лодочки в камере на огнеупорной подложке, закрытие люков камеры (кроме люка для зажигания), включение источника монохроматического излучения, регистрация значения фотоприемника до поступления дыма, включение вентиляторов в камере для усреднения состава среды в камере, зажигание образца, герметизация камеры, регистрация минимального значения фотоприемника при задымленной

атмосфере камеры, открытие шибер вентилиции, продувка камеры воздухом, расчет коэффициента дымообразования.

Коэффициент дымообразования определяли для трех длин волн монохроматического излучения и различной массы образца. Значение коэффициента дымообразования

рассчитывалось в соответствии с п. 11.5.1 [9]. Результаты предварительных экспериментов представлены в графическом виде на рис. 2. Каждая точка на рис. 2 получена путем расчета среднего значения пяти испытаний при одинаковой массе образца и длине волны монохроматического излучения.

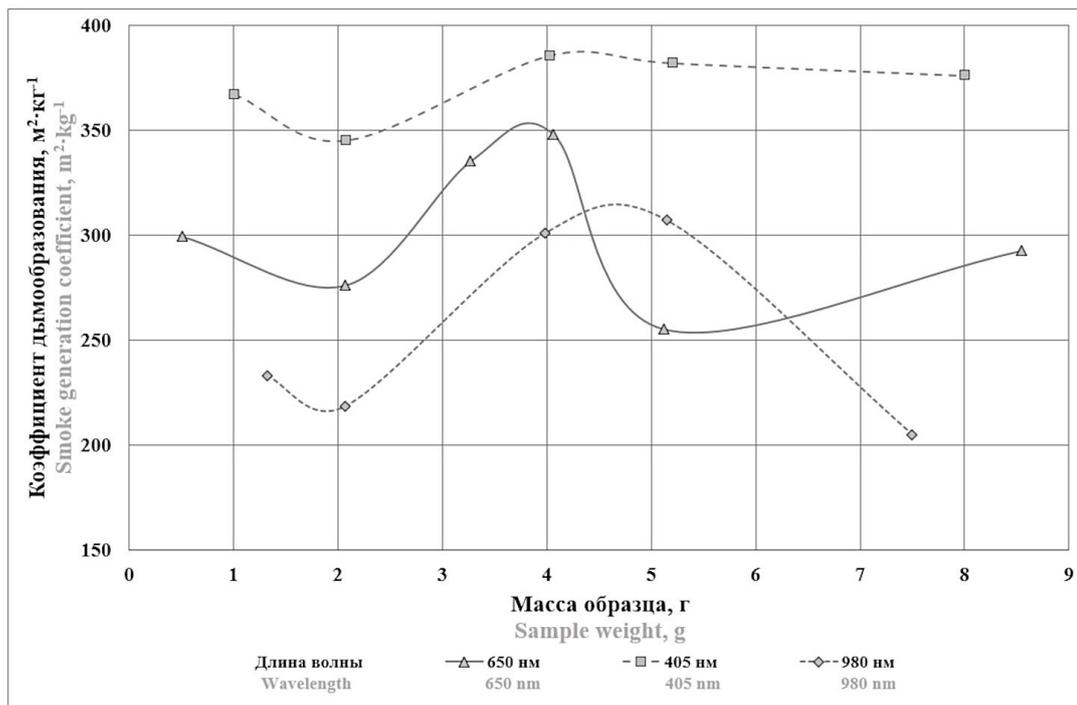


Рис. 2. Результаты предварительных испытаний с тонкой стружкой магниевого сплава МА2-1

Fig. 2. Results of preliminary tests with thin chips of magnesium alloy MA2-1

На графике показана зависимость значений коэффициента дымообразования от массы образца и длины волны источника света.

При навеске 1–2 г образец размещался в лодочке практически свободно, достаточно мощный очаг не формировался, образец не сгорал полностью, при разборе очага наблюдались несгоревшие фрагменты стружки. При навеске 3–5 г образец размещался в лодочке свободно, очаг формировался и сгорал практически полностью (полнота сгорания образца наибольшая из проведен-

ных экспериментов). При массе более 5 г образец размещался в лодочке сравнительно плотно, очаг формировался, однако наблюдалось влияние теплоотвода на стенки лодочки, при разборе очага на них наблюдался осевший несгоревший металл, т. е. часть паров магния не сгорела, а конденсировалась на холодной стенке лодочки. Таким образом, на результат влияют масса образца и способ ее размещения. В конкретных условиях испытания разница полученных значений коэффициента дымообразования достигает 40 %. Вместе с тем при определе-

нии значения каждой точки, т. е. при усреднении результатов пяти аналогичных испытаний, погрешность составляла менее 15 %.

Учитывая предполагаемые причины разницы полученных значений, по мнению авторов, для условий, приближенных к стандартной методике, следует принимать наибольшее из найденных значений коэффициента дымообразования тонкой стружки магниевых сплавов МА2-1 при длине волны монохроматического излучения 650 нм, которое составило  $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Полученные значения коэффициента дымообразования зависят также от длины волны монохроматического излучения. Результаты предварительных исследований с тонкой стружкой магниевых сплавов МА2-1 показывают, что поглощение светового излучения дымовыми аэрозолями магниевых сплавов при длине волны 405 нм больше на 25 %, чем при длине волны 650 нм. Выявленная зависимость ожидаема, т. к. с увеличением длины волны излучения и уменьшением размера дымовой частицы поглощение излучения уменьшается. Этот аспект будет исследоваться подробнее после отработки методики.

С учетом полученных предварительных результатов и промежуточных выводов считаем нужным обсудить возможность определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений с характерным размером частиц более 850 мкм по стандартной методике [9].

В ранних публикациях [7, 8] описывались сложности нормирования показателей пожарной опасности металлов и их соединений, связанные с механизмами воспламенения и горения металлов, а также причины вынужденного применения исследовательских методов с моделированием условий

обращения металла. То же относится к определению коэффициента дымообразования. На результат исследований оказывают влияние следующие взаимосвязанные факторы: механизм и режим горения (гетерогенное или парофазное), дисперсный состав и состояние поверхности (режим подвода окислителя к поверхности), температура и полнота сгорания образца (энергия источника зажигания, возможность формирования фронта горения, размер образца, высота слоя). По всем перечисленным факторам, по мнению авторов, условия испытаний по стандарту [9] не позволят в подавляющем числе случаев воспламенить образец металла (сплава, соединения) и/или вывести его на режим горения с максимальным дымовыделением.

В качестве примера можно привести горение гранул кальций-магниевых сплавов с характерным размером 1000–3000 мкм, что подпадает под область применения стандарта [9]. Такой образец загорается при достаточно жестких условиях: необходим высокоэнергетический источник, электрическая дуга или зажигающий состав и высота слоя образца более 20 мм. Если очаг формируется, то образец распространяет по слою горение, проходящее весьма активно, с высокой температурой, ослепительным свечением и обильным выделением дыма. В условиях стандартных испытаний гранулы, скорее всего, воспламенить не удастся.

Следует отметить конструкцию узла зажигания и крепления образца, приведенную на рисунке 11.1 стандарта [9], а также требования (п. 11.3) к образцу (для сыпучих материалов толщина слоя — не более 10 мм, расстояние от поверхности образца до поверхности излучателя — 60 мм). Температура горения многих металлов и их соединений в дисперсном состоянии до-

стигает 1600–2700 °С, при этом может сопровождаться образованием форса пламени. С учетом конструкции испытательного оборудования и требования к размещению образца и характеристике его горения частота ремонта и необходимость повторной калибровки испытательного оборудования могут быть повышены. Авторам настоящей статьи не удалось провести сравнительные испытания образца магниевого сплава МА2-1 на стандартной установке из-за опасений оператора о выходе установки из строя.

### Заключение

Изучение дымовыделения при горении дисперсных металлов и их соединений является актуальной научной и практической задачей.

В настоящей статье была разработана экспериментальная установка, позволяющая исследовать процесс выделения дымовых аэрозолей при горении металлов и металлоорганических соединений посредством определения поглощения светового луча в видимом и инфракрасном диапазоне с одновременным определением массовой концентрации аэрозоля в объеме камеры, возможностью изменения условий размещения и горения образца, в т. ч. создания газовой среды заданного состава или воздействия огнетушащих веществ.

Приведена схема установки. Представлена экспериментальная методика определения коэффициента дымообразования дисперсных металлов и их соединений.

С использованием экспериментальной установки и разработанной методики в условиях, приближенных к стандартным по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения № 1) [9], проведены предварительные исследования коэффициента дымообразования стружки магниевого сплава МА2-1, который составил  $348 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  (в реальных условиях масштабного очага горения коэффициент дымовыделения может измениться).

Отмечена необходимость доработки экспериментальной методики в части определения массы образца и его размещения, а также исследования вопроса возможности стандартизации указанной методики и распространения полученных результатов на образцы магниевого сплава МА2-1 иного фракционного состава.

Отмечено отсутствие стандартной методики для определения коэффициента дымовыделения дисперсных металлов и их соединений для частиц с характерным размером менее 850 мкм. Также показано, что применение стандартной методики и испытательного оборудования по ГОСТ 12.1.044–2018 (в ред. Изменения №1) [9] не позволяет определить коэффициент дымообразования дисперсных металлов и их соединений, который в полной мере отражает пожароопасные свойства материала.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горение и тушение металлов: анализ характерных пожаров / М. В. Бондаренко [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов VII Междунар.

науч.-практ. конф., Иваново, 17 октября 2024 г. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 27–31. EDN EHAMLF.

2. Барахоев М. И., Орлов Е. А. Горение и тушение металлов и гидридов металлов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России, Иваново, 11 декабря 2019 г. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 286–290. EDN OBOEWG.

3. Катруша И. А., Онищенко С. А. Особенности горения и тушения металлов // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 2 (6). С. 175–178. EDN GNKMSB.

4. Ягодников Д. А. Воспламенение и горение порошкообразных металлов. М. : изд-во МГТУ, 2009. 431 с.

5. Ягодников Д. А. Горение порошкообразных металлов в газодисперсных средах : монография. 2-е изд., испр. и доп. М. : изд-во МГТУ, 2018. 448 с.

6. Габриэлян С. Г. Пожарная опасность, особенности тушения суспензионных металлизированных топлив // Пожарная безопасность. 2018. № 4. С. 45–47. EDN YRAFCX.

7. Исследование кинетики образования дымовых аэрозолей при горении щелочных металлов / А. Л. Чибисов [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 3 (13). С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipr.avpb.2022.32.40.003>. EDN: VXXYRH.

8. Чибисов А. Л., Инчиков А. П. Горение и тушение металлов // Пожарная безопасность. 2012. № 2. С. 32–35. EDN PIJAJD.

9. ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения : межгос. стандарт : приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 5 октября 2018 г. № 717-ст межгос. стандарт ГОСТ 12.1.044–2018 введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации с 1 мая 2019 г. : введен впервые : дата введения 2019-05-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 26.05.2025).

10. Мальцев В. М., Мальцев М. И., Кашпоров Л. Я. Основные характеристики горения. М. : Химия, 1977. 320 с.

## REFERENCES

1. Burning and extinguishing of metals: analysis of characteristic fires / M. V. Bondarenko et al. // Modern fire-safe materials and technologies : proceedings of the VII International scientific and practical conference, Ivanovo, October 17, 2024. Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy GPS MES of Russia, 2024. pp. 27–31. EDN EHAMLF.

2. Barakhoev M. I., Orlov E. A. Combustion and extinguishing of metals and metal hydrides // Modern fire-safe materials and technologies : proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 370th anniversary of the formation of the fire protection of Russia,

Ivanovo, December 11, 2019. Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy GPS MES of Russia, 2019. pp. 286–290. EDN OBOEWG.

3. Katrusha I. A., Onishchenko S. A. Features of combustion and extinguishing of metals // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. 2020. № 2 (6). pp. 175–178. EDN GNKMSB.

4. Yagodnikov D. A. Ignition and combustion of powdered metals. M. MSTU Publishing House, 2009. 431 p.

5. Yagodnikov D. A. Combustion of powdered metals in gas-disperse media : a monograph. 2nd edition, revised and supplemented. M. : MSTU Publishing House, 2018. 448 p.

6. Gabrielyan S. G. Fire hazard, peculiarities of extinguishing suspension metallized fuels // Fire safety. 2018. № 4. pp. 45–47. EDN YRAFCX.

7. Investigation of the kinetics of smoke aerosols formation during combustion of alkali metals / A. L. Chibisov et al. // Actual issues of fire safety. 2022. № 3 (13). pp. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.32.40.003>. EDN: VXXYRH.

8. Chibisov A. L., Incikov A. P. Burning and extinguishing of metals // Fire safety. 2012. № 2. pp. 32–35. EDN PIJAJD.

9. GOST 12.1.044–2018. System of labor safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination : interstate standard : by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from October 5, 2018 № 717-st interstate standard GOST 12.1.044–2018 is put into effect as a national standard of the Russian Federation from May 1, 2019. : introduced for the first time : date of introduction 2019-05-01 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (date of application: 26.05.2025).

10. Maltsev V. M., Maltsev M. I., Kashporov L. Ya. Basic characteristics of combustion. M. : Chemistry, 1977. 320 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Чибисов Андрей Леонидович**, д-р техн. наук, профессор, консультант «Специальных Проектов и Систем» (108811, Российская Федерация, г. Москва, п. Московский, Киевское шоссе, 22-й км, домовлад. 4, стр. 1); e-mail: [chibisov2@mail.ru](mailto:chibisov2@mail.ru)

**Федоткин Дмитрий Вячеславович**, канд. техн. наук, начальник отдела ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 749039; e-mail: [special@vniipo.ru](mailto:special@vniipo.ru)

**Инчиков Андрей Павлович**, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 756715; e-mail: [apinchikov@mail.ru](mailto:apinchikov@mail.ru)

**Волкова Анна Владимировна**, старший научный сотрудник ВНИИПО МЧС России (143903, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12); РИНЦ ID: 756796; e-mail: [special@vniipo.ru](mailto:special@vniipo.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Andei L. Chibisov.** Dr. Sci. (Eng.), professor, consultant of “Special Projects and Systems” (1 p., 4 building, 22nd km, Kievskoe shosse, Moskovskiy settlement, Moscow, 108811, Russian Federation); e-mail: chibisov2@mail.ru

**Dmitry V. Fedotkin,** Cand. Sci. (Eng.), Head of Department VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 749039; e-mail: special@vniipo.ru

**Andrei P. Inchikov,** Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Department VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 756715; e-mail: apinchikov@mail.ru

**Anna V. Volkova,** Senior Researcher, VNIPO EMERCOM of Russia (12 mkr., VNIPO, Balashikha, 143903, Russian Federation); RSC ID: 756796; e-mail: special@vniipo.ru

Поступила в редакцию 13.01.2025

Одобрено после рецензирования 08.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025

УДК 614.847

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ В УДАЛЕННЫХ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЯХ ВЬЕТНАМА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ И ДОБРОВОЛЬНЫМИ ПОЖАРНЫМИ

Чан Дык Чунг, Фогилев Иван Сергеевич

Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме возникновения каскадных пожаров в удаленных сельских поселениях Вьетнама из-за массовой застройки зданиями различного назначения с пониженным уровнем огнестойкости. По причине малочисленности и достаточно ограниченных возможностей пожарной охраны и добровольных пожарных справиться с огненной стихией зачастую не удается, что в конечном итоге приводит к частичному, а порой и полному выгоранию населенного пункта. В статье представлены результаты проводимых на протяжении трех лет исследований по изучению обозначенной проблематики. Рассмотрена статистика возгораний, произошедших в сельской местности, проведен анализ пожарной опасности поселений в провинциях Вьетнама, подробно рассмотрена деятельность всех видов пожарной охраны и применяемое пожарно-техническое вооружение. С учетом географических и климатических особенностей, а также указанных проблем подразделений пожарной охраны и добровольных пожарных для тушения возникающего горения предложено использовать разработанные образцы перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды для создания водяных завес, служащих в качестве преград при каскадном развитии пожаров в удаленных сельских поселениях провинций Вьетнама.

**Ключевые слова:** каскадное развитие пожара, каскадный пожар, водяная завеса, малочисленное подразделение пожарной охраны, добровольный пожарный, сооружение пониженной огнестойкости

**Для цитирования:** Чан Дык Чунг, Фогилев И. С. Предотвращение каскадного развития пожаров в удаленных сельских поселениях Вьетнама подразделениями пожарной охраны и добровольными пожарными // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 24–37.

## PREVENTION OF CASCADING DEVELOPMENT OF FIRES IN REMOTE RURAL SETTLEMENTS OF VIETNAM BY FIRE PROTECTION UNITS AND VOLUNTEER FIREFIGHTERS

Tran Duc Trung , Ivan S. Fogilev

Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the current problem of cascade fires in remote rural settlements of Vietnam due to the mass construction of buildings for various purposes with reduced fire

resistance level. Due to the small number and rather limited capabilities of the fire department and volunteer firefighters, it is often impossible to cope with the fire element, which ultimately leads to partial, and sometimes complete, burnout of the settlement. The article presents the results of three years of research on the study of this problem. The statistics of fires that occurred in rural areas, the analysis of fire danger of settlements in the provinces of Vietnam, the activities of all types of fire protection and fire-technical equipment used are considered in detail. Taking into account geographical and climatic peculiarities, as well as the above-mentioned problems of firefighting units and volunteer firefighters, it is proposed to use the developed samples of perforated pipelines with a continuous flow of water to create water curtains that serve as barriers in the cascading development of fires in remote rural settlements in the provinces of Vietnam.

**Keywords:** cascading fire development, massive fire, water curtain, small fire protection unit, volunteer firefighter, low-fire resistance structure

**For Citation:** Chan Duc Chung, Fogilev I. C. Prevention of cascading development of fires in remote rural settlements of Vietnam by fire protection units and volunteer firefighters // *Technospheric safety*. 2025. № 2 (47). pp. 24–37.

## Введение

На основе актуальных сведений о возникновении пожаров за 10 лет (с 2013 по 2023 г.), представленных Главным управлением пожарной охраны Социалистической Республики Вьетнам, был сделан вывод, что порядка 40 % от общего количества пожаров произошло в сельской местности, где проживает 62 млн жителей (62,7 % от общего количества жителей Вьетнама), в результате чего погибло 946 человек, 1 622 получили травмы различной степени тяжести, а материальный ущерб составил 501,54 млн долл. [1].

Основными объектами пожаров в сельской местности являются жилые сооружения пониженной огнестойкости, используемые местными жителями для проживания и ведения хозяйственной деятельности. Следует отметить, что указанные конструкции имеют низкую степень огнестойкости по причине того, что построены из доступ-

ных природных строительных материалов. Помимо массовой застройки жилыми сооружениями этого типа, к неблагоприятным факторам, влияющим на пожарную безопасность сельских поселений и распространяющим возгорание, относятся: использование местным населением открытого огня в жилищах для приготовления пищи; повышенная температура окружающей среды; труднодоступность подъезда к населенному пункту по дорогам общего пользования, особенно в распутицу; сильные ветры; ограниченные возможности подразделений пожарной охраны и удаленность пожарных частей от сельских поселений.

С учетом этого повышается риск возникновения не только единичного горения, но и непредсказуемых каскадных пожаров в отдаленных сельских поселениях, последствия которых приводят к серьезным травмам и гибели людей, а также к полному уничтожению имущества. На рис. 1

представлены фрагменты каскадных пожаров, произошедших в сельских поселениях Вьетнама [2]. В настоящее время эта проблема требует проведения исследований,

выработки предложений по минимизации последствий пожаров и повышения пожарной безопасности сельских поселений провинций Вьетнама.



Рис. 1. Результаты каскадных пожаров, произошедших в коммуне Ким Тхат, коммуне Мау Лонг уезда Ви Сюен провинции Хазянг

Fig. 1. The results of the massive fires that occurred in Kim That commune, Mau Long commune, Vi Xiuen County, Hazyang Province

### **Вопросы пожарной безопасности сельских поселений Вьетнама**

Для качественного исследования вопросов состояния пожарной безопасности в сельских поселениях Вьетнама была выбрана провинция Тхань Хоа.

Такой выбор был связан с тем, что эта территория подвержена риску возникновения массовых пожаров, поскольку имеет следующие неблагоприятные факторы: труднодоступные районы проживания сельских жителей на огромной территории со сложным рельефом; специфические климатические особенности с повышенной температурой окружающей среды; порывистые ветры, приводящие к каскадным пожарам; особен-

ности строительства жилья и организация быта проживающих жителей.

Среди основных причин возникновения пожаров на территории провинции Тхань Хоа особенно выделяется неосторожное обращение людей с огнем, что свидетельствует о незнании правил пожарной безопасности. К остальным причинам относятся различного рода проблемы природного и технического характера (рис. 2).

Проведенное исследование деятельности подразделений пожарной охраны Вьетнама по защите сельских населенных пунктов от пожаров показало ряд проблемных вопросов, связанных с организацией ликвидации возгорания. Так, при наличии значительной территории провинции действия подразделений пожарной охраны существенно ограничены в связи с мало-

численностью персонала и устаревшим или недостаточным пожарно-техническим вооружением. Под охраной 9 небольших подразделений пожарной охраны в настоящее время находится 25 районов и уездов

провинции Тхань Хоа [3]. На рис. 3 показано размещение на исследуемой территории пожарных подразделений по охране районов и сельских поселений с указанием расстояний между ними.



Рис. 2. Основные причины пожаров в Тхань Хоа за 2014–2023 гг.  
Fig. 2. The main causes of fires in Thanh Hoa in 2014–2023

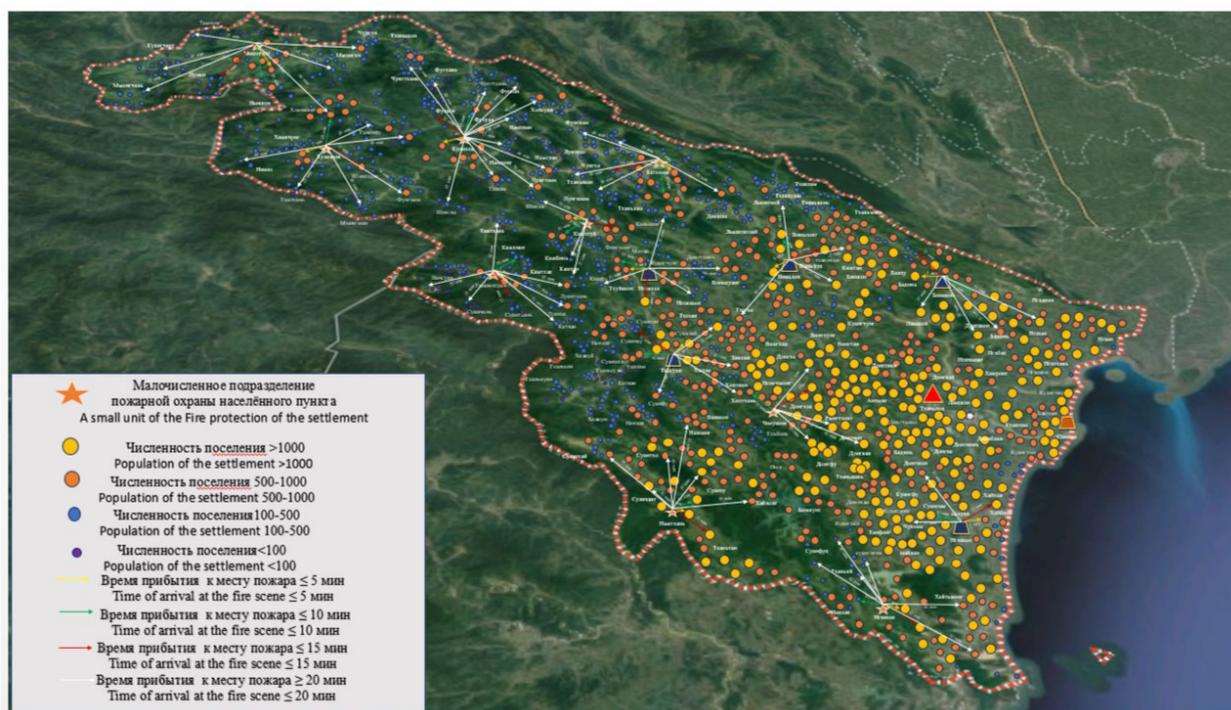


Рис. 3. Размещение подразделений пожарной охраны на территории провинции Тхань Хоа  
Fig. 3. Deployment of small fire protection units in Thanh Hoa province

Следует отметить существенные расстояния между подразделениями пожарной охраны, не позволяющие в сжатые сроки отправить на место возникновения масштабных пожаров с каскадным развитием дополнительную помощь. Кроме того, реагирование подразделений на происшествия затрудняется по причине недостаточного количества дорог с твердым покрытием.

Проблема транспортной доступности особенно актуальна в сезон дождей, когда дороги становятся непроходимыми и непригодными для проезда любым автотранспортом (рис. 4) [4]. Также важно учитывать, что на вооружении у пожарных отсутствуют СИЗОД, исходя из этого действия сотрудников в условиях воздействия опасных факторов серьезно ограничены.



Рис. 4. Состояние дорог после проливных дождей

Fig. 4. Road conditions after heavy rains

Если рассматривать вопрос застройки сельских поселений Вьетнама, то следует отметить отсутствие противопожарного нормирования расстояния между жилыми сооружениями на законодательном уровне, что, несомненно, ухудшает обеспечение пожарной безопасности поселений. Практически во всех сельских поселениях провинций Вьетнама прослеживается беспорядочное массовое (сплошное) строительство жилых и подсобных сооружений с низкой степенью огнестойкости (рис. 5) [5].

Особенность жилой застройки заключается в том, что в качестве доступных строительных материалов используются в основном дерево, ротанг, бамбук и банановые листья. Построенные из горючих материа-

лов, жилые сооружения являются пожароопасными, связано это в первую очередь с использованием открытых источников огня для приготовления пищи (рис. 6). В качестве опорных конструкций местные жители используют бревна из древесины сосны, произрастающей повсеместно во Вьетнаме. Бревна устанавливаются вертикально к поверхности земли и скрепляются между собой на высоте жилого этажа и кровли. К опорным частям дома относятся несущие и сплошные стены и колонны, раскосы, детали перекрытия (балки, стропила), с помощью которых обеспечивается общая устойчивость сооружения (рис. 7).

Жилые сооружения располагаются на колоннах (сваях), служащих фундаментом



Рис. 5. Сплошная жилая застройка сельских поселений провинций Вьетнама  
 Fig. 5. Continuous residential development of rural settlements in the provinces of Vietnam



Рис. 6. Использование открытого огня в жилых сооружениях с низкой степенью огнестойкости  
 Fig. 6. The use of an open fire in residential buildings with a low degree of fire resistance

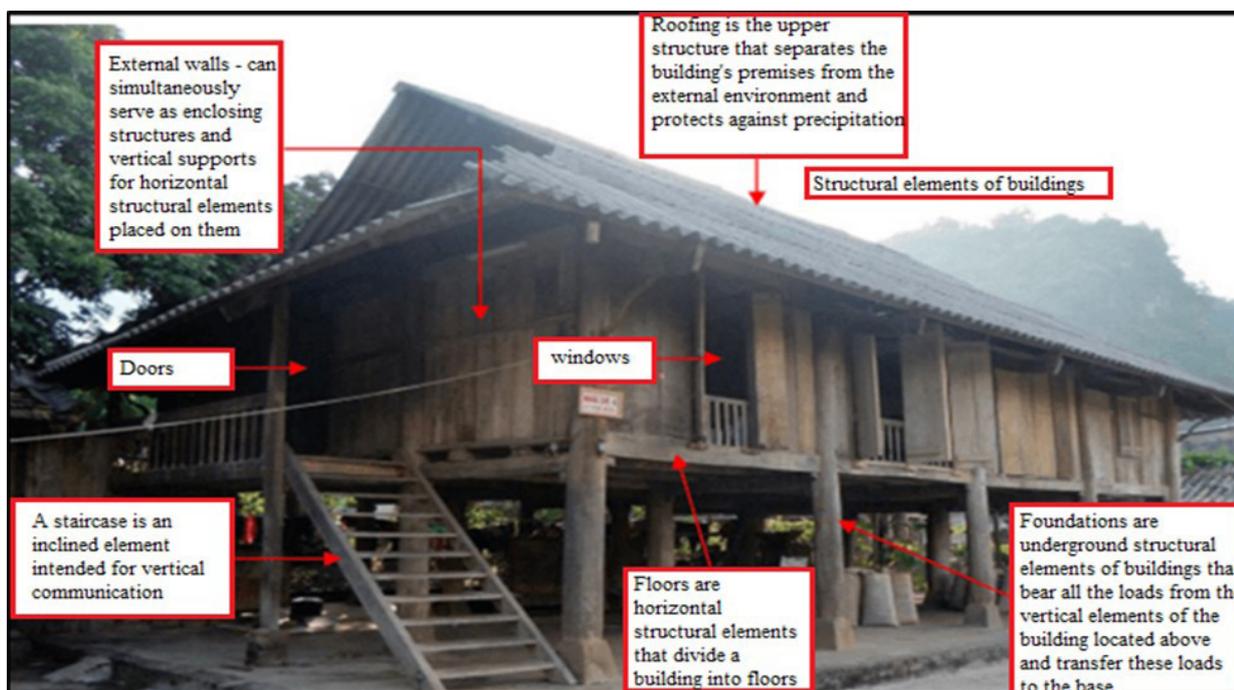


Рис. 7. Основные элементы конструкции жилого сооружения  
 Fig. 7. The main structural elements of a residential building

жилюю. Как правило, выполнены из древесины высотой 2–2,5 м от земли до пола и порядка 3 м до кровли. Диаметр свай составляет 35–40 см. Для строительства пола и стен применяют доски толщиной 32 и 26 мм.

Двери, обычно распашные, состоят из двух полотен общей шириной 120 см, их высота составляет порядка 220 см. Окна выполнены из древесины, не имеют остекления, шириной 100 см и высотой от пола до потолка порядка 2,5 м. Высота жилого этажа до начала кровли (возле стен и примыкания кровли) составляет порядка 3 м. Для разделения площади дома на зоны не применяют капитальные стены, а используют перегородки легкого типа из бамбука и подобных материалов либо тканевые ширмы.

Свободное место до уровня жилого этажа местные жители используют по своему

усмотрению для различных целей: хранения от непогоды различных материалов, запасов воды, инструментов для выполнения ремонта подсобной техники, разведения птиц и других дел.

С целью изучения развития пожара в типовом жилом сооружении с низкой степенью огнестойкости, а также расчета минимального расстояния, не позволяющего пожару распространиться путем переноса тепла (по тепловому потоку), проведено моделирование. По условиям, общая площадь жилья составляет порядка 40–50 м<sup>2</sup> с размерами 8 × 6 м (рис. 8).

Для проведения моделирования применялся показатель максимальной температуры воздуха в провинции Тхань Хоа, в июне месяце равный 44,1 °С. Максимальная влажность воздуха составляет 60–65 %.

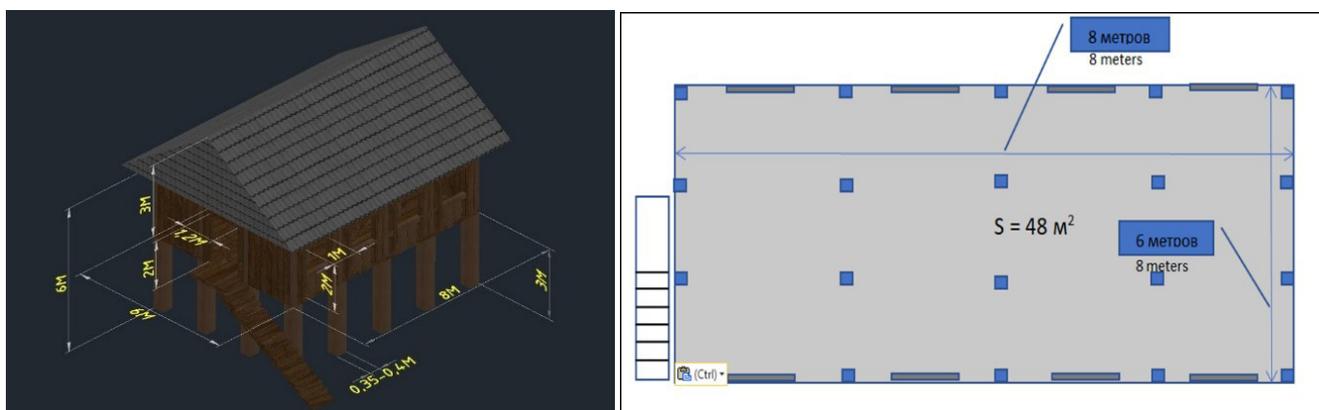


Рис. 8. Типовое жилое сооружение и схема его планировки  
Fig. 8. Typical residential building and its layout scheme

Наибольшая скорость ветра в провинции Тхань Хоа зафиксирована в ноябре, средняя скорость ветра составляет 14,3 км/час.

Моделирование развития пожара проведено с использованием специализированной программы Fire Dynamics Simulator (далее — FDS), которая соответствует методикам, действующим в РФ, а уравнения,

применяемые в программном комплексе, используются в качестве основополагающих для реализации полевой (дифференцированной модели) [6].

Необходимо отметить, что время воздействия падающего теплового потока напрямую зависит от показателя времени начала ввода сил и средств, направленных

на тушение пожара. Полученные во Вьетнаме данные показали, что среднее время прибытия пожарных подразделений к месту происшествия в сельской местности находится в пределах 5–35 мин и более.

Анализ материалов, применяемых в строительстве и быту местных жителей, позволяет сделать вывод о том, что наиболее под-

ходящее значение  $q_{кр}$  для жилых строений — 13,9 кВт/м<sup>2</sup> (по применяемой в строительстве древесине — сосне). Моделирование развития пожара в жилом сооружении с низкой степенью огнестойкости проводилось без учета систем противопожарной защиты.

Результаты моделирования в FDS представлены на рис. 9.

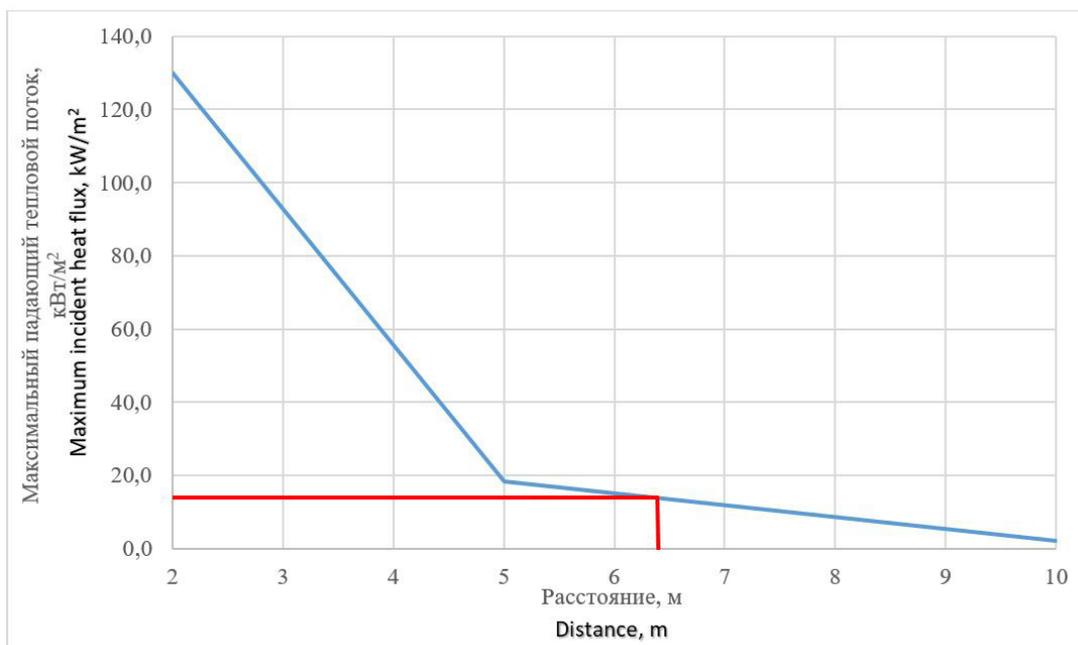


Рис. 9. Зависимость максимального падающего теплового потока от расстояния до жилого строения с низкой степенью огнестойкости  
Fig. 9. Dependence of the maximum incident heat flow on the distance to a residential building with a low degree of fire resistance

Отметим, что в результате моделирования получено значение — 6,4 м, что является показателем расстояния до ближайшего объекта, который в результате пожара может воспламениться под воздействием теплового потока. С учетом коэффициента запаса (1,2) противопожарное расстояние должно составлять не менее 7,68 м, чтобы пламя не распространялось на соседние жилые строения.

Полученный показатель требуется учитывать при нормировании противопожар-

ных расстояний между жилыми сооружениями с низкой степенью огнестойкости сельских поселений Вьетнама.

### Предотвращение каскадного развития пожаров

Проведенные исследования действий малочисленных подразделений пожарной охраны по тушению возникающих пожаров в провинции Тхань Хоа показали их позднее прибытие к месту вызова, невозможность

тушения возгорания в условиях воздействия опасных факторов пожара из-за отсутствия СИЗОД, минимальное количество специальных автомобилей, нехватку личного состава, отсутствие огнетушащих веществ для ликвидации горения в начале его развития.

Все вышеперечисленное требует решения обозначенной проблемы имеющимися силами и пожарно-техническим вооружением в начальной стадии развития горения и предотвращения каскадных пожаров на территории удаленных сельских поселений провинций Вьетнама.

С учетом наличия небольшого количества добровольных пожарных, а также отдельных видов пожарно-технического вооружения (переносные пожарные мотопомпы, пожарные рукава) в настоящей статье предложено использовать водяные завесы в целях ликвидации отдельного небольшого горения и в качестве преград, не позволяющих

возникнуть каскадным пожарам, до прибытия основных сил подразделений пожарной охраны [7]. Для оценки возможностей создания водяных завес с помощью оборудования, имеющегося на вооружении подразделений пожарной охраны Вьетнама, проведен ряд натурных экспериментов в условиях плотной застройки сельской местности Республики (рис. 10).

В ходе работы были проанализированы возможности пожарных частей по подаче воды. Выяснилось, что на нужды пожаротушения в основном пожарные используют переносные 2-тактные мотопомпы зарубежного производства мощностью 8,6 кВт и производительностью 525 л/мин при давлении 6 Бар и 250 л/мин при 8 Бар, а также пожарные рукава диаметром 51 мм. На основе полученных данных были разработаны экспериментальные образцы перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом



Рис. 10. Водяные завесы, полученные при проведении экспериментальных исследований (гибкий трубопровод — слева, стационарный — справа)

Fig. 10. Water curtains from perforated pipelines obtained during experiments (flexible pipeline — on the left, stationary — on the right)

воды в целях создания водяных завес для тушения возгораний и предотвращения их распространения путем создания увлажненных зон на поверхности земли и уменьшения теплового потока от объектов пожара [8]. С учетом мощности пожарных мотопомп и длины магистральной линии в 100 м были проведены испытания перфорированных рукавов и отрезка перфорированного трубопровода, выполненного для использования в стационарном варианте с форсунками для распыления воды различных конфигураций.

В сельском поселении Вьетнама была проведена серия экспериментов по определению времени для выполнения пожарными боевого развертывания имеющегося оборудования к перфорированным трубопроводам, возможностей забора воды из наружных источников противопожарного

водоснабжения и ее подачи для получения максимально высокой водяной завесы. Итогом проводимых экспериментов стало определение возможности применения водяных завес (стационарных и переносных) в сельских районах Вьетнама.

На основе проведенных экспериментальных исследований подготовлен совмещенный график зависимостей получаемой высоты веерообразных струй к длине магистральной линии, расположенной по горизонтальной и наклонной поверхностям земли, и давлению, создаваемому пожарной мотопомпой при заборе воды из водоисточника (рис. 11).

В результате проведенных экспериментальных исследований впервые получены водяные завесы высотой от 5 до 6,5 м при расстоянии 100 м от источника водоснабжения.

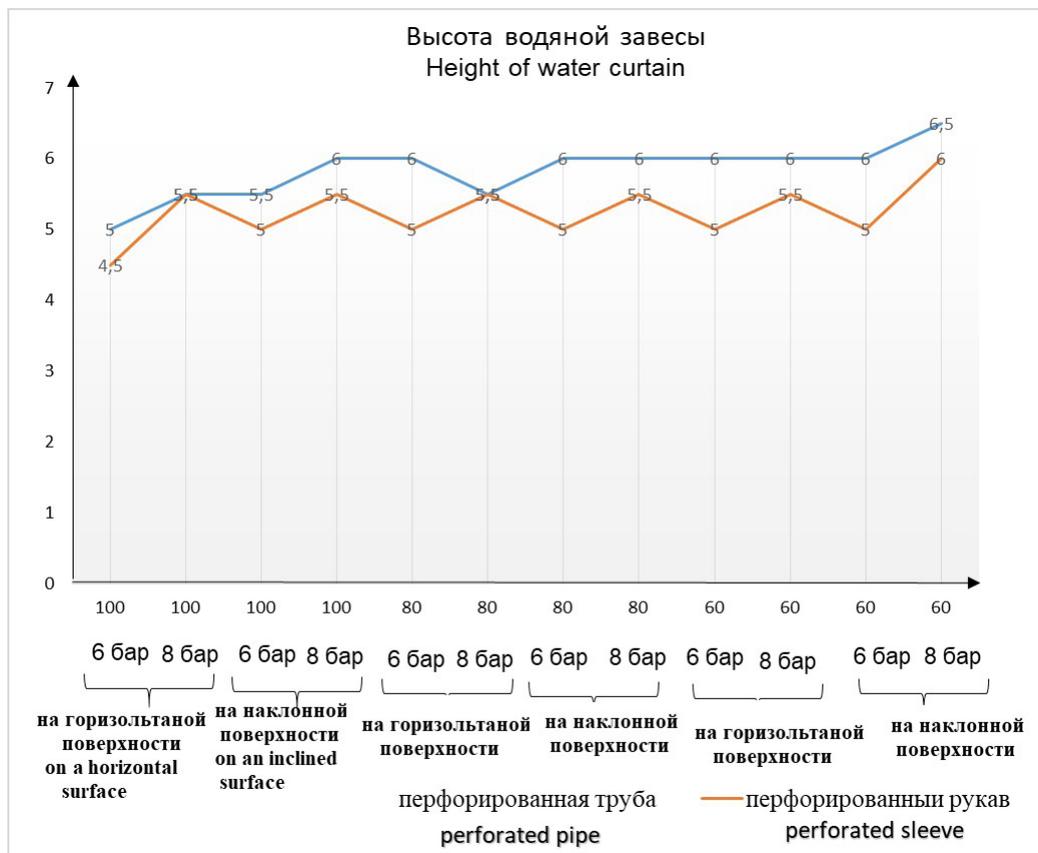


Рис. 11. Совмещенный график полученной высоты водяной завесы

Fig. 11. Combined graph of the obtained height of the water curtain

Для получения водяной завесы на более дальние расстояния потребуется увеличить диаметр магистральной линии и мощность насоса (мотопомпы), а также подобрать форсунки с подходящим диаметром сопла и необходимыми углами распыления.

С учетом возлагаемых задач на отряды добровольных пожарных и деятельности малочисленных подразделений пожарной

охраны по охране сельских поселений Вьетнама разработаны рекомендации по использованию и применению водяных завес, получаемых с помощью мобильных и стационарных перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды [9]. На рис. 12 представлены возможные схемы установки водяных завес с учетом влияния негативных природных явлений.

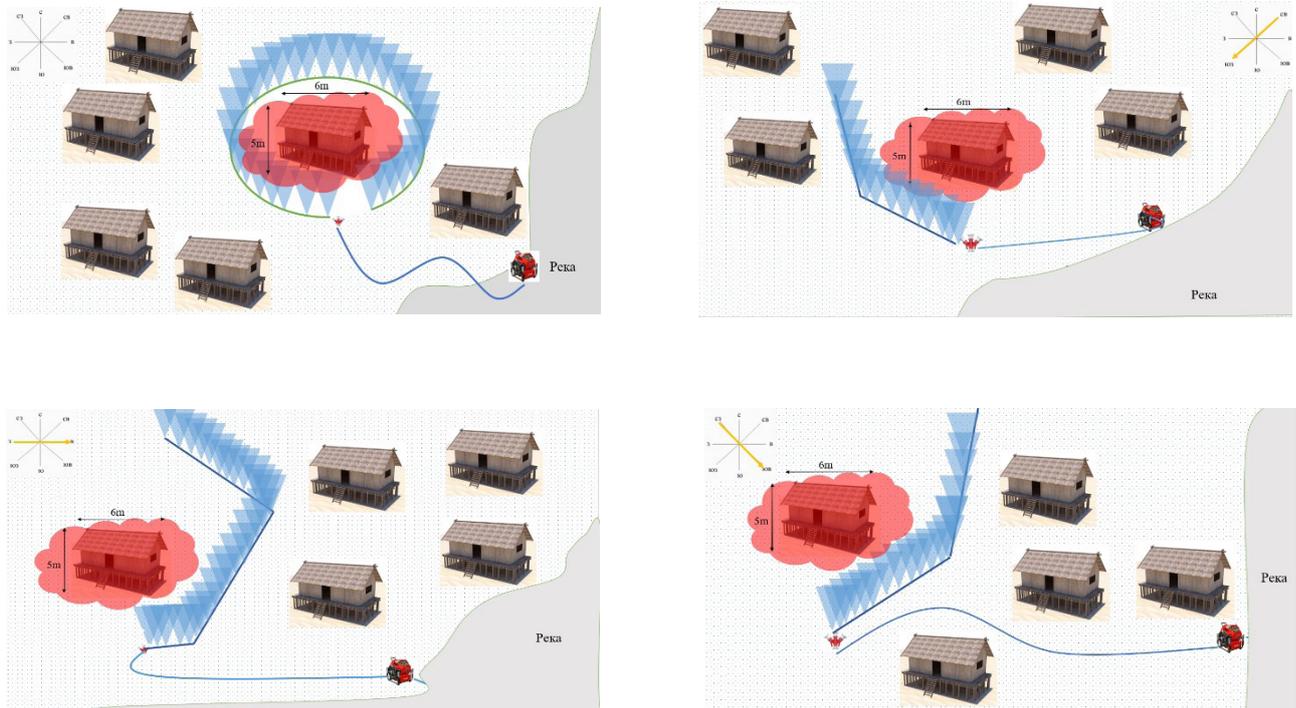


Рис. 12. Возможные схемы установки водяных завес для ограничения распространения пожара  
Fig. 12. Possible schemes for installing water curtains to limit the spread of fire

### Выводы

Проводимые исследования, направленные на борьбу с каскадным развитием и распространением пожаров в сельских поселениях Вьетнама, актуальны, т. к. практически половина пожаров от общей численности происходит в сельской местности.

С целью применения разработок населением сельской местности Вьетнама и различными видами пожарной охраны полагаем целесообразным провести краткосрочную подготовку пожарных с практической отработкой навыков пользования перфорированными трубопроводами для создания водяных завес.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Обобщенный отчет по работе пожарной охраны провинции Тхань Хоа за 10 лет (2014–2023 гг.). Тхань Хоа : МОБ Тхань Хоа, 2020. 17 с.
2. Чан Ч. Д., Фогилев И. С. Массовые пожары жилых строений в сельской местности Вьетнама // Сборник материалов XXVI Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы обеспечения безопасности». Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2024. С. 114–119.
3. Чан Ч. Д., Фогилев И. С. Тушение пожаров в труднодоступных районах Вьетнама // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. материалов IX Междунар. науч.-практ. конф. М. : Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 16–21.
4. Чан Ч. Д., Фогилев И. С. К вопросу состояния дорожно-транспортной инфраструктуры в сельской местности провинции Вьетнама при реагировании пожарно-спасательных подразделений к месту вызова // Гражданская оборона на страже мира и безопасности : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны. М. : Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 39–43.
5. Laboratory experiment of fire spread between two informal settlement dwellings / Yu Wang et al. // International Journal of Thermal Sciences. 2022. № 171. pp. 107–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107195>.
6. Мироненко Р. В. Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров : дис. ... канд. техн. наук. М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. 145 с.
7. Усманова, Р. Р. Новая технология на основе водяной завесы для эффективного предотвращения пожаров // Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации (шифр — МКАА) : сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. М. : Центр развития образования и науки, 2024. С. 72–78. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68543896> (дата обращения: 29.04.2025).
8. Булва, И. В., Еремин, А. П., Булва, А. Д. Применение дренчерной водяной завесы в качестве противопожарной преграды // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2016. № 2 (40). С. 42–47. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29445034> (дата обращения: 29.04.2025).
9. Нгуен Б. Т. Проблемы управления обеспечения деятельности добровольной пожарной охраны во Вьетнаме // Проблемы техносферной безопасности : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 344–347.

**REFERENCES**

1. Summary report on the work of Thanh Hoa province fire department for 10 years (2014–2023). Thanh Hoa : Thanh Hoa MOB, 2020. 17 p.

2. Tran C. D., Fogilev I. S. Mass fires of residential buildings in rural areas of Vietnam // Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference “Modern Problems of Security”. Ekaterinburg : Ural Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. pp. 114–119.

3. Chan C. D., Fogilev I. S. Fire extinguishing in hard-to-reach areas of Vietnam // Firefighting: problems, technologies, innovations : proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference Moscow. Academy of State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. pp. 16–21.

4. Chan C. D., Fogilev I. C. To the question of the state of road and transport infrastructure in rural areas of the province of Vietnam in the response of fire and rescue units to the place of call // Civil Defense at the guardians of peace and security : a collection of materials of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the World Day of Civil Defense. M. Academy of Civil Defense Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. pp. 39–43.

5. Laboratory experiment of fire spread between two informal settlement dwellings / Yu Wang et al. // International Journal of Thermal Sciences. 2022. № 171. pp. 107–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107195>.

6. Mironenko R. V. Restriction of fire propagation through multi-light rooms in the buildings of shopping and entertainment centers : a dissertation .... Cand. of Technical Sciences. M. : Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. 145 p.

7. Usmanova, R. R. New technology based on water curtain for effective fire prevention // Actual aspects of development of science and society in the era of digital transformation (cipher — MCAA) : proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. M. : Center for Development of Education and Science, 2024. pp. 72–78. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68543896> (date of application: 29.04.2025).

8. Bulva, I. V., Eremin, A. P., Bulva, A. D. Application of a drencher water curtain as a fire barrier // Emergencies: prevention and elimination. 2016. № 2 (40). pp. 42–47. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29445034> (date of application: 29.04.2025).

9. Nguyen B. T. Problems of management of providing the activity of voluntary fire protection in Vietnam // Problems of technosphere safety : Proceedings of the International scientific and practical conference of young scientists and specialists. M. : Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2015. pp. 344–347.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Фогилев Иван Сергеевич**, канд. техн. наук, профессор кафедры пожарной тактики и службы учебно-научного комплекса пожаротушения Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); ORCID: 0000-0003-2058-5758; SPIN-код: 6792-0626; Author ID: 972535; email: galich\_ivan@mail.ru

**Чан Дык Чунг**, адъюнкт института подготовки иностранных граждан Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); ORCID: 0000-0003-2375-9143; SPIN-код: 9011-9507; Author ID: 1196018; email: tranductrung56@gmail.com

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Ivan S. Fogilev**, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Department of Fire Tactics and Service of the Fire Fighting Training and Research Complex of Fire Safety in Construction SFA of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); ORCID: 0000-0003-2058-5758; SPIN-code: 6792-0626; Author ID: 972535; e-mail: galich\_ivan@mail.ru

**Tran Duc Trung**, Adjunct, Institute of Training of Foreign Citizens of Fire Safety in Construction SFA of EMERCOM of Russia (4 Borisa Galushkina St., Moscow, 129366, Russian Federation); ORCID: 0000-0003-2375-9143; SPIN-code: 9011-9507; Author ID: 1196018; e-mail: tranductrung56@gmail.com

Поступила в редакцию 30.01.2025

Одобрено после рецензирования 24.02.2025

Принята к публикации 15.06.2025

УДК 614.849

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПЕРЕНОСНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРОГРЕВА ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Бельшина Юлия Николаевна<sup>1</sup>, Цыганков Михаил Сергеевич<sup>1,2</sup>, Ян Лун Никита<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье проанализирована актуальная проблема отсутствия полевого метода исследования огнезащитных вспучивающихся покрытий для металлических конструкций. Установлено, что металлические конструкции теряют свою несущую способность в ходе пожара и должны быть обработаны качественными огнезащитными составами. Описаны характеристики разработанного прототипа устройства, используемого для проведения проверки качества огнезащитной обработки непосредственно на объекте защиты. Проведено моделирование условий работы переносного устройства прогрева огнезащитных красок интумесцентного типа. Выбраны два наиболее значимых показателя, влияющих на коэффициент полезного действия прототипа устройства. Определена зависимость температуры сердечника от подводимой средней и максимальной теплоты, а также зависимость температуры на выходе из устройства от скорости и теплового потока. Произведена оценка результатов моделирования путем проверки при помощи теплового баланса. Подтверждена эффективность полученной оптимальной 3D-модели посредством математического расчета теплообмена. Определена необходимость разработки технического регламента на устройство для проведения исследований с целью решения задач по идентификации интумесцентных огнезащитных составов.

**Ключевые слова:** металлические конструкции, вспучивающиеся огнезащитные покрытия, теплообмен, моделирование, пожарная безопасность

**Для цитирования:** Бельшина Ю. Н., Цыганков М. С., Ян Лун Никита. Моделирование теплообмена в переносном устройстве прогрева интумесцентных огнезащитных покрытий // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 38–46.

## SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A PORTABLE DEVICE HEATING OF INTUMESCENT FLAME-RETARDANT COATINGS

Yulia N. Belshina<sup>1</sup>, Mikhail S. Tsygankov<sup>1,2</sup>, Nikita Yan Lun<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract.** The article analyzes the current problem of the lack of a field method for studying flame-retardant intumescent coatings for metal structures. It is established that metal structures lose their bearing capacity during a fire and must be treated with high-quality flame retardant compounds. The characteristics of the developed prototype device used to check the quality of flame retardant treatment directly at the protected object are described. The simulation of the operating conditions of a portable device for heating intumescent flame-retardant paints is carried out. Two of the most significant indicators affecting the efficiency of the prototype device are selected. The dependence of the core temperature on the supplied average and maximum heat is determined, as well as the dependence of the temperature at the device outlet on the speed and heat flow. The simulation results were evaluated by checking with the help of thermal balance. The efficiency of the obtained optimal 3D model is confirmed by mathematical calculation of heat transfer. The necessity of developing technical regulations for a device for conducting research in order to solve problems related to the identification of intumescent flame retardants is determined.

**Keywords:** metal structures, flame-retardant intumescent coatings, heat transfer, modeling, fire safety

**For Citation:** Belshina Y. N., Tsygankov M. S., Yan Lun Nikita. Simulation of heat transfer in a portable device heating of intumescent flame-retardant coatings // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 38–46.

## Введение

Даже самые прочные и надежные строительные материалы не способны долго выдерживать воздействие высоких температур, и часто случается так, что разрушение здания происходит еще до приезда пожарных подразделений. Наиболее распространенным материалом, используемым для возведения несущих конструкций различного рода строений, является сталь, которая в условиях пожара (при температуре свыше 500 °С) может сохранять свою прочность и несущую способность не более 15 мин, что значительно увеличивает вероятность разрушения объекта [1].

Для предотвращения воздействия высоких температур на конструкции здания используются огнезащитные составы, на-

пример вспучивающиеся огнезащитные покрытия, которые с точки зрения рисков некачественного применения являются наиболее опасными. Это связано с тем, что принцип их действия заключается в многократном увеличении толщины огнезащитного покрытия при воздействии высокой температуры [2–4].

Учитывая, что в настоящее время существующие методики [5, 6] не обладают полевыми (портативными) приборами для проверки вспучивающей способности огнезащитного покрытия для металлоконструкций, смонтированного непосредственно на объекте защиты, авторами настоящей статьи был разработан прототип такого устройства [7], но для повышения коэффициента полезного действия необходимо провести моделирование и установить, какие же

характеристики узлов и агрегатов устройства будут приближены к идеальным.

### Расчетная схема

Авторами статьи было проведено исследование характеристик устройства двустороннего прогрева интумесцентных огнезащитных покрытий. Моделирование было сделано в вычислительном пакете Ansys Fluent. На рис. 1 показана расчетная схема. Установка представляет собой керамическую трубку внутренним диаметром  $d = 15,9$  мм

и длиной  $L = 150$  мм. Внутри нее установлен стальной сердечник, который нагревается токами высокой частоты. Принцип этого процесса основан на создании вихревых токов в нагреваемой детали, а т. к. металл оказывает значительное сопротивление проходящему через него электрическому току, то происходит нагрев посредством поглощения энергии поля излучателя. Описанная схема моделировалась граничными условиями второго рода, был задан постоянный тепловой поток, который меняли в пределах от  $q = 15\ 000$  Вт/м<sup>2</sup> до  $q = 25\ 000$  Вт/м<sup>2</sup> на стенке сердечника.

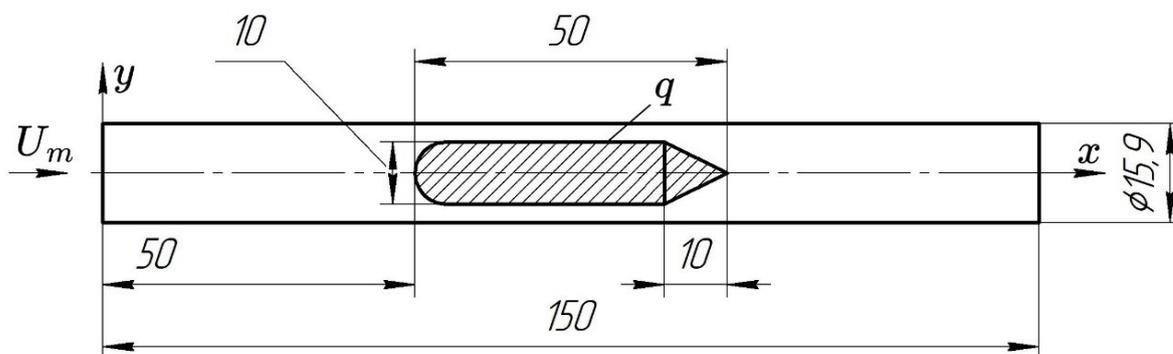


Рис. 1. Расчетная схема установки (размеры указаны в мм)

Fig. 1. Design scheme of the installation (dimensions are given in mm)

Кроме тепловых потоков менялись скорости на входе в устройство. Рассмотрены случаи  $u_m = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0$  м/с.

Сердечник представляет собой цилиндр с минимальным диаметром 10 мм, в передней части которого располагается полусфера диаметром 10 мм, а в задней части — конус высотой 10 мм. Общая длина объекта равна 50 мм.

### Детали моделирования

Для решения уравнений RANS построена структурированная вычислительная сетка.

Задача решалась в осесимметричной постановке. По радиусу располагалось 30 расчетных узлов. Было произведено их сгущение к стенкам канала, что позволило откорректировать определение скоростей и температур.

Выбрана модель турбулентности  $k-\omega$ -BSL для случая со скоростью  $u_m = 4$  м/с и  $u_m = 2$  м/с, остальные скорости посчитаны при помощи ламинарной модели. Решение получено за 150 итераций, при этом все невязки менее  $10^{-7}$ , что является достаточно точным результатом. Из моделированных 25 различных случаев было рассчитано среднее значение.

**Результаты моделирования**

На рис. 2 показано поле осевой скорости в устройстве. Сердечник является плохо обтекаемым телом, поэтому на нем происходит отрыв потока. За сердечником можно видеть зону возвратного течения газа, скорость в которой составляет примерно 1 м/с. Обычно в зоне возвратного течения наблюдается ухудшение теплообмена, следовательно, на конусе температура поверхности

сердечника будет выше, чем на цилиндрической или на полусферической частях.

На рис. 3 показано распределение температуры по сечению устройства. Видно, что при обтекании цилиндрической части тепловой пограничный слой возрастает, при этом на выходе он достигает примерно половины кольцевого зазора. Затем после отрыва пограничного слоя на конусной части температура достигает 1 180 К. За сердечником устройство можно условно разделить

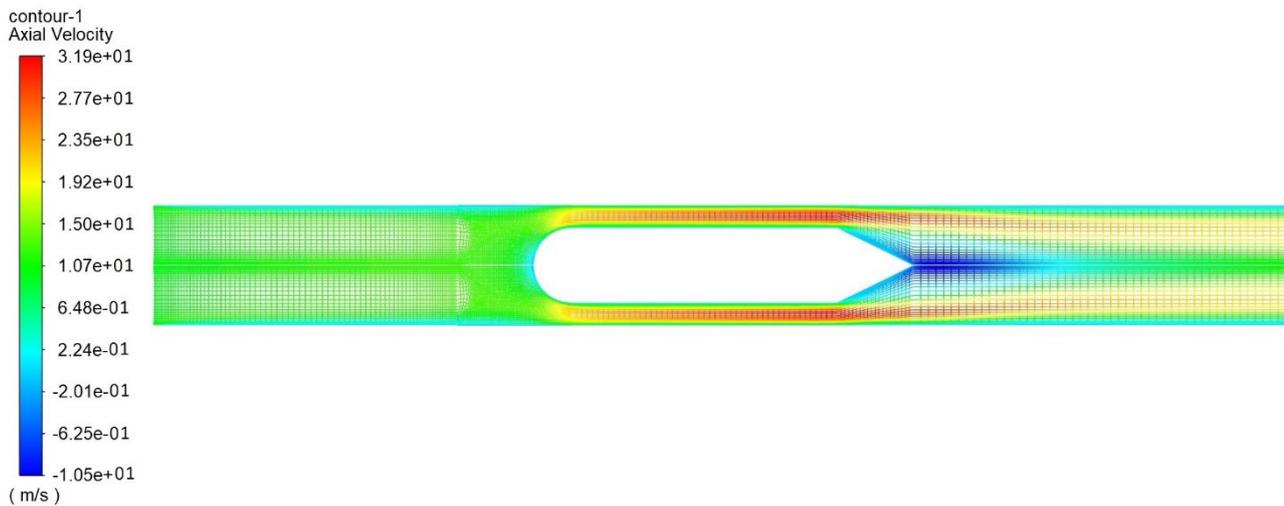


Рис. 2. Поле осевой скорости  $u_x$  при  $u_m = 1$  м/с и  $q = 20\ 000$  Вт/м<sup>2</sup>

Fig. 2. Axial velocity field  $u_x$  at  $u_m = 1$  m/s and  $q = 20\ 000$  W/m<sup>2</sup>

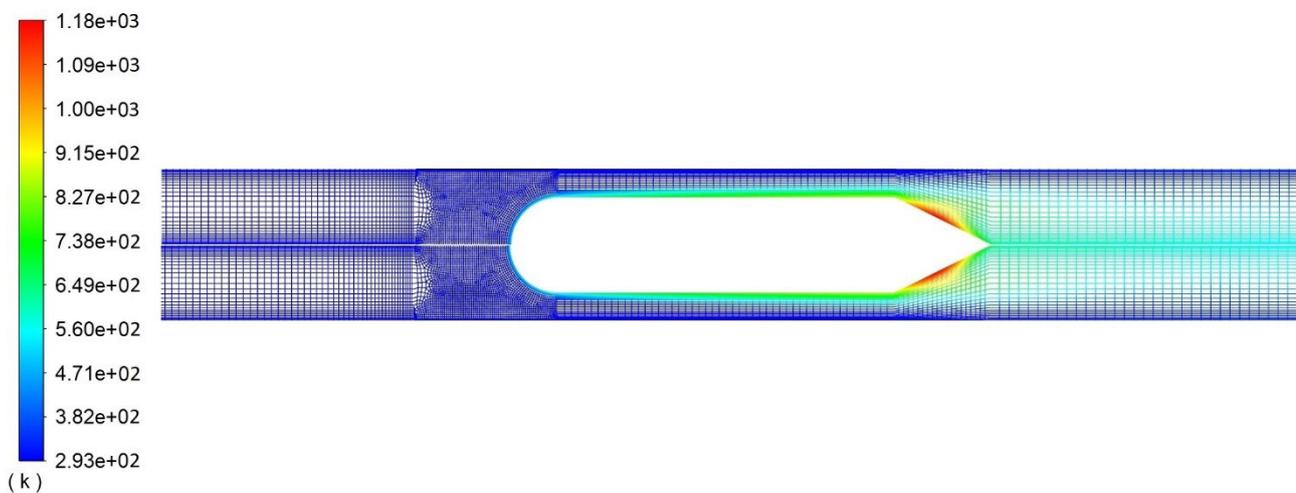


Рис. 3. Поле температуры при  $u_m = 1$  м/с и  $q = 20\ 000$  Вт/м<sup>2</sup>

Fig. 3. Temperature field at  $u_m = 1$  m/s and  $q = 20\ 000$  W/m<sup>2</sup>

на две части (горячая сердцевина и относительно холодная пристенная часть). Такое распределение температур хорошо с точки зрения эксплуатации устройства, т. к. керамическая трубка будет испытывать меньшие термические деформации.

На рис. 4а изображена зависимость температуры на выходе из устройства

от величины входной скорости  $u_{in}$ . Можно заметить, что для всех случаев при увеличении скорости выходная температура воздуха из устройства снижается. Если при 0,5 м/с выходная температура может достигать 500–600 К, то для 4 м/с эта величина не превышает 350 К, что является следствием закона сохранения энергии, о чем

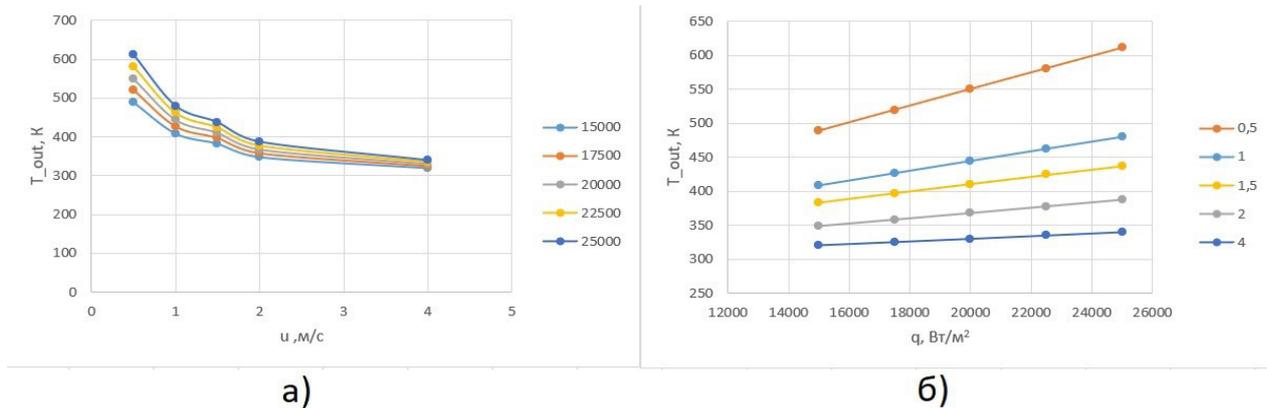


Рис. 4. Зависимость температуры на выходе из устройства от: а) скорости; б) теплового потока на сердечнике  
 Fig. 4. Dependence of the temperature at the outlet of the device on: a) velocity; b) heat flow at the core

будет сказано далее. На рис. 4б показано, как изменяется температура при увеличении теплового потока. Для всех опытов свойственна линейная зависимость температуры на выходе из устройства от величины теплового потока через сердечник. С практической точки зрения это означает, что, повышая мощность токов высокой частоты, можно эф-

фективно регулировать температуру на выходе из устройства.

Сердечник разогревается до достаточно высокой температуры, поэтому одна из задач — контролировать его максимальную температуру, чтобы исключить отжиг и плавление металла. На рис. 5а показана средняя температура, которая необходима для

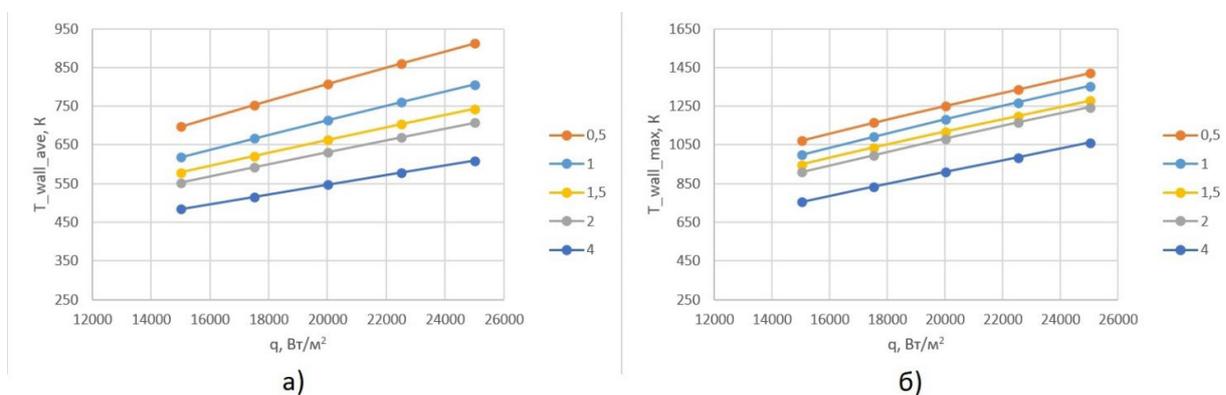


Рис. 5. Зависимость температуры сердечника от подводимой теплоты: а) средней; б) максимальной  
 Fig. 5. Dependence of the core temperature on the input heat: a) average; b) maximum

теплового баланса, а на рис. 5б показана максимальная температура сердечника. Для всех опробованных режимов температура на поверхности сердечника не превы-

шает температуру плавления стали. Это говорит нам о том, что при использовании таких режимов имеется возможность долгосрочной эксплуатации устройства.

**Оценка моделирования при помощи теплового баланса [8, 9]**

Теплота, передаваемая потоку от сердечника:

$$Q_1 = q \cdot S \cdot t, \tag{1}$$

где:

$S$  — площадь поверхности сердечника;

$t$  — время теплового воздействия.

Теплота, воспринимаемая воздухом:

$$Q_2 = G \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot t, \tag{2}$$

где:

$G$  — массовый расход воздуха;

$c_p$  — теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

$\Delta T$  — разность температур между входным и выходным сечениями.

Если предположить, что вся энергия нагрева сердечника расходуется на нагрев воздуха, то:

$$Q_1 = Q_2. \tag{3}$$

Следовательно, разность температур между входным и выходным сечением равна:

$$\Delta T = \frac{q \cdot S}{G \cdot c_p}. \tag{4}$$

Становится понятно, что разность температур прямо пропорциональна тепловому потоку и обратно пропорциональна расходу газа. Этот результат соответствует результату, полученному при моделировании через программное обеспечение Ansys.

Так, для  $u_m = 1$  м/с и  $q = 20\ 000$  Вт/м<sup>2</sup> моделированием получена разность температур  $\Delta T = 444,4 - 293 = 151,4$  [K].

Проведя параллельно проверку математическим методом, получаем:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,010}{2}\right)^2 + \pi \cdot 0,010 \cdot 0,035 + \pi \cdot \left(\frac{0,010}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{0,010}{2}\right)^2 + 0,010^2} \tag{5}$$

$$S = 0,001432 \text{ [м}^2\text{]}$$

$$\Delta T = \frac{q \cdot S}{G \cdot c_p} = \frac{20000 \cdot 0,001432}{(0,2392 \cdot 10^{-3}) \cdot 1005} = 119,2 \text{ [K]}$$

В качестве вывода по проведенному расчету можно отметить, что программное обеспечение Ansys, используемое для моделирования, завышает температуру на выходе из аппарата примерно на 27 %. Это нужно учитывать при проведении опытов, основанных на результатах моделирования.

### Заключение

Отсутствие полевого метода исследования огнезащитных покрытий для металлоконструкций является актуальной проблемой. В настоящей статье проведено моделирование 25 различных случаев, в которых варьировали скорость и тепловой поток. Показано, что температура на выходе из устройства прямо пропорциональна тепловому потоку на сердечнике. Такой вывод можно получить как при моделировании, так и при оценке с использованием расчета теплового баланса.

С точки зрения разработчика устройства это означает, что можно поставить регулятор на источник тока высокой частоты и при этом получать желаемую температуру посредством изменения его мощности. Также была получена зависимость температуры на выходе из устройства от скорости воздушного потока. Увеличение скорости приводит к уменьшению температуры на выходе из устройства, но слишком низкая скорость тоже является нежелательной, т. к. при уменьшении этого показателя страдает теплопередача, поэтому в качестве разумного компромисса рекомендуется применять скорость не выше 1 м/с.

На основе полученных результатов авторами статьи предлагается подробнее рассмотреть вопрос о разработке технического регламента на устройство для проведения исследований такого рода с целью решения задач по идентификации интумесцентных огнезащитных составов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Теплофизические характеристики стали и огнезащитных покрытий при нормированных температурных режимах пожара / В. И. Голованов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 4. С. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.25257/FE.2023.4.69-78>. EDN TNQLBQ.
2. Павлович А. В., Дринберг А. С., Машляковский Л. Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М. : ЛКМ-пресс, 2018. 488 с. EDN WVOIPP.
3. Guo-Qiang, Li, Ling-Ling, Wang, Qing, Xu, Jun-Wei, Ge. Intumescent coating and fire protection of steel structures. First edition. Boca Raton : CRC Press, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003287919>.
4. Зыбина О. А., Варламов А. В., Мнацаканов С. С. Проблемы технологии коксообразующих огнезащитных композиций. Новосибирск : ЦРНС, 2010. 50 с.
5. ГОСТ Р 59637–2021. Средства противопожарной защиты зданий и сооружений. Средства огнезащиты. Методы контроля качества огнезащитных работ при монтаже (нанесении), техническом обслуживании и ремонте : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 24 августа

2021 г. № 790-ст : введен впервые : дата введения 2021-09-15 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180684> (дата обращения: 03.05.2025).

6. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 71-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913?ysclid=ma7tav0m1r139957109> (дата обращения: 03.05.2025).

7. Патент № 227281 U1 Российская Федерация, МПК G01N 25/72, G01N 25/50. Переносное устройство для прогрева интумесцентных красок огнезащитного типа : № 2024107154 : заявл. 14.03.2024 : опубл. 15.07.2024 / М. С. Цыганков // Google Patents : сайт. URL: <https://patents.google.com/patent/RU227281U1/ru> (дата обращения: 03.05.2025).

8. Пилипенко Н. В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учебное пособие. СПб. : изд-во ун-та ИТМО, 2016. 54 с.

9. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. 3-е изд., репр. Москва : Бастет, 2010. EDN QMKZMJ.

## REFERENCES

1. Thermophysical characteristics of steel and fireproof coatings under normalized fire temperature conditions / V. I. Golovanov et al. // Fires and emergencies: prevention, elimination. 2023. № 4. pp. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.25257/FE.2023.4.69-78>. EDN TNQLBQ.

2. Pavlovich A. V., Drinberg A. S., Mashlyakovskiy L. N. Fire-protective blowing paint coatings. М. : LKM-press, 2018. 488 p. EDN WVOIPP.

3. Guo-Qiang, Li, Ling-Ling, Wang, Qing, Xu, Jun-Wei, Ge. Intumescent coating and fire protection of steel structures. First edition. Boca Raton : CRC Press, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003287919>.

4. Zybina O. A., Varlamov A. V., Mnatsakanov S. V. Problems of technology of coke-forming flame retardant compositions. Novosibirsk : CRNS, 2010. 50 p.

5. GOST R 59637–2021. Means of fire protection of buildings and structures. Fire protection means. Methods of quality control of fire protection works during installation (application), maintenance and repair : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from August 24, 2021 № 790-st : introduced for the first time : date of introduction 2021-09-15 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180684> (date of application: 03.05.2025).

6. GOST P 53295–2009. Fire protection means for steel structures. General requirements. Method of determination of fire protection efficiency : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from February 18, 2009 № 71-st : introduced for the first time : date of introduction 2010-01-01 //

Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913?ysclid=ma7tav0m1r139957109> (date of application: 03.05.2025).

7. Patent № 227281 U1 Russian Federation, MPK G01N 25/72, G01N 25/50. Portable device for heating of intumescent paints of fire-retardant type : № 2024107154 : applied for. 14.03.2024 : published 15.07.2024 / M. S. Tsygankov // Google Patents : website. URL: <https://patents.google.com/patent/RU227281U1/ru> (date of application: 03.05.2025).

8. Pilipenko N. V. Heat losses and energy efficiency of buildings and structures : textbook. SPb. : ed. of ITMO University, 2016. 54 p.

9. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Fundamentals of heat transfer. 3rd ed., rep. M. : Bastet, 2010. EDN QMKZMJ.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бельшина Юлия Николаевна**, канд. техн. наук, доц., старший научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров НИИ перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149); SPIN-код: 2179-4907, AuthorID: 273083; e-mail: [belshina.y@igps.ru](mailto:belshina.y@igps.ru)

**Цыганков Михаил Сергеевич**, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149); SPIN-код: 7154-4897; e-mail: [33mixan33@mail.ru](mailto:33mixan33@mail.ru)

**Ян Лун Никита**, инженер института теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН (630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, д. 1); Scopus ID: 59471135200; ORCID: 0009-0008-2409-8483; [yln1999@mail.ru](mailto:yln1999@mail.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Yulia N. Belshina**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Instrumental Methods and Technical Means of Fire Forensics, Research Institute of Advanced Research and Innovative Technologies in the Field of Life Safety, St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky Avenue, St. Petersburg, 196105, Russian Federation); SPIN-code: 2179-4907, AuthorID: 273083; e-mail: [belshina.y@igps.ru](mailto:belshina.y@igps.ru)

**Mikhail S. Tsygankov**, Adjunct St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky Avenue, St. Petersburg, 196105, Russian Federation); SPIN-code: 7154-4897; e-mail: [33mixan33@mail.ru](mailto:33mixan33@mail.ru)

**Nikita Yan Lung**, an engineer at the Institute of Thermophysics named C. C. Kutateladze SB RAS (1 Akademika Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation); Scopus ID: 59471135200; ORCID: 0009-0008-2409-8483; e-mail: [yln1999@mail.ru](mailto:yln1999@mail.ru)

Поступила в редакцию 29.03.2025  
Одобрено после рецензирования 08.04.2025  
Принята к публикации 15.06.2025

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.842.864

## ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кононенко Елена Венедиктовна, Мокроусова Ольга Анатольевна, Черкасский Григорий Александрович

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена анализу развития стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности. Особенно это актуально в строительной отрасли, т. к. она находится в условиях формирования новых подходов к управлению техническим регулированием и обновления технологий, применяемых в строительстве, правового и нормативно-технического сопровождения, что требует оперативного знакомства специалистов МЧС России с современными тенденциями для обоснованного согласования технических решений в области строительства.

В качестве примера рассмотрено расширенное использование различных деревянных конструкций в одно- и многоэтажном домостроении и параллельное развитие нормативной базы: сводов правил по проектированию и строительству, национальных и межгосударственных стандартов по огнезащите и средств ее контроля для деревянных конструкций.

В статье приведена актуальная информация о деятельности Росстандарта и ведущих организаций по развитию технического регулирования в строительстве, в частности об изменениях в «Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений», вступивших в действие 1 марта 2025 г.

Проведенное исследование имеет практическую значимость как для специалистов по пожарной безопасности, осуществляющих экспертизу проектов и объектов строительства, так и для преподавателей базовых дисциплин вузов пожарного профиля.

**Ключевые слова:** обновление правовой и нормативной базы, концепция развития, стандарты организаций, применение локальных нормативных актов, пожарная безопасность

**Для цитирования:** Кононенко Е. В., Мокроусова О. А., Черкасский Г. А. Приоритетные направления развития стандартизации в области пожарной безопасности // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 47–60.

## PRIORITY DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF FIRE SAFETY

Elena V. Kononenko, Olga A. Mokrousova, Grigorii A. Cherkasskiy

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the development of standardization in the field of fire safety. This is especially relevant in the construction industry, since it is in the conditions

of the formation of new approaches to the management of technical regulation and updating of technologies used in construction, legal and regulatory and technical support, which requires prompt familiarization of specialists of EMERCOM of Russia with modern trends for the reasonable coordination of technical solutions in the field of construction

As an example, the expanded use of various wooden structures in single- and multi-storey housing construction and the parallel development of the regulatory framework are considered: codes of rules for design and construction, national and interstate standards on fire protection and its controls for wooden structures.

The article provides up-to-date information on the activities of Rosstandart and leading organizations for the development of technical regulation in construction, in particular, on changes to the "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures" that came into effect on March 1, 2025.

The conducted research has practical significance both for fire safety specialists who carry out examination of projects and construction objects, and for teachers of basic disciplines of universities with a fire profile.

**Keywords:** updating the legal and regulatory framework, development concept, organizational standards, application of local regulations, fire safety

**For Citation:** Kononenko E. V., Mokrousova O. A., Cherkasskiy G. A. Priority directions for the development of standardization in the field of fire safety // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 47–60.

## Введение

Развитие стандартизации в РФ является непрерывным процессом. На смену Концепции развития стандартизации в Российской Федерации на период до 2020 г., принятой в 2012 г., пришел разработанный правительством План мероприятий на период до 2027 г. «Дорожная карта» развития стандартизации в РФ утверждена в 2019 г. и предусматривает выполнение около 50 мероприятий по следующим 10 направлениям [1]:

- 1) совершенствование нормативного правового регулирования в сфере стандартизации и ее методологии;

- 2) совершенствование функционирования национальной системы стандартизации;

- 3) совершенствование функционирования системы стандартизации оборонной продукции (работ, услуг);

- 4) развитие международного сотрудничества в сфере стандартизации;

- 5) совершенствование инфраструктуры стандартизации;

- 6) подготовка и переподготовка кадров;

- 7) государственно-частное партнерство, сотрудничество с бизнесом в сфере стандартизации;

- 8) популяризация стандартизации;

- 9) ресурсное обеспечение работ по стандартизации;
- 10) мониторинг реализации плана мероприятий.

### **Основные тенденции обновления нормативной базы**

В рамках выполнения задач «дорожной карты», согласно государственному докладу руководителя Росстандарта А. П. Шалаева [2], только в 2024 г. утверждено 1 776 документов по стандартизации. Такое интенсивное развитие стандартизации в стране требует постоянного обновления знаний и нормативной базы во всех сферах деятельности, поскольку является необходимым условием технического регулирования, что в полной мере относится к области обеспечения пожарной безопасности. Если рассматривать государственно-частное партнерство, то наиболее активное участие в развитии современных направлений стандартизации принимает Российский союз промышленников и предпринимателей (далее — РСПП). В результате совместных усилий происходит обновление нормативной базы подтверждения соответствия требованиям действующих технических регламентов [3, 4], принимаются важные распорядительные документы МЧС России [5, 6].

Согласно Плану мероприятий («дорожной карте») [1], предполагается довести долю межгосударственных стандартов, действующих в странах СНГ, в первую очередь ЕАЭС и в России, до 57 % от общего количества применяемых в РФ стандартов. Это оправдано широким применением в РФ технических регламентов ЕАЭС: в настоящее время действует свыше 50 международных документов с обозначениями ТР, ТС и ТР

ЕАЭС, в т. ч. ТР ЕАЭС 043/2017 «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» [7]. Согласно Договору о Евразийском экономическом союзе, подписанному в Астане 29 мая 2014 г., действующему в новой редакции с 24 июня 2024 г. [8], технические регламенты Союза имеют прямое действие на всей территории ЕАЭС в отношении продукции, включенной в перечень объектов, и с применением межгосударственных или национальных нормативных документов, указанных в списке, сопровождающих каждый ТР. Хотя использование межгосударственных стандартов является предпочтительным, их запланированная доля пока не достигнута: согласно данным, полученным авторами при анализе информации из разных источников, она составляет порядка 37 %. В их отсутствие в списке нормативных документов указываются соответствующие по теме, но не идентичные друг другу национальные стандарты России (ГОСТ Р), Беларуси (СТБ) и Казахстана (РК).

Техническими комитетами по пожарной безопасности ТК 274 и МТК 274 в 2024 г. разработано 4 проекта национальных стандартов (ГОСТ Р) и 11 проектов межгосударственных стандартов (ГОСТ).

Следует отметить, что обогащение списка, сопровождающего ТР ЕАЭС 043/2017 [7], межгосударственными стандартами, принятыми в 2021 г. и вступившими в действие в 2024 г., до сих пор не произошло, поскольку он действует в редакции 2021 г. Получается, что их приняли еще в 2021 г., ввели в действие в 2024 г., а применять в целях подтверждения соответствия продукции (средств обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения) требованиям технического регламента пока нельзя. Проекты

новых документов тоже ждет непростой путь, который не содействует выполнению Плана мероприятий [1].

В 2023 г. разработчик, Минстрой России, представил проект международного технического регламента ТР ЕАЭС «О безопасности строительных материалов и изделий» [9], основными целями которого были: обеспечение на таможенной территории Союза защиты жизни и (или) здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни и (или) здоровья животных и растений; предупреждение действий, вводящих в заблуждение потребителей; обеспечение энергетической эффективности и ресурсосбережения.

Проект технического регламента предусматривал:

- гармонизацию (согласование) требований безопасности строительных материалов и изделий в государствах – членах Союза;
- установление обязательных требований для строительных материалов и изделий, в числе которых правила обращения на рынке, требования безопасности, обеспечение соответствия требованиям безопасности, правила оценки соответствия, маркировка единым знаком обращения продукции на рынке государств – членов Союза;
- установление единых требований к методам исследований, испытаний и измерений строительных материалов и изделий в стандартах, включенных в перечень международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия — национальных (государственных) стандартов, сопровождающих новый технический регламент, а также установление единых требований по существенным характе-

ристикам для строительных материалов и изделий.

8 августа 2024 г. проект технического регламента был направлен на внутригосударственное согласование. Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве — федеральное автономное учреждение, осуществляющее деятельность в сфере технического регулирования в строительстве (далее — ФАУ ФЦС) — принимает непосредственное участие в доработке и продвижении этого документа. Он должен распространяться на 33 группы строительных материалов и изделий и 434 вида продукции, при этом состав групп и видов продукции актуализируется по мере обсуждения и поступления предложений. Важнейшим аспектом деятельности ФАУ ФЦС является обеспечение безопасности, в т. ч. издание и распространение официально опубликованных сводов правил на территории РФ на бумажном носителе и в электронно-цифровой форме, а также подготовка заключений (техническая оценка) для подтверждения пригодности для применения в строительстве новой продукции, требования к которой не регламентированы нормативными документами полностью или частично и от которой зависят безопасность и надежность зданий и сооружений.

Тенденция к ускорению обновления нормативной базы в сфере строительства отражена в планировании разработки и обновления рекордного количества стандартов в 2025 г., о чем сообщил руководитель Росстандарта А. П. Шалаев, выступая на расширенном заседании Правления Российского союза строителей, прошедшего 11 февраля 2025 г. на полях Международного форума-выставки «Сибирская строительная неделя – 2025»:

«Общее количество действующих стандартов в области строительства и строительных материалов превышает 2 тыс. документов, а Программой национальной стандартизации на 2025 г. запланирована работа по 429 документам, что свидетельствует о ее постоянном развитии. С 2019 по 2025 г. средний возраст стандартов в строительной отрасли сократился почти вдвое. Это свидетельствует об активной работе регуляторов и участников рынка по обновлению нормативной базы, что особенно важно в условиях быстро развивающихся технологий. Основные направления работ таковы: энергоэффективность и безопасность объектов, „зеленое“ строительство, развитие требований к строительным материалам и изделиям, информационное моделирование в строительстве» [2].

Своевременное обновление «регламентированной» нормативной базы необходимо для проведения экспертизы объектов строительства по показателям пожарной безопасности при использовании новых материалов и конструкций, в т. ч. деревянных, становящихся все более популярными. О необходимости принятия адекватных технических и нормативных решений в этой области свидетельствуют недавние трагические события, произошедшие в ночь на 21 января 2025 г. в 12-этажном турецком отеле Grand Kartal. Дотла выгорел полностью заселенный эко-отель на горнолыжном курорте. В результате пожара погибло 79 человек, ранены более 50. Как стало позднее известно, 2 января 2025 г. пожарная служба муниципалитета Болу выдала ресторану сгоревшего отеля «пожарный квалификационный сертификат», а в отчете пожарной службы муниципалитета Болу указано, что владельцами соблюдено «Положение о защите зданий от пожара».

При этом автоматическая спринклерная система, которая является обязательной в деревянных зданиях такого размера, отсутствовала. Отсутствовали также системы предупреждения, обнаружения и тушения пожара.

В богатой лесами России начинает использоваться опыт скандинавских стран и Канады в области строительства многоэтажных деревянных зданий различного назначения: как жилых, так и общественных. Параллельно развивается стандартизация в области деревянного домостроения. Одним из первых документов по стандартизации, принятых в этом направлении, хотя в нем еще не идет речь о многоэтажных конструкциях, можно считать СП 31-105-2002 «Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом» [10], разработанный Федеральным государственным унитарным предприятием «Центр методологии нормирования и стандартизации в строительстве» (далее — ФГУП ЦНС), Госстроем России и Межрегиональным центром обучения и качества легкокаркасного домостроения при участии группы специалистов научно-исследовательских и проектных организаций в области строительства. На момент принятия документ был согласован с Главным управлением ГПС МВД России (письмо № 20/2.2/4762 от 28 декабря 2001 г.).

С 2017 г. действует СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80» в редакции 2023 г. [11], в котором содержатся технические характеристики материалов по прочности и влагостойкости для проекти-

рования объектов из цельной и клеевой древесины и приводятся ссылки на документы по стандартизации по методам испытаний на огнестойкость, пожарную опасность, классы прочности и допускаемые условия эксплуатации. За период, прошедший с момента вступления в действие стандарта ГОСТ Р 53292–2009 [12], содержащего общие требования и методы испытаний огнезащитных составов и веществ, разработано множество составов для металлических и деревянных конструкций, усовершенствованы методы контроля их эффективности, например ГОСТ Р 58965–2020 по защите древесины сквозной пропиткой [13], ГОСТ Р 59637–2021 по огнезащите [14]. Накоплен опыт создания и контроля материалов, который закреплен в стандартах, одним из новейших документов является ГОСТ Р 57786–2024 по визуальной сортировке слоев в деревянных несущих клеевых конструкциях [15].

Проектным и строительным организациям, согласно ст. 134 «Требования пожарной безопасности к применению строительных материалов в зданиях и сооружениях» [3], а также сводам правил по зданиям из клееного деревянного бруса и деревянных срубных конструкций (СП 515.1325800.2022 и СП 516.1325800.2022 соответственно [16, 17]), для обоснования предпочтительности выбора деревянных конструкций и использования древесины в качестве строительного материала при участии в строительных тендерах и конкурсах следует приводить объективные, достоверные доводы (экологичность, долговечность, конструкционная огнестойкость, радиопрозрачность, химическая резистентность, эстетичность, долговременная эмпиричность (глубокая изученность) характеристик и свойств). Следует, однако, учитывать не-

отъемлемую специфику выполнения работ, связанную с дополнительными расходами и возможным увеличением сроков, присущими недостатками, способными в перспективе осложнять целевую эксплуатацию конструкции, и требуется обязательно доводить ее до заказчика. Признаваемой нормативной базой для согласования требований являются документы по стандартизации.

Правила проектирования общественных и жилых многоквартирных зданий с использованием несущих деревянных конструкций представлены в сводах правил СП 451.1325800.2019 [18] и СП 452.1325800.2019 [19].

Обновление и расширение нормативной базы отражает интерес и востребованность новых и уже известных направлений в строительстве. Справочная информация, заказанная авторами и подготовленная специалистами КонсультантПлюс «Нормы и правила пожарной безопасности», содержит 169 действующих нормативных документов по строительству. В подавляющем большинстве это своды правил, содержащие требования к разным видам зданий и сооружений при использовании разных конструкционных материалов.

В этом заключается одна из важнейших особенностей стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности: применяются нормативные документы по стандартизации двух существенно разных по оформлению и содержанию видов — национальные и межгосударственные стандарты, утверждаемые и управляемые Росстандартом, и своды правил разных видов, ориентированные на проектирование и дальнейшую экспертизу объектов. Последние всегда безусловно относились к документам по стандартизации, но при-

нимались Госстроем России. Эта традиция сохранилась: руководство Росстандарта не учитывает своды правил в своей деятельности и планах, хотя они включены в перечень документов по стандартизации, действующих в России согласно ст. 14 и 22 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации» [20]. 20 февраля 2025 г. в РСПП прошло заседание, посвященное доработке законопроекта «О внесении изменений в Федеральный закон „О стандартизации в Российской Федерации“», в котором приняли участие эксперты в области стандартизации и технического регулирования, представители Минпромторга России, Росстандарта.

Эти изменения направлены на повышение прозрачности закона, сокращение сроков разработки документов по стандартизации и расширение спектра применяемых документов и показывают современную тенденцию. Ранее документом 653-ФЗ от 25 декабря 2023 г. [21] были внесены изменения в ст. 6 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [4]: к документам, в результате применения которых обеспечивается выполнение обязательных требований, отнесены стандарты организаций — СТО.

А. Н. Лоцманов, первый заместитель руководителя Комитета по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия Российского союза промышленников и предпринимателей, считает, что СТО как локальные нормативные документы крупных строительных форм могут служить доказательной базой «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [4]. СТО не подменяют национальные стандарты, но способствуют ускорению внедрения инновационной продукции. При этом

они должны контролироваться Минстроем, ФАУ ФЦС, ТК 465 «Строительство» и подлежать экспертизе при перспективе «публичного» использования, что будет свидетельствовать о регулировании строительной отрасли в РФ.

Приказом МЧС России от 15 ноября 2022 г. № 1161 утвержден Порядок согласования стандартов организаций, содержащих требования пожарной безопасности [5]. В нем описана процедура согласования СТО главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору или одним из его заместителей.

Основными трендами развития отечественной стандартизации в области пожарной безопасности в строительстве являются освоение новых направлений домостроения, расширение и ускоренное обновление нормативной базы, сокращение сроков жизни нормативных документов, постепенный переход к применению SMART-стандартов [22], а также согласование действий по стандартизации в сферах применения технических регламентов 123-ФЗ, 384-ФЗ и ТР ЕАЭС 043/2017 [3, 4, 9], что имеет место быть в подготовке специалистов по целому ряду дисциплин, таких как «Техническое регулирование в области пожарной безопасности», «Пожарная безопасность в строительстве», «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» и др., и необходимости формирования у них компетенций правового и технического нормоприменения.

### **Вывод**

Таким образом, анализ проблем практического применения нормативных документов по техническому регулированию

в области пожарной безопасности свидетельствует о наличии ряда давно существующих и новых проблем, оказывающих негативное воздействие на организацию важнейшей части технического регулирования — оценки соответствия объектов защиты (продукции). В контексте образовательной деятельности, осуществляемой институтом, необходимо постоянное обнов-

ление учебных материалов по техническому регулированию.

Применение и разработка актуальных документов по стандартизации, отражающих современные тенденции развития технического регулирования пожарной безопасности, является актуальной задачей на пути достижения национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни».

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О Плана мероприятий («дорожная карта») развития стандартизации в Российской Федерации на период до 2027 года : письмо Правительства РФ от 15 ноября 2019 г. № ДК-П7-9914 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/563926987> (дата обращения: 04.04.2025).

2. Рекордное количество новых ГОСТов и повышение востребованности стандартизации — одобрен госдоклад о состоянии работ по стандартизации по итогам 2024 года // Росстандарт : офиц. сайт. URL: [https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS\\_rO0AVXczAAZHy3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmllldwACaWQAAAABAAQ5NzE3AAdfX0VPRl9f](https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS_rO0AVXczAAZHy3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmllldwACaWQAAAABAAQ5NzE3AAdfX0VPRl9f) (дата обращения: 05.05.2025).

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г. : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 04.04.2025).

4. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон № 384-ФЗ : принят Государственной Думой 23 декабря 2009 г. : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 04.04.2025).

5. Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : приказ Росстандарта от 13.02.2023 № 318 (ред. от 25.11.2024) // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300818909> (дата обращения: 04.04.2025).

6. Об утверждении порядка согласования стандартов организации, содержащих требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 15 ноября 2022 г. № 1161 // Кодекс : элек-

трон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300082320> (дата обращения: 04.04.2025).

7. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) : принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456080708> (дата обращения: 04.04.2025).

8. Договор о Евразийском экономическом союзе : ратифицирован Федер. законом от 03.10.2014 № 279-ФЗ // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420205962> (дата обращения: 04.04.2025).

9. Проект международного технического регламента ТР ЕАЭС «О безопасности строительных материалов и изделий» // regulation.eaeunion : портал проектов нормативных правовых актов ЕАЭС. URL: [https://docs.eaeunion.org/pd/ru-ru/0108427/pd\\_20062023](https://docs.eaeunion.org/pd/ru-ru/0108427/pd_20062023) (дата обращения: 05.05.2025).

10. СП 31-105–2002. Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом : свод правил по проектированию и строительству : одобрен для применения Госстроем России постановлением № 6 от 14.02.2002 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029268> (дата обращения: 04.04.2025).

11. СП 64.13330.2017. Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 129/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (дата обращения: 04.04.2025).

12. ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 68-ст // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071904> (дата обращения: 04.04.2025).

13. ГОСТ Р 58965–2020. Защита древесины сквозной пропиткой. Технические условия : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 августа 2020 г. № 502-ст // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174796> (дата обращения: 04.04.2025).

14. ГОСТ Р 59637–2021. Средства противопожарной защиты зданий и сооружений. Средства огнезащиты. Методы контроля качества огнезащитных работ при монтаже (нанесении), техническом обслуживании и ремонте : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 24 августа 2021 г. № 790-ст // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180684> (дата обращения: 04.04.2025).

15. ГОСТ Р 57786–2024. Конструкции деревянные клееные несущие. Визуальная сортировка слоев по классам прочности : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен

в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 28 февраля 2024 г. № 255-ст // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305118378> (дата обращения: 05.05.2025).

16. СП 515.1325800.2022. Здания из клееного деревянного бруса. Правила проектирования и строительства : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 8 апреля 2022 г. № 262/пр и введен в действие с 9 мая 2022 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350350416> (дата обращения: 04.04.2025).

17. СП 516.1325800.2022. Здания из деревянных срубных конструкций. Правила проектирования и строительства : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 11 апреля 2022 г. № 270/пр и введен в действие с 12 мая 2022 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350352299> (дата обращения: 04.04.2025).

18. СП 451.1325800.2019. Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22 октября 2019 г. № 643/пр и введен в действие с 23 апреля 2020 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564376892> (дата обращения: 04.04.2025).

19. СП 452.1325800.2019. Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 651/пр и введен в действие с 29 апреля 2020 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564376889> (дата обращения: 04.04.2025).

20. О стандартизации в Российской Федерации : Федер. закон № 162-ФЗ : принят Государственной Думой 19 июня 2015 г. : одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 г. : послед. ред. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420284277> (дата обращения: 04.04.2025).

21. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федер. закон № 653-ФЗ : принят Государственной Думой 15 декабря 2023 г. : одобрен Советом Федерации 22 декабря 2023 г. : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_465504/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_465504/) (дата обращения: 04.04.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

22. Современные особенности применения документов по стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности / Кононенко Е. В. [и др.] // Техносферная безопасность. 2024. № 2 (43). С. 20–29.

## REFERENCES

1. On the Action Plan (“road map”) for the development of standardization in the Russian Federation for the period up to 2027 : letter of the Government of the Russian Federation from

November 15, 2019 № DK-P7-9914 // Codex : electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/563926987> (date of application: 04.04.2025).

2. Record number of new GOSTs and increase in demand for standardization — approved state report on the state of standardization work by the end of 2024 // Rosstandart : official website. URL: [https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGV OZXdzVmlldwACaWQA AAAABAAQ5NzE3AAdfX0VPRI9f](https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGV OZXdzVmlldwACaWQA AAAABAAQ5NzE3AAdfX0VPRI9f) (date of application: 05.05.2025).

3. Technical Regulations on Fire Safety Requirements : Federal Law № 123-FZ : adopted by the State Duma on July 4, 2008 : approved by the Federation Council on July 11, 2008 : approved by the Federation Council on July 11, 2008 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (date of application: 04.04.2025).

4. Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures: Federal Law № 384-FZ : adopted by the State Duma on December 23, 2009 : approved by the Federation Council on December 25, 2009 : approved by the Federation Council on December 25, 2009 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902192610> (date of application: 04.04.2025).

5. On approval of the list of documents in the field of standardization, as a result of the application of which on a voluntary basis ensures compliance with the requirements of the Federal Law of July 22, 2008 № 123-FZ “Technical Regulations on fire safety requirements” : order of Rosstandart from 13.02.2023 № 318 (ed. from 25.11.2024) // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300818909> (date of application: 04.04.2025).

6. On approval of the procedure for approval of organization standards containing fire safety requirements : Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia from November 15, 2022 № 1161 // Codex : electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300082320> (date of application: 04.04.2025).

7. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union “On Requirements for Fire Safety and Fire Fighting Equipment” (TR EAEU 043/2017) : adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of June 23, 2017 № 40 // Codex : electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456080708> (date of application: 04.04.2025).

8. Treaty on the Eurasian Economic Union : ratified by the Federal Law of 03.10.2014 № 279-FZ // Codex : electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420205962> (date of application: 04.04.2025).

9. Draft international technical regulation TR EAEU “On safety of construction materials and products” // regulation.eaeunion : portal of draft regulatory legal acts of the EAEU. URL: [https://docs.eaeunion.org/pd/ru-ru/0108427/pd\\_20062023](https://docs.eaeunion.org/pd/ru-ru/0108427/pd_20062023) (date of application: 05.05.2025).

10. SP 31-105–2002. Design and construction of energy-efficient single-family dwelling houses with a wooden frame : a set of rules for design and construction : approved for application by the Gosstroy of Russia by resolution № 6 of 14.02.2002 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029268> (date of application: 04.04.2025).

11. SPP 64.13330.2017. Code of rules. Wooden structures. Updated edition of SNiP II-25-80 : approved by the Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services

of the Russian Federation from February 27, 2017 № 129/pr and put into effect from August 28, 2017 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical Inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (date of application: 04.04.2025).

12. GOST R 53292–2009. Fire-protective compositions and substances for wood and materials on its basis. General requirements. Test methods : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for technical regulation and metrology from February 18, 2009 № 68-st // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071904> (date of application: 04.04.2025).

13. GOST P 58965–2020. Wood protection by through impregnation. Technical conditions : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from August 18, 2020 № 502-st // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174796> (date of application: 04.04.2025).

14. GOST R 59637–2021. Means of fire protection of buildings and structures. Fire protection means. Methods of quality control of fire protection works during installation (application), maintenance and repair : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from August 24, 2021 № 790-st // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180684> (date of application: 04.04.2025).

15. GOST R 57786–2024. Wooden glued laminated load-bearing structures. Visual sorting of layers by strength classes : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for technical regulation and metrology from February 28, 2024 № 255-st // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305118378> (date of application: 05.05.2025).

16. SP 515.1325800.2022. Buildings made of glued wooden beams. Design and construction rules : set of rules : approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation from April 8, 2022 № 262/pr and put into effect from May 9, 2022 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350350416> (date of application: 04.04.2025).

17. SP 516.1325800.2022. Buildings from wooden log structures. Design and construction rules : set of rules : approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation from April 11, 2022 № 270/pr and put into effect from May 12, 2022 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350352299> (date of application: 04.04.2025).

18. SPP 451.1325800.2019. Public buildings with the use of wooden structures. Design rules : set of rules : approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation from October 22, 2019 № 643/pr and put into effect from April 23, 2020 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564376892> (date of application: 04.04.2025).

19. SP 452.1325800.2019. Residential apartment buildings with the use of wooden structures. Design rules : set of rules : approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and

Communal Services of the Russian Federation from October 28, 2019 № 651/pr and put into effect from April 29, 2020 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564376889> (date of application: 04.04.2025).

20. On standardization in the Russian Federation : Federal Law № 162-FZ : adopted by the State Duma on June 19, 2015 : approved by the Federation Council on June 24, 2015 : approved by the Federation Council on June 24, 2015 : last ed. // Codex : electronic fund of legal and normative-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420284277> (date of application: 04.04.2025).

21. On Amending the Federal Law “Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures” and Certain Legislative Acts of the Russian Federation : Federal Law № 653-FZ : adopted by the State Duma on December 15, 2023 : approved by the Federation Council on December 22, 2023 : last ed. // ConsultantPlus : website. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_465504/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_465504/) (date of application: 04.04.2025). Access mode: for registered users.

22. Modern peculiarities of application of standardization documents in the field of fire safety / E. B. Kononenko et al. // Technospheric safety. 2024. № 2 (43). pp. 20–29.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кононенко Елена Венедиктовна**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 88693; e-mail: [ekononenko51@mail.ru](mailto:ekononenko51@mail.ru)

**Мокроусова Ольга Анатольевна**, д-р пед. наук, доц., заведующий кафедрой пожарной безопасности в строительстве Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 827347; e-mail: [olgamokrousova@mail.ru](mailto:olgamokrousova@mail.ru)

**Черкасский Григорий Александрович**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 846467; e-mail: [gregor2003@mail.ru](mailto:gregor2003@mail.ru)

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Elena V. Kononenko**, Cand. Sci (Physics and Mathematics), Senior Researcher, Professor of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 88693; e-mail: [ekononenko51@mail.ru](mailto:ekononenko51@mail.ru)

**Olga A. Mokrousova**, Dr. Sci (Pedagogics), Associate Professor, Head of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 827347; e-mail: [olgamokrousova@mail.ru](mailto:olgamokrousova@mail.ru)

---

Grigory A. Cherkasskiy, Senior Lecturer Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 846467; e-mail: gregor2003@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2025

Одобрено после рецензирования 30.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНИКОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Глухих Павел Александрович, Ефимов Иван Александрович, Белявский Николай Васильевич,  
Головина Екатерина Валерьевна, Сафронова Ирина Геннадьевна  
Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе приведены результаты сравнительного анализа инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников. Обоснована актуальность изучения причин возникновения пожаров. Показана тенденция к увеличению количества пожаров в Российской Федерации. Выделено, что около 1/5 пожаров происходит по причине неисправного электрооборудования. Приведено описание механизма действия современных инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников при осуществлении экспертной деятельности по установлению причастности к возникновению пожара проявлений этих режимов. Рассмотрены вопросы совершенствования методик и методов, связанных с применением металлографии, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа при исследовании изъятых с места пожара токоведущих жил различного исполнения. Предложены мероприятия, направленные на повышение качества применяемых способов исследования аварийных режимов работы электропроводников. Сделан вывод о приоритете методик, позволяющих устанавливать факт наличия признаков аварийных режимов работы электропроводников, не прибегая к разрушению испытуемого образца.

Результаты исследования могут быть использованы в деятельности компетентных органов и должностных лиц, связанной с расследованием пожаров и производством судебных пожарно-технических экспертиз при анализе версий о причастности к возникновению пожаров аварийных пожароопасных режимов работы электропроводников.

**Ключевые слова:** электропроводник, причина пожара, аварийные режимы, короткое замыкание, оплавления, металлография, рентгеноструктурный анализ, токоведущая жила

**Для цитирования:** Применение инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников на современном этапе / П. А. Глухих [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 61–68.

## APPLICATION OF INSTRUMENTAL METHODS OF STUDYING EMERGENCY MODES OF OPERATION OF ELECTRICAL CONDUCTORS AT THE PRESENT STAGE

Pavel A. Glukhykh, Ivan A. Efimov, Nikolay V. Belyavsky, Ekaterina V. Golovina, Irina G. Safronova  
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** The paper presents the results of a comparative analysis of instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors. The relevance of investigating the causes of fires is substantiated. The tendency towards an increase in the number of fires in the Russian Federation is shown. It is highlighted that about 1/5 of fires occur due to faulty electrical equipment. The mechanism of action of modern instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors when carrying out expert activities to establish the involvement of manifestations of these modes in the occurrence of a fire is described. The issues of improving techniques and methods related to the use of metallography, scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis in the study of live wires of various designs removed from the fire site are considered. Measures aimed at improving the quality of applied methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors are proposed. The conclusion is made about the priority of techniques that allow establishing the fact of the presence of signs of emergency operating modes of electrical conductors without resorting to the destruction of the test sample.

The results of the study can be used in the activities of competent authorities and officials related to the investigation of fires and the production of forensic fire-technical examinations when analyzing versions of the involvement of emergency fire-hazardous operating conditions of electrical conductors in the occurrence of fires.

**Keywords:** electrical conductor, fire cause, emergency modes, short circuit, reflow, metallography, X-ray diffraction analysis, live wire

**For Citation:** Application of instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors at the present stage / P. A. Glukhikh et al. // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 61–68.

## Введение

Возникновение пожаров на объектах и в населенных пунктах ежегодно приводит к наступлению тяжких последствий, выражающихся в гибели людей, причинении вреда здоровью, нанесении материального ущерба. Анализ статистических данных показывает, что, несмотря на снижение общего количества пожаров на территории РФ, в период с 2019 по 2023 г. [1] наблюдается тенденция к увеличению материального ущерба, а также практически неизменными остаются показатели по ко-

личеству травмированных и погибших при пожарах людей. Так, при снижении количества пожаров на 30 % материальный ущерб вырос практически вдвое и к концу 2023 г. составил 61457,9 млн руб. Если же говорить об основных причинах пожаров, более 20 % от общего их числа приходится на нарушение правил эксплуатации электрооборудования. На протяжении последних лет эта группа причин пожаров уступает по количественным показателям лишь неосторожному обращению с огнем. В подавляющем большинстве случаев возгорание происходит в результате теплового проявления

аварийных режимов работы электрооборудования и электропроводки. Традиционно к ним относят токовую перегрузку, короткое замыкание, большие переходные сопротивления [2]. Формирование категоричного вывода о причастности к возникновению пожара аварийных режимов работы электропроводки зачастую невозможно без использования современных инструментальных методов исследования, принятых в пожарно-технической экспертизе. С развитием рынка кабельной продукции и в целом электрификации процессов и производств существующие методы и методики, применяемые при экспертном анализе признаков работы электропроводников в аварийном режиме, требуют постоянного совершенствования. Максимально эффективно в экспертной деятельности в рамках отдельных специализаций [3] на протяжении последних лет показывают себя морфологическое и металлографическое исследования, а также сканирующая электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ.

#### **Методы исследования электропроводников после пожара**

Вопрос использования различных методов исследования электропроводников после пожара в течение предыдущих десятилетий рассматривался в трудах А. И. Колмакова, Л. С. Митричева, И. Д. Чешко [4–6]. Анализ современной научной литературы показал, что необходимость постоянного их совершенствования актуальна и по сей день. Так, например, морфологическое исследование электропроводников после пожара является одним из немногих методов, позволяющих не вносить физических изменений в представленный образец, однако чаще все-

го позволяет лишь определить визуальные признаки деформации, оплавления и термического воздействия, такие как изменение цвета проводов, обугливание и оплавление изоляции [7–9]. В связи с этим визуальный осмотр электропроводников в экспертной деятельности в основном применяется для выбора дальнейших исследований, позволяющих изучить микроструктуру токоведущих жил с целью определения признаков токовой перегрузки или дифференциации короткого замыкания.

Металлографический метод исследования металлических объектов в пожарно-технической экспертизе [7, 10] является одним из наиболее часто применяемых в деятельности, направленной на установление возможности возникновения пожара в результате воздействия аварийных режимов работы электропроводников. Однако серьезным недостатком этого метода является тот факт, что он приводит к разрушению объекта исследования, т. е. его использование возможно лишь при наличии соответствующего разрешения от лица, назначившего экспертизу.

Значительный прорыв в совершенствовании применения металлографии при исследовании аварийных режимов работы электропроводников после пожара совершил в 2008 г. А. Ю. Мокряк, разработав морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с места пожара [11]. Во многом это позволило значительно повысить эффективность деятельности пожарно-технических экспертов при исследовании различных объектов-носителей криминалистически важной информации, в особенности при определении первичности короткого замыкания. Однако определенную трудность вызывало исследова-

ние микроструктуры электропроводников с алюминиевыми токоведущими жилами. Связано это в основном с тем, что температура плавления алюминия не превышает 660 °С и может достигаться внешним тепловым воздействием «стандартного пожара», приводя к нивелированию признаков аварийного режима работы.

Весомый вклад в развитие методов исследования алюминиевых проводников внесла А. В. Мокряк, которая в своих работах [7, 9, 12] актуализировала возможность их применения с целью установления причастности протекающих в них аварийных процессов к возникновению пожаров. На сегодняшний день эффективность и информативность металлографии при производстве пожарно-технических экспертиз не вызывает сомнения, однако реализация этого метода связана с достаточно серьезными затратами времени на проведение пробоподготовки. В действительности процесс изготовления микрошлифа для исследования одного или нескольких фрагментов токоведущих жил может длиться несколько часов, которые нередко могут быть утрачены и стать непригодными для дальнейшего применения в качестве объекта – носителя информации.

В современной научной и методической литературе [2, 13] дано описание ряда методов и методик, позволяющих устанавливать факт наличия признаков аварийных режимов работы электропроводников, не прибегая к разрушению образца. К ним можно отнести сканирующую электронную микроскопию [13, 14], позволяющую определять не только признаки электродугового процесса короткого замыкания, устанавливать условия, при которых они были сформированы, но и осуществлять поиск следов больших переходных сопротивлений.

Также в экспертной практике достаточно эффективно применяется еще один неразрушающий метод исследования — рентгеноструктурный анализ. Он позволяет идентифицировать признаки аварийного режима работы электрооборудования медных и алюминиевых проводников и дифференцировать электродуговые оплавления путем детектирования, дифрагированного от кристаллической решетки пучка рентгеновского излучения. Совершенствование указанного метода также прослеживается в работах А. В. Мокряк, А. Ю. Парийской [7, 15], причем особый интерес вызывает изучение возможности их применения не только для традиционных медных и алюминиевых токоведущих жил, но и для электропроводников, изготовленных из современных материалов, таких как омедненный алюминий [15, 16].

Таким образом, следует отметить, что инструментальные исследования электропроводников после пожара на современном этапе не теряют своей актуальности и находят широкое применение в экспертной деятельности, направленной на установление возможности возникновения пожара в результате воздействия аварийных режимов работы электрооборудования.

### **Выводы**

Анализ современных инструментальных методов исследования электропроводников показал, что их применение в экспертной деятельности при установлении причастности к возникновению пожара аварийных режимов работы электрооборудования не теряет своей актуальности. Методики, связанные с использованием металлографии, рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микро-

скопии постоянно совершенствуются, что, безусловно, ведет к улучшению эффективности экспертного анализа электротехнических версий возникновения пожара. В то же время нельзя не отметить некоторые недостатки существующих методик, что определяет необходимость дальнейшего улучшения способов их применения в уста-

новлении причин возникновения пожара при неисправной работе электроприборов. Таким образом, применение инструментальных методов исследования электропроводников не теряет своей актуальности и остается востребованным для решения отдельных вопросов обеспечения пожарной безопасности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году : информ.-аналитич. сб. Балашиха : ВНИИПО МЧС России, 2024. С. 7–9.
2. Мокряк А. Ю., Пеньков В. В., Чешко И. Д. Экспертное исследование оплавлений медных проводников, изымаемых с места пожара. М. : ЭКЦ МВД России, 2015. 80 с.
3. Квалификационные требования к сотрудникам федеральной противопожарной службы МЧС России по специальности «Судебная пожарно-техническая экспертиза». М. : ВНИИПО, 2012. 72 с.
4. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах) : учебное пособие / А. И. Колмаков [и др.]. М. : ЭКЦ МВД России, 1993. 104 с.
5. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров : методические рекомендации / А. И. Колмаков [и др.]. М. : ЭКЦ МВД РФ, 1992. 32 с.
6. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия : методические рекомендации / Л. С. Митричев [и др.]. М. : ВНИИ МВД СССР, 1986. 40 с.
7. Мокряк А. В. разработка методики дифференциации повреждений алюминиевых проводов и кабелей после пожара // Научно-исследовательские публикации. 2024. № 2. С. 27–29.
8. Мокряк А. Ю., Мокряк А. В., Букаткин А. С. Морфология повреждений медных проводников при коротком замыкании // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 135–143.
9. Мокряк А. В. Морфологические особенности поврежденных при электродуговых процессах алюминиевых проводников // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 4 (60). С. 143–147. DOI: <https://doi.org/10.46548/21vek-2022-1160-0022>.
10. Мокряк А. Ю., Чешко И. Д., Бельшина Ю. Н. Металлографическое и морфологическое исследования металлических объектов судебной пожарно-технической экспертизы : учебное пособие / под общ. ред. Э. Н. Чижикова. СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2016. 159 с.
11. Металлографический и морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с мест пожаров / А. Ю. Моряк [и др.]. СПб. : ВНИИПО МЧС России, 2008. 185 с.
12. Мокряк А. В. Обзор и пожарная опасность алюминиевых проводников // Наукосфера. 2023. № 8–2. С. 67–70.

13. Экспертное исследование после пожара медных проводников: методические рекомендации / А. Ю. Мокряк [и др.]. СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2019. 149 с.
14. Мокряк А. Ю., Мокряк А. В., Букаткин А. С. Оценка температурного воздействия на медный проводник по его микроструктуре // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 1 (57). С. 100–103.
15. Парийская А. Ю., Мокряк А. В. Исследование фазового состава омедненных алюминиевых проводников подверженных термическому воздействию методом рентгенофазового анализа // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 1 (57). С. 137–140.
16. Мокряк А. В. Особенности разрушения омедненных алюминиевых проводников при нагреве // Наукосфера. 2023. № 9 (1). С. 199–204.

### REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2023 : inform.-analyticheskiy sb. Balashikha : VNIPO MES of Russia, 2024. pp. 7–9.
2. Mokryak A. Yu., Penkov V. V., Cheshko I. D. Expert investigation of copper conductors melting, taken from the place of fire. M. ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2015. 80 p.
3. Qualification requirements for employees of the federal fire department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the specialty "Forensic fire technical expertise". M. : VNIPO, 2012. 72 p.
4. Expert examination of metal products (in cases of fires) : textbook / A. I. Kolmakov et al. M. : ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1993. 104 p.
5. Diagnosis of the causes of destruction of metal conductors taken from fire scenes : methodical recommendations / A. I. Kolmakov et al. M. : ECC MVD RF, 1992. 32 p.
6. Investigation of copper and aluminum conductors in the zones of short circuit and thermal influence : methodical recommendations / L. S. Mitrichev et al. M. : VNII OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF THE USSR, 1986. 40 p.
7. Mokryak A. V. Development of the methodology of differentiation of aluminum wires and cables damage after fire // Research publications. 2024. № 2. pp. 27–29.
8. Mokryak A. Y., Mokryak A. V., Bukatkin A. S. Morphology of copper conductor damage in short-circuit // Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). pp. 135–143.
9. Mokryak A. V. Morphological features of aluminum conductors damaged by electric arc processes // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. Т. 11, № 4 (60). pp. 143–147. DOI: <https://doi.org/10.46548/21vek-2022-1160-0022>.
10. Mokryak A. Y., Cheshko I. D., Belshina Y. N. Metallographic and morphological studies of metal objects of forensic fire-technical examination : textbook / ed. by E. N. Chizhikov. SPb. : St.-Petersburg State University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. 159 p.
11. Metallographic and morphological atlas of microstructures of objects removed from fire scenes / A. Y. Moryak et al. SPb. : VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2008. 185 p.

12. Mokryak A. V. Review and fire hazard of the aluminum conductors // Naukosphere. 2023. № 8–2. pp. 67–70.

13. Expert examination after the fire of copper conductors: methodical recommendations / A. Yu. Mokryak et al. SPb. : St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. 149 p.

14. Mokryak A. Y., Mokryak A. V., Bukatkin A. S. Assessment of temperature impact on the copper conductor by its microstructure // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. Т. 11, № 1 (57). pp. 100–103.

15. Parijskaya A. Yu., Mokryak A. V. Investigation of phase composition of copper-plated aluminum conductors subjected to thermal influence by X-ray phase analysis // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. Т. 11, № 1 (57). pp. 137–140.

16. Mokryak A. V. Peculiarities of the copper-coated aluminum conductors destruction at heating // Naukosphere. 2023. № 9 (1). pp. 199–204.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Глухих Павел Александрович**, старший преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 814811; e-mail: glukhikhpa@uigps.ru

**Ефимов Иван Александрович**, канд. юрид. наук, доц., доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 799824; e-mail: efimovia@uigps.ru

**Белявский Николай Васильевич**, магистрант Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22).

**Головина Екатерина Валерьевна**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

**Сафронова Ирина Геннадьевна**, канд. пед. наук, доцент Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 850838; e-mail: safronovaig@uigps.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pavel A. Glukhikh**, Senior Lecturer, the Department of Forensic Science and Engineering and Technical Expertise Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 814811; e-mail: glukhikhpa@uigps.ru

**Ivan A. Efimov**, Cand. Sci. (Juridical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activity and Law Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 799824; e-mail: efimovia@uigps.ru

**Nikolay V. Belyavsky**, Postgraduate student of the Ural Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation).

**Ekaterina V. Golovina**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activity and Law Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RSC ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

**Irina G. Safronova**, Cand. Sci. (Pedagogic), Associate Professor, Ural Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 850838; e-mail: safronovaig@uigps.ru

Поступила в редакцию 07.03.2025

Одобрено после рецензирования 08.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025

## СОЗДАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ ПРИ ПОДАЧЕ ПО ПОЖАРНЫМ РУКАВАМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Алешков Михаил Владимирович, Гумиров Андрей Сергеевич  
Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлен измерительный комплекс, созданный специально для углубленного изучения процесса охлаждения компрессионной пены, транспортируемой по пожарным рукавам, и предназначенный для исследования теплофизических свойств пены в различных климатических условиях, в т. ч. и при низких температурах. Описаны тщательно проработанная методика проведения экспериментальных исследований, а также разработанная программа, обеспечивающая структурированный сбор и обработку данных. Ключевая цель исследования — определение параметров охлаждения компрессионной пены при ее подаче по пожарным рукавам в условиях низких температур, что имеет решающее значение для эффективного тушения пожаров. Экспериментально были определены численные значения, характеризующие процесс охлаждения компрессионной пены при ее прохождении по пожарному рукаву длиной 20 м, позволяющие количественно оценить теплотери и изменения свойств пены во время транспортировки по пожарным рукавам. На основе полученных данных были построены графические зависимости, отражающие влияние кратности компрессионной пены и ее массового расхода на процесс охлаждения. Анализ этих связей позволяет оптимизировать параметры подачи пены для достижения максимальной эффективности охлаждения в условиях низких температур. Полученные результаты представляют собой важный вклад в развитие и применение технологии компрессионной пены в тушении пожаров при отрицательных температурах.

**Ключевые слова:** компрессионная пена, пеновоздушная смесь, пеногенерирующая установка, низкие температуры, специально разработанный измерительный комплекс

**Для цитирования:** Алешков М. В., Гумиров А. С. Создание измерительного комплекса для определения охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам в условиях низких температур // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 69–80.

## CREATION OF A MEASURING COMPLEX FOR DETERMINING THE COOLING OF COMPRESSION FOAM WHEN DELIVERED THROUGH FIRE HOSES IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Mikhail V. Aleshkov, Andrey S. Gumirov  
The Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article presents a measuring complex created specifically for an in-depth study of the cooling process of compression foam transported through fire hoses, and designed to study the thermophysical properties of foam in various climatic conditions, including at low temperatures.

A carefully developed methodology for conducting experimental research is described, as well as a developed program that provides structured data collection and processing.

The key objective of the study is to determine the parameters of cooling of compression foam when it is supplied through fire hoses in low-temperature conditions, which is crucial for effective fire extinguishing. Numerical values characterizing the process of cooling the compression foam when it passes through a 20 m long fire hose were experimentally determined, which make it possible to quantify heat loss and changes in foam properties during transportation through fire hoses.

Based on the data obtained, graphical dependencies were constructed reflecting the effect of the multiplicity of compression foam and its mass consumption on the cooling process. The analysis of these relationships makes it possible to optimize the foam supply parameters to achieve maximum cooling efficiency at low temperatures. The results obtained represent an important contribution to the development and application of compression foam technology in extinguishing fires at subzero temperatures.

**Keywords:** compression foam, foam-air mixture, foam generating unit, low temperatures, specially designed measuring system

**For Citation:** Aleshkov M. V., Gumirov A. S. Creation of a measuring complex for determining the cooling of compression foam when delivered through fire hoses in low temperature conditions // Technospheric safety. 2025. № 2 (47). pp. 69–80.

## Введение

Пожары происходят на территории всей страны, но самые затяжные и трудные случаются в регионах с холодными климатическими условиями, т. к. на работоспособность рукавных линий и транспортировку огнетушащих веществ по насосно-рукавным системам особенно негативно влияют отрицательные температуры воздуха.

На сегодняшний день при тушении пожаров на объектах энергетики в описанных условиях в основном используется пена с различными добавками. Это связано с тем, что основную пожарную нагрузку на объектах энергетики составляют горючие жидкости и полимерные материалы, ликвидация горения которых затрудняется при применении воды и других огнетушащих веществ.

Пену можно получить несколькими способами. Эти способы легли в основу их классификации: химические и воздушно-механические. Для нужд пожарной охраны чаще всего используют воздушно-механические пены (далее — ВМП) [1]. Основным принципом получения таких пен является механическая эжекция воздуха или газа с рабочим раствором пенообразователя, а также использование специальных поверхностно-активных веществ пенообразователя.

Исследованиями в области тушения пожаров при низких температурах занимались многие ученые. Так, в рамках работы научной школы «Разработка, создание и эксплуатация пожарной и аварийно-спасательной техники», сформировавшейся в Академии ГПС МЧС России более 50 лет назад, было проведено много исследований в обла-

сти обеспечения работоспособности насосно-рукавных систем пожарной техники при отрицательных температурах [2, 3]. Все проведенные ранее исследования были направлены на изучение воды в качестве огнетушащего вещества.

В настоящее время существует необходимость изучения новых средств пожаротушения, которые можно применять для ликвидации горения на объектах энергетики в сложных климатических условиях, а именно при воздействии отрицательных температур окружающей среды.

С учетом анализа огнетушащих веществ, применяемых при ликвидации горения на объектах энергетики, можно сделать вывод о том, что основным средством борьбы с огнем в обозначенных обстоятельствах является ВМП. Применение ВМП не всегда эффективно в таких ситуациях. Поскольку в составе пены имеется большое количество воды, то, соответственно, при отрицатель-

ных значениях температуры она замерзает, что в значительной мере осложняет оперативную обстановку в зоне тушения пожара. В таком случае наиболее подходящим средством тушения пожаров является компрессионная пена. Пена, полученная этим способом, отличается от ВМП своими физическими свойствами.

### Результаты и их обсуждение

Для изучения процесса охлаждения пены, полученной компрессионным способом при подаче по пожарным напорным рукавам в неблагоприятных метеорологических условиях, в т. ч. в условиях низких температур окружающего воздуха, был разработан специальный измерительный комплекс [4].

Специальный измерительный комплекс включает в себя напорные рукавные вставки гостированного диаметра условного прохода DN50, DN65, DN80 (рис. 1). На



Рис. 1. Рукавные вставки различного диаметра с измерительным прибором и источником питания  
Fig. 1. Sleeve inserts of various diameters with measuring device and power supply

обоих концах вставок установлены соединительные головки. Их поверхность обернута специальным теплоизолирующим материалом, чтобы теплопроводность участка вставки приблизилась к теплопроводности материала рукава.

На рукавных вставках смонтированы гаечные соединения, в которые устанавливаются датчики для проведения измерений температуры компрессионной пены, движущейся по пожарным напор-

ным рукавам. Такой датчик на аккумуляторных батареях передает показания с помощью специального радиоприемника на приемный прибор.

С приемного прибора данные о температуре передаются по радиоканалу к приемному устройству (ноутбуку) (рис. 2). Дальность передачи сигнала по радиоканалу достигает не менее 350 м.

Полученные данные фиксируются в специальной программе на ноутбуке (рис. 3).



Рис. 2. Приемное устройство в измерительном комплексе (ноутбук)

Fig. 2. Receiving device in the measuring complex (laptop)

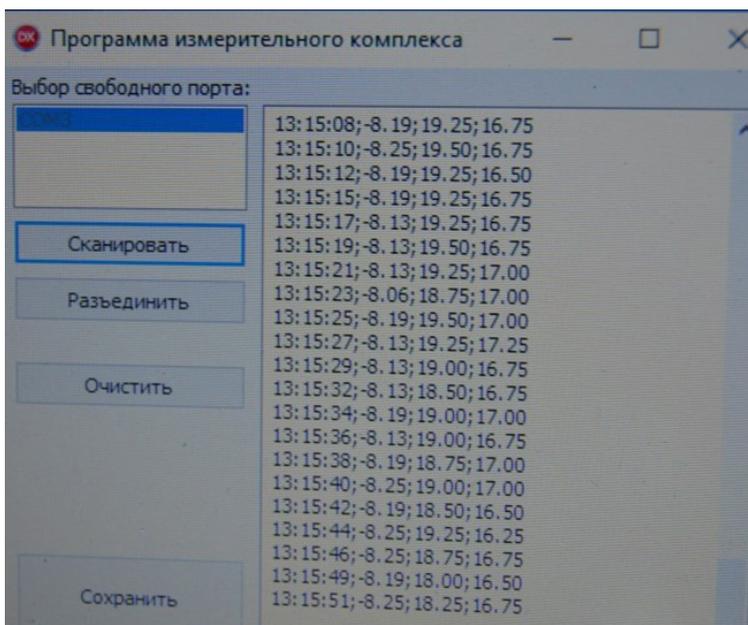


Рис. 3. Прием данных исследований на ноутбук измерительного комплекса

Fig. 3. Reception of research data on the laptop of the measuring complex

К приемному устройству подключен еще один температурный датчик, с помощью которого фиксируется температура окружающей среды. В реальном времени записыва-

ются параметры измерений и на приемное устройство (ноутбук) передаются данные. Параметры специального измерительного комплекса приведены в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Характеристики температурных датчиков с приемным устройством**

Table 1  
Characteristics of temperature sensors with a receiving device

№ п/п	Наименование параметра The name of the parameter	Значение Meaning		
1	Пределы измерения температуры окружающей среды Temperature measurement limits of the environment	От –50 до +125 °С From –50 to +125 °C		
2	Погрешность измерений температуры окружающей среды Error in ambient temperature measurements	±0,5 %		
3	Пределы измерения температуры в рукавных вставках Temperature measurement limits in sleeve inserts	От –50 до +600 °С From –50 to +600 °C		
4	Тип крепления температурных датчиков к рукавным вставкам Type of fastening of temperature sensors to sleeve inserts	M8		
5	Длина рабочей части датчика температуры Length of the working part of the temperature sensor	30 мм 30 mm		
6	Погрешность измерения температуры в рукавных вставках Temperature measurement error in sleeve inserts	±0,5 %		
7	Расстояние передачи радиосигнала Radio transmission distance	Не менее 350 м Not less 350 m		
8	Типоразмеры рукавных вставок Sizes of sleeve inserts	DN50	DN65	DN80

Для оценки процессов охлаждения пены, полученной компрессионным способом, при ее движении по напорным пожарным рукавам в условиях низких температур использовался разработанный измерительный комплекс. На рис. 4 изображено подключение вставки измерительного комплекса в насосно-рукавную систему при подаче компрессионной пены [5, 9].

Экспериментальные исследования проводились при различных метеорологических условиях на территории Московской области и г. Екатеринбурга. Целью экспериментов была оценка охлаждения компрессионной пены в пожарных напорных рукавах при низких температурах. Для проведения таких исследований были разработаны методика и специальная программа.



Рис. 4. Подключение рукавной вставки с температурным датчиком в насосно-рукавную систему при подаче компрессионной пены

Fig. 4. Connection of a sleeve insert with a temperature sensor to the pump-sleeve system when applying compression foam

Принципиальная схема использования измерительного комплекса показана на рис. 5.

Первые эксперименты проходили в Московской области с использованием пожар-

ной автоцистерны модели АЦ 3,0-40 NATISK на базе шасси МАЗ, оснащенной установкой для получения и подачи компрессионной пены, а также с применением дополнительного оборудования (табл. 2).

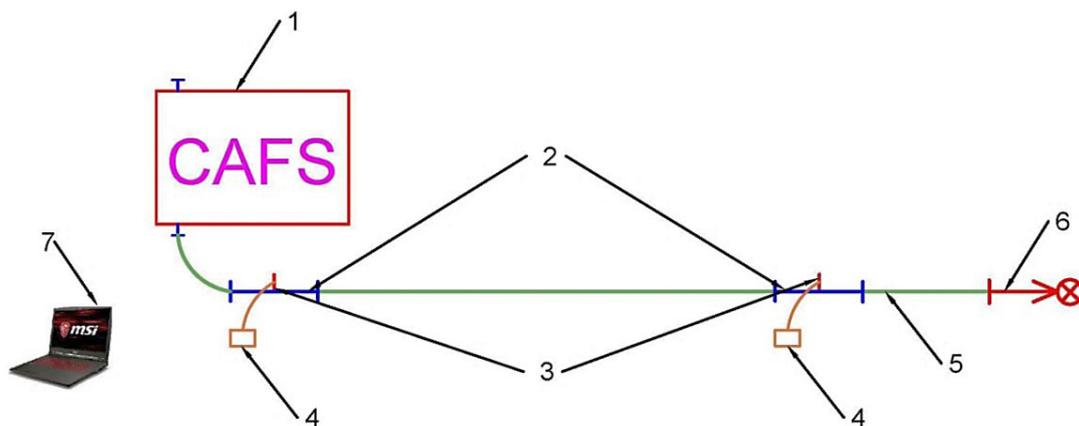


Рис. 5. Экспериментальная схема исследования оценки охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам:  
 1 — установка получения и подачи CAFS; 2 — рукавные вставки;  
 3 — температурные датчики; 4 — приемный прибор; 5 — пожарные рукава;  
 6 — ствол для подачи компрессионной пены; 7 — приемное устройство (ноутбук)

Fig. 5. Experimental scheme for evaluating the cooling of compression foam during pumping through tubing systems:  
 1 — installation for receiving and feeding CAFS; 2 — sleeve inserts;  
 3 — temperature sensors; 4 — receiving device; 5 — fire hoses;  
 6 — barrel for feeding compression foam; 7 — receiving device (laptop)

**Таблица 2**

**Измерительное оборудование для оценки охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам в условиях отрицательных температур**

Table 2

Measuring equipment for evaluating the cooling of compression foam when supplied through fire hoses at subzero temperatures

Марка, наименование Brand, name	Назначение Purpose	Количество, шт. Quantity, pcs
Автоцистерна, оснащенная установкой подачи компрессионной пены АЦ 3,0-40 NATISK на базовом шасси МАЗ Tanker truck equipped with a compression foam supply unit AC 3.0-40 NATISK on a MAZ base chassis	Подача огнетушащих веществ Supply of fire extinguishing agents	1
Измерительный комплекс для определения параметров охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам Measuring complex for determining the cooling parameters of compression foam when supplied through fire hoses	Измерение температурных показателей компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам Measuring the temperature of compression foam when supplied through fire hoses	1
Весы платформенные Platform scales	Измерение веса компрессионной пены в пластиковой емкости Measuring the weight of compression foam in a plastic container	1
Цифровая фотоаппаратура Digital photography equipment	Фото- и видеофиксация экспериментальных исследований Photo and video recording of experimental studies	1
Рукав DN 50 мм длиной 20 м Sleeve DN 50 mm length 20 m	Подача компрессионной пены Supply of compression foam	1
Рукав DN 50 мм длиной 3 м Sleeve DN 50 mm, length 3 m	Подключение измерительного комплекса Connecting the measuring complex	1
Анемометр Anemometer	Измерение скорости ветра Measuring wind speed	1
Термометр Thermometer	Измерение температуры окружающего воздуха Temperature measurement ambient air	1

Экспериментальные исследования проводились при следующих метеорологических условиях:

- температура окружающей среды от –30 до –10 °С;
- скорость ветра — 1–3 м/с;
- относительная влажность воздуха — 50–67 %;
- атмосферное давление от 104,6 до 106,7 кПа.

Экспериментальные исследования выполнялись в следующей последовательности [6]:

- от пожарной автоцистерны с установкой NATISK прокладывался пожарный рукав DN50 длиной 3 м;
- устанавливалась первая рукавная вставка DN50 с температурным датчиком;
- прокладывался пожарный рукав длиной 20 м и устанавливалась вторая рукавная вставка DN50 с температурным датчиком;

- присоединялся пожарный рукав DN50 длиной 3 м и ствол для подачи компрессионной пены (рис. 6).

Производился запуск установки получения и подачи компрессионной пены, в соответствии с руководством по эксплуатации которой производилась настройка параметров кратности получаемой компрессионной пены (рис. 7).

После установления стабильного режима работы с помощью измерительного комплекса фиксировалась температура в режиме реального времени [7, 8].

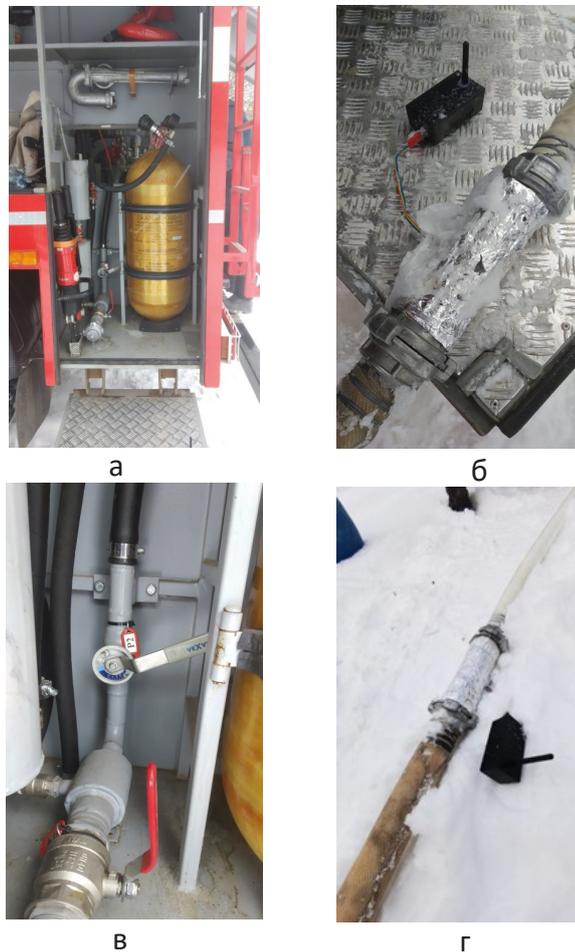


Рис. 6. Порядок проведения экспериментов:  
*a* — расположение воздушного баллона и регулировочного крана; *b* — первая рукавная вставка с температурным датчиком при входе в рукавную линию; *в* — регулировочный кран для установки режима работы установки; *г* — проложенная рукавная линия длиной 20 м со второй рукавной вставкой с температурным датчиком при выходе из рукавной линии

Fig. 6. The order of experiments:  
*a* — the location of the air cylinder and the adjusting valve; *b* — the first sleeve insert with a temperature sensor at the entrance to the sleeve line; *c* — an adjustment valve for setting the operating mode of the installation; *d* — a 20 m long sleeve line with a second sleeve insert with a temperature sensor at the outlet of the sleeve line



Рис. 7. Подача компрессионной пены по пожарным рукавам:  
*a, б* — регулирование подачи с помощью ручного ствола; *в* — структура полученной пены;  
*г* — покрытие пеной вертикальной конструкции

Fig. 7. Supply of compression foam through fire hoses:  
*a, b* — feed control using a manual barrel; *c* — the structure of the resulting foam; *d* — foam coating  
of the vertical structure

## Выводы

Авторами был разработан и применен комплекс измерительных приборов для оценки охлаждения компрессионной пены при использовании насосно-рукавных систем в условиях низких температур. Этот комплекс позволяет решить несколько важных задач, включая:

- определение параметров охлаждения компрессионной пены при исполь-

зовании рукавных линий в условиях низких температур;

- анализ влияния режимов работы пеногенерирующей установки на охлаждение компрессионной пены при использовании насосно-рукавных систем при отрицательных температурах;
- определение максимальной длины рукавной линии для достижения температуры 0 °С при использовании насосно-рукавных систем в условиях отрицательных температур окружающей среды.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Гайфуллин В. В. Свойства воздушно-механической пены, влияющие на огнетушащую эффективность пены // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 15 декабря 2021 г. / Министерство науки и образования РФ, Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа : изд-во УГНТУ, 2021. С. 76–78.
2. Факторы, определяющие тактический потенциал подразделений пожарно-спасательного гарнизона в условиях экстремально низких температур / М. В. Алешков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 12. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.12.61-68>.
3. Двоенко О. В. Опыт исследования работоспособности пожарно-спасательной техники в условиях низких температур // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2017. № 3. С. 28–37.
4. Гумиров А. С., Шульпинов А. А. Измерительный комплекс для определения интенсивности охлаждения огнетушащих веществ // Проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. 2020. № 9. С. 106–110.
5. Исследование параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур / М. В. Алешков [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 2 (92). С. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.8-19>.
6. Камлюк А. Н., Грачулин А. В. Особенности применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2018. Т. 2, № 2. С. 168–175.
7. Гумиров А. С. Экспериментальные исследования охлаждения компрессионной пены при ее подаче при разных температурных режимах окружающей среды // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 4. С. 40–44.
8. Lou M., Jia H., Lin Z. Study on fire extinguishing performance of different foam extinguishing agents in diesel pool fire // Results in Engineering. 2023. № 17. pp. 67–72.
9. Cheng J., Xu M. Experimental Research of Integrated Compressed Air Foam System of Fixed (ICAF) for Liquid Fuel // Eng. 2016. № 71. pp. 44–56.

**REFERENCES**

1. Gaifullin V. V. Properties of air-mechanical foam affecting the fire-extinguishing efficiency of foam // Actual problems and trends of technosphere safety in the oil and gas industry : proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Ufa, December 15, 2021 / Ministry of Science and Education of the Russian Federation, Ufa State Petroleum Technical University. Ufa : UGNTU Publishing House, 2021. pp. 76–78.

2. Factors determining the tactical potential of fire and rescue garrison units in the conditions of extremely low temperatures / M. V. Aleshkov et al. // *Pozharovzryvozryvobezopasnost*. 2016. T. 25, № 12. pp. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.12.61-68>.

3. Dvoenko O. V. Experience in researching the performance of fire-rescue equipment in low temperatures // *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2017. № 3. pp. 28–37.

4. Gumirov A. S., Shulpinov A. A. Measuring complex for determining the cooling intensity of fire extinguishing agents // *Problems of technosphere safety: Proceedings of the International scientific and practical conference of young scientists and specialists*. 2020. № 9. pp. 106–110.

5. Investigation of the parameters of the compression foam cooling intensity at the supply by the pumping-sleeve systems under the conditions of low temperatures / M. V. Aleshkov et al. // *Technosphere safety technologies*. 2021. № 2 (92). pp. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.8-19>.

6. Kamlyuk A. N., Grachulin A. V. Features of application of foam generating systems with compressed air for fire extinguishing // *Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus*. 2018. T. 2, № 2. pp. 168–175.

7. Gumirov A. S. Experimental studies of compression foam cooling during its supply at different ambient temperature conditions // *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2021. № 4. pp. 40–44.

8. Lou M., Jia H., Lin Z. Study on fire extinguishing performance of different foam extinguishing agents in diesel pool fire // *Results in Engineering*. 2023. № 17. pp. 67–72.

9. Cheng J., Xu M. Experimental Research of Integrated Compressed Air Foam System of Fixed (ICAF) for Liquid Fuel // *Eng*. 2016. № 71. pp. 44–56.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алешков Михаил Владимирович**, д-р техн. наук, проф., заместитель начальника Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); РИНЦ ID: 766510; ORCID: 0000-0002-4217-6739, 0000-0001-7844-1955; e-mail: [aleshkov.m@mail.ru](mailto:aleshkov.m@mail.ru)

**Гумиров Андрей Сергеевич**, старший научный сотрудник центра организации научных исследований и научной информации Академии ГПС МЧС России (129366, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4); РИНЦ ID: 1052288; ORCID: 0000-0001-8550-5179; e-mail: [romb55cool2014@yandex.ru](mailto:romb55cool2014@yandex.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Mikhail V. Aleshkov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Deputy Head of the Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (4 Boris Galushkin St., Moscow, 129366,

Russian Federation); RSC ID: 766510; ORCID: 0000-0002-4217-6739, 0000-0001-7844-1955; e-mail: aleskov.m@mail.ru

**Andrei S. Gumirov**, Senior Researcher, Center for Organization of Scientific Research and Scientific Information Academy of Emergency Situations Ministry of Emergency Situations of Russia (4 Boris Galushkin St., Moscow, 129366, Russian Federation); RSC ID: 1052288; ORCID: 0000-0001-8550-5179; e-mail: romb55cool2014@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.05.2025

Одобрено после рецензирования 10.05.2025

Принята к публикации 15.06.2025

УДК 502.45

## **ВЫЯВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ АЗИАТСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ, ГДЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЙ В 1961–2024 ГГ. ИХ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ МЕСЯЦЕВ ПОЖАРООПАСНОГО СЕЗОНА БЛИЗКИ К КОНСЕРВАТИВНЫМ**

Холопцев Александр Вадимович, Шубкин Роман Геннадьевич, Коваль Юлия Николаевна  
Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Российская Федерация

**Аннотация.** Совершенствование методик оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов изменений характеристик пожароопасности по условиям погоды на различных участках азиатской территории России является актуальной проблемой безопасности при чрезвычайных ситуациях. Существующий подход к ее решению состоит в определении таких оценок по предысториям изучаемых характеристик, что вполне справедливо, если сценарии их изменений на рассматриваемых участках близки к консервативному сценарию («что было, то и будет»). Целью работы является определение участков азиатской территории России, где сценарии изменений такой характеристики пожароопасности, как среднемесячные температуры приземного слоя атмосферы, для месяцев пожароопасного сезона наиболее близки к консервативному сценарию. Принято допущение о том, что на любых участках азиатской территории России сценарий изменений этой характеристики в будущем останется таким же, каким он был в прошлом. Основываясь на нем, для каждого месяца пожароопасного сезона среди различных ее участков были определены те, на которых в период 1961–2024 гг. сценарий изменения изучаемой характеристики был близок к консервативному сценарию. При этом для каждого ее участка как мера близости изучаемых сценариев оценена устойчивость коэффициента взаимной корреляции межгодовых изменений упомянутых температур для месяцев, отличающихся на 1–3 месяца, к сдвигу начала отрезков времени, для которого оценены его значения. Для каждого месяца пожароопасного сезона были установлены участки азиатской территории России, для которых сценарий изменений рассматриваемых температур в указанный период действительно был наиболее близок к консервативному сценарию. Выявлены также многочисленные ее участки, где рассматриваемое предположение допустимым не является, вследствие чего основанные на нем оценки оправдываемости прогнозов пожароопасности ошибочны.

**Ключевые слова:** азиатская территория России, пожароопасность по условиям погоды, среднемесячные температуры воздуха, фактический сценарий, консервативный сценарий, мера близости

**Для цитирования:** Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Коваль Ю. Н. Выявление участков азиатской территории России, где сценарии изменений в 1961–2024 гг. их термического режима для месяцев пожароопасного сезона близки к консервативным // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 81–97.

# IDENTIFICATION OF AREAS OF THE ASIAN TERRITORY OF RUSSIA WHERE SCENARIOS FOR CHANGES IN THEIR THERMAL REGIME IN 1961–2024 FOR THE MONTHS OF THE FIRE-HAZARDOUS SEASON ARE CLOSE TO CONSERVATIVE

Alexander V. Kholoptsev, Roman G. Shubkin, Yulia N. Koval  
Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

**Abstract.** Improving the methods for assessing the validity of long-term forecasts of changes in fire hazard characteristics based on weather conditions in various areas of the Asian part of Russia is a pressing issue of safety in emergency situations. The existing approach to its solution consists of determining such estimates based on the prehistories of the characteristics being studied, which is quite fair if the scenarios for their changes in the areas under consideration are close to the conservative scenario ("what was, will be"). The purpose of the work is to determine areas of the Asian territory of Russia where scenarios of changes in such a fire hazard characteristic as average monthly temperatures of the atmospheric surface layer for months of the fire-hazardous season are closest to the conservative scenario. It is assumed that in any areas of the Asian territory of Russia the scenario of changes in this characteristic in the future will remain the same as it was in the past. Based on it, for each month of the fire-hazardous season, among its various areas, those are determined for which in the period 1961-2024 the scenario of changes in the studied characteristic was close to the conservative scenario. At the same time, for each of its areas, as a measure of the closeness of the studied scenarios, the stability of the mutual correlation coefficient of interannual changes in the mentioned temperatures for months differing by 1–3 months to the shift in the beginning of the time intervals for which its values is estimated. For each month of the fire-hazardous season, areas of the Asian territory of Russia are identified for which the scenario of changes in the considered temperatures in the specified period really was closest to the conservative scenario. Numerous areas are also identified where the assumption under consideration is not permissible, as a result of which the estimates of the correctness of fire hazard forecasts based on it are erroneous.

**Keywords:** Asian territory of Russia, fire hazard by weather conditions, average monthly air temperatures, actual scenario, conservative scenario, proximity measure

**For Citation:** Kholoptsev A. V. V., Shubkin R. G., Koval Yu. N. Identification of areas of the Asian territory of Russia where scenarios for changes in their thermal regime in 1961–2024 for the months of the fire-hazardous season are close to conservative // *Technospheric Safety*. 2025. № 2 (47). pp. 81–97.

## Введение

Оправдываемость долгосрочных прогнозов пожароопасности по условиям погоды (далее — ОПП) является одной из ин-

формативных характеристик их качества. Точность ее оценки во многом определяет реалистичность планов деятельности подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России, которые раз-

рабатываются ими с учетом таких прогнозов. В связи с чем совершенствование методик нахождения ОПП для различных регионов нашей страны является актуальной проблемой безопасности при ЧС.

Крайне важно решить рассматриваемую проблему для регионов, на территориях которых ландшафтные пожары происходят наиболее часто, нанося значительный ущерб их населению и экономике. В России к ним

относятся республики Саха (Якутия) и Бурятия, Красноярский край, а также Иркутская область, расположенные на азиатской части ее территории (далее — АТР) [1, 2, 3, 4].

Зависимости количества ландшафтных пожаров (далее — КЛП) от времени для территорий упомянутых субъектов РФ, согласно сведениям, полученным от Информационной системы дистанционного мониторинга (далее — ИСДМ), показаны на рис. 1.

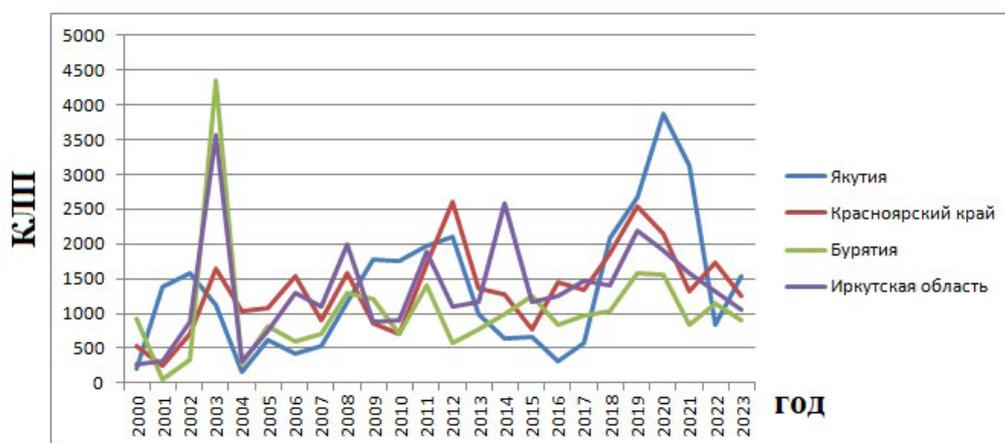


Рис. 1. Зависимости КЛП от времени на территориях упомянутых регионов России по сведениям ИСДМ  
Fig. 1. Time dependences of the KLP in the territories of the mentioned regions of Russia, according to ISDM

Как видно из рис. 1, зависимости КЛП от времени, соответствующие перечисленным регионам России, представляют собой сложные колебания [5]. Значения КЛП на них в некоторые годы различаются более чем на порядок, что существенно усложняет планирование деятельности противопожарных подразделений. Учет при таком планировании прогнозов КЛП на предстоящий год позволил бы существенно повысить эффективность профилактики и ликвидации пожаров при условии, что оправдываемость подобных прогнозов оказалась бы удовлетворительной.

Существующий подход к оценке ОПП природных процессов основан на использо-

вании для этого полученных ранее результатов их мониторинга либо ретроспективного анализа [6, 7, 8, 9].

Такой подход вполне адекватен, если сценарий, по которому изменяются состояния изучаемых процессов, является инерционным («что было, то и будет») [10, 11, 12, 13, 14]. Частным случаем инерционного сценария является консервативный сценарий, при котором в будущем по отношению к прошлому неизменными остаются значения коэффициента взаимной корреляции изучаемого процесса и его факторов [13].

Несмотря на то что при заблаговременности прогнозов от 30 суток и более сценарии изменения характеристик многих

гидрометеорологических процессов в той или иной мере отличаются от консервативного сценария, во многих случаях эти отличия не слишком велики, а подобные оценки оправдываемости прогнозов близки к ее реальным значениям [14].

Вполне достоверные оценки ОПП по предысториям (80–85 %) получены для такого процесса, как изменение характеристик ледяного покрова Арктики [9]. Такой же подход применяется и при оценке качества ОПП некоторых метеорологических элементов, разрабатываемых ГГО им А. И. Воейкова [15] и Гидрометцентром РФ [6, 16].

Именно он применяется и при оценке характеристик пожароопасности на АТР [14], где сценарии изменений этих характеристик близки к консервативному сценарию. В результате последнего получаемые по предыстории изучаемого процесса оценки ОПП его долгосрочных прогнозов совпадают с ее фактическими значениями не повсеместно, а планы некоторых противопожарных подразделений, основанные на таких прогнозах, не всегда оказываются реалистичными.

Одной из основных характеристик пожароопасности по условиям погоды на многих участках АТР является среднемесячная температура воздуха приземного слоя атмосферы (далее — СТВ), которая во многом определяет интенсивность испарения влаги из образующегося на них горючего материала [17]. Ее значения могут быть определены по результатам как мониторинга, так и атмосферных реанализов [18].

Тем не менее ранее не были определены участки АТР, где в какие-либо месяцы пожароопасного сезона сценарий изменений СТВ в период потепления климата был в какой-то мере близок к консервативному сценарию, хотя их выявление представляло бы

не только теоретический, но и практический интерес.

С учетом вышеперечисленного целью настоящей работы является выявление на АТР подобных участков для каждого месяца пожароопасного сезона.

### **Фактический материал и методика исследования**

Для достижения указанной цели в качестве источника информации об изменчивости СТВ на АТР избран реанализ ERA-5 [22, 23], содержащий сведения о среднечасовых значениях температуры воздуха в приземном слое атмосферы над всеми ее пунктами, соответствующими узлам координатной сетки с шагом  $0,25^\circ$  для каждого часа в период с 00 часов 01.01.1961 по 23 часа 31.12.2024 гг.

Будущее не предопределено и неизвестно, тем не менее допустимо предположить, что на любых участках АТР сценарий изменений СТВ в будущем останется таким же, каким он был в прошлом. Если он в прошлом был консервативным, то и в будущем останется таким же, но если в прошлом консервативным не был, то и в будущем консервативным не станет.

При разработке методики исследования учитывалось, что при консервативном сценарии изменений СТВ значения коэффициента корреляции между различными отрезками временного ряда этого показателя могут зависеть от разности дат начала этих отрезков, но инвариантны ко времени начала каждого из них (процесс стационарен). Чем ближе сценарий рассматриваемого процесса к консервативному, тем меньше разность максимального и минимального значений коэффициента корреляции отрезков временного ряда изучаемого процесса,

начинающихся в различные даты. Чем больше их среднее значение, тем связи между этими отрезками сильнее. Поэтому как информативный показатель близости факти-

ческого сценария развития изучаемого процесса к консервативному сценарию может рассматриваться значение  $\chi$ , вычисляемое по формуле:

$$X = ABS ((max (K_{1,2}) + min (K_{1,2})) / (max (K_{1,2}) - min (K_{1,2}))), \quad (1)$$

где  $K_{1,2}$  — коэффициент парной корреляции отрезков временных рядов СТВ, соответствующих двум различным месяцам длиной 30 членов (соответствующих периодам времени длиной 30 лет), начала которых лежат в интервале от 1961 до 1995 г. (всего таких отрезков 35);

$max()$  и  $min()$  — операторы нахождения максимального и минимального  $K_{1,2}$  среди значений этого коэффициента, соответствующих всем упомянутым отрезкам;

$ABS()$  — оператор нахождения абсолютной величины своего аргумента.

Очевидно, что чем ближе фактический сценарий изменений СТВ на некотором участке АТР к консервативному сценарию, тем значение  $\chi$  больше.

При разработке методики исследования учитывалось, что к пожароопасному сезону на АТР относятся месяцы с апреля по октябрь. В связи с чем для каждого из указанных месяцев значения  $\chi$  вычислены по отношению к месяцам того же сезона, опережающим его по времени на 1–12 месяцев.

Чтобы достичь цели исследования, для каждого месяца пожароопасного сезона были определены все участки АТР, соответствующие тем или иным квадратам координатной сетки реанализа ERA-5, где значения  $\chi$  превосходят тот или иной пороговый уровень. Последний выбирался в диапазоне от 2 до 10.

С учетом расположения каждого из выявленных участков определялась также

часть общей площади АТР, где значения  $\chi$  превосходят тот или иной рассматриваемый пороговый уровень.

Нетрудно заметить, что справедливость принятого допущения можно проверить лишь после того, как рассматриваемое будущее станет прошлым. Как показывает такая проверка по предыстории, для абсолютного большинства участков АТР при разности времен, соответствующих началам рассматриваемых отрезков, составляющей 1–5 месяцев, оно справедливо. Вместе с тем даже в этих случаях находятся единичные участки, где принятое допущение ошибочно. При увеличении значений этой разности свыше 3 месяцев количество участков, где упомянутое допущение ошибочно, существенно возрастает.

Поэтому результаты, полученные с применением изложенной методики, следует рассматривать как носящие качественный характер.

### Результаты исследования и их анализ

С применением изложенной методики выявлены все участки АТР, где значения  $\chi$ , соответствующие тем или иным месяцам пожароопасного сезона и сдвигу между ними на 1–12 месяцев, превосходят тот или иной пороговый уровень.

В качестве примера на рис. 2 приведены зависимости части площади АТР, со-

ответствующей месяцам июль – октябрь, где значения  $\chi$  превышают тот или иной уровень.

Как видно из рис. 2, площадь части АТР, на которой  $\chi$  превышают тот или иной уровень, для любых месяцев являются монотонно убывающими функциями значений этого уровня и сдвига по времени между сопоставляемыми месяцами.

Наибольшие значения этого показателя для любого месяца соответствуют значению упомянутого сдвига на 1 месяц.

По мере увеличения сдвига по времени между сопоставляемыми месяцами площадь части АТР, на которой  $\chi$  превышают тот или иной уровень, монотонно уменьшается.

При сдвигах на 12 месяцев участков рассматриваемой части АТР для какого-либо месяца не выявлено.

При сдвиге на 1 месяц наибольшее значение части площади АТР, при  $\chi$ , лежащих в диапазоне от 2 до 10, максимально для пары месяцев июль – август и минимально для месяцев июнь – июль.

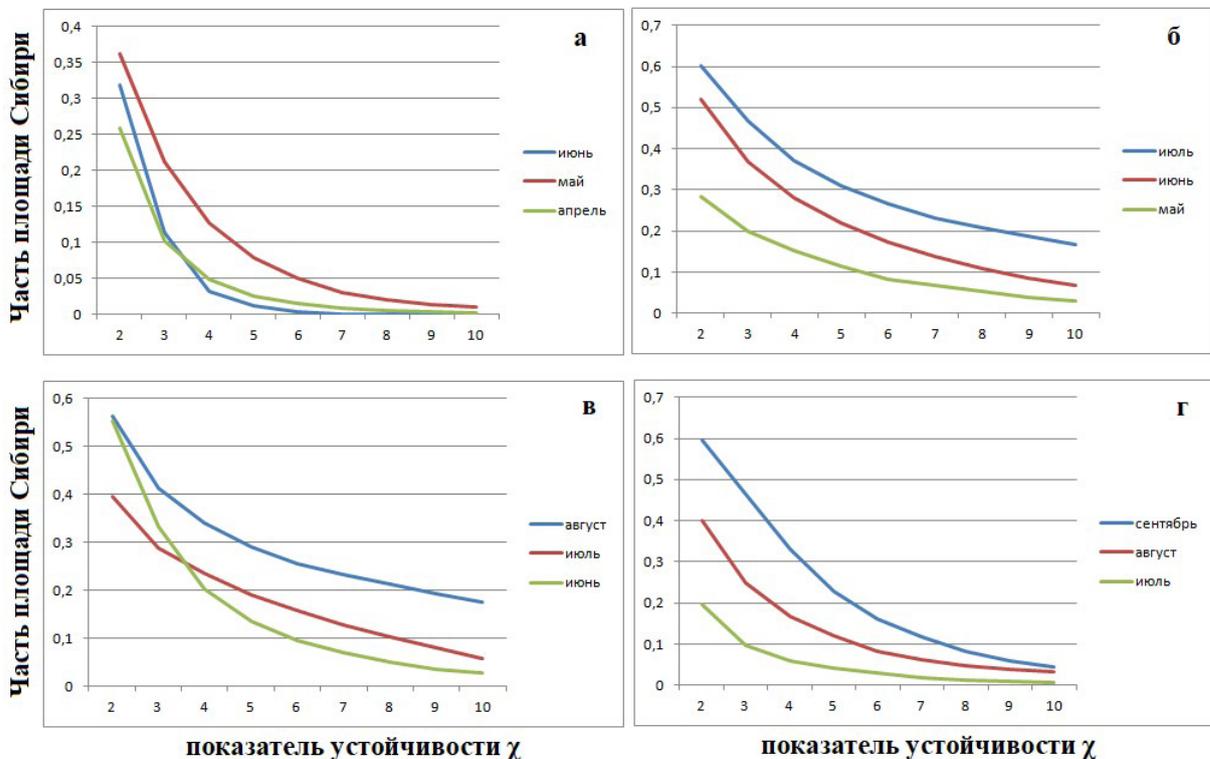


Рис. 2. Зависимость части площади территории АТР, где значения  $\chi$  превышают тот или иной пороговый уровень, для указанных месяцев, а также для месяцев: а – июль; б – август; в – сентябрь; г – октябрь

Fig. 2. Dependence of the part of the area of the Asia-Pacific region, where the  $\chi$  values exceed a certain threshold level, for the specified months, as well as for the months: a – july; b – august; c – september; d – october

Из этого следует, что оценка ОПП прогноза СТВ по предыстории этого процесса с заблаговременностью единицы месяцев для многих участков АТР может быть близка

к фактическому значению этой характеристики, однако для прогнозов с заблаговременностью 12 месяцев и более ее смещение может являться существенным.

На рис. 3 показаны участки АТР и прилегающих к ней акваторий Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень и соответствуют июлю, а также месяцам с апреля по июнь. На нем (и далее) обозначены территории: 1 — Ненецкого ав-

тономного округа; 2 — республики Коми; 3 — Ямало-Ненецкого автономного округа; 4 — Ханты-Мансийского автономного округа; 5 — Свердловской области; 6 — Челябинской области; 7 — Курганской области; 8 — Тюменской области; 9 — Омской области; 10 — Новосибирской области; 11 — Томской

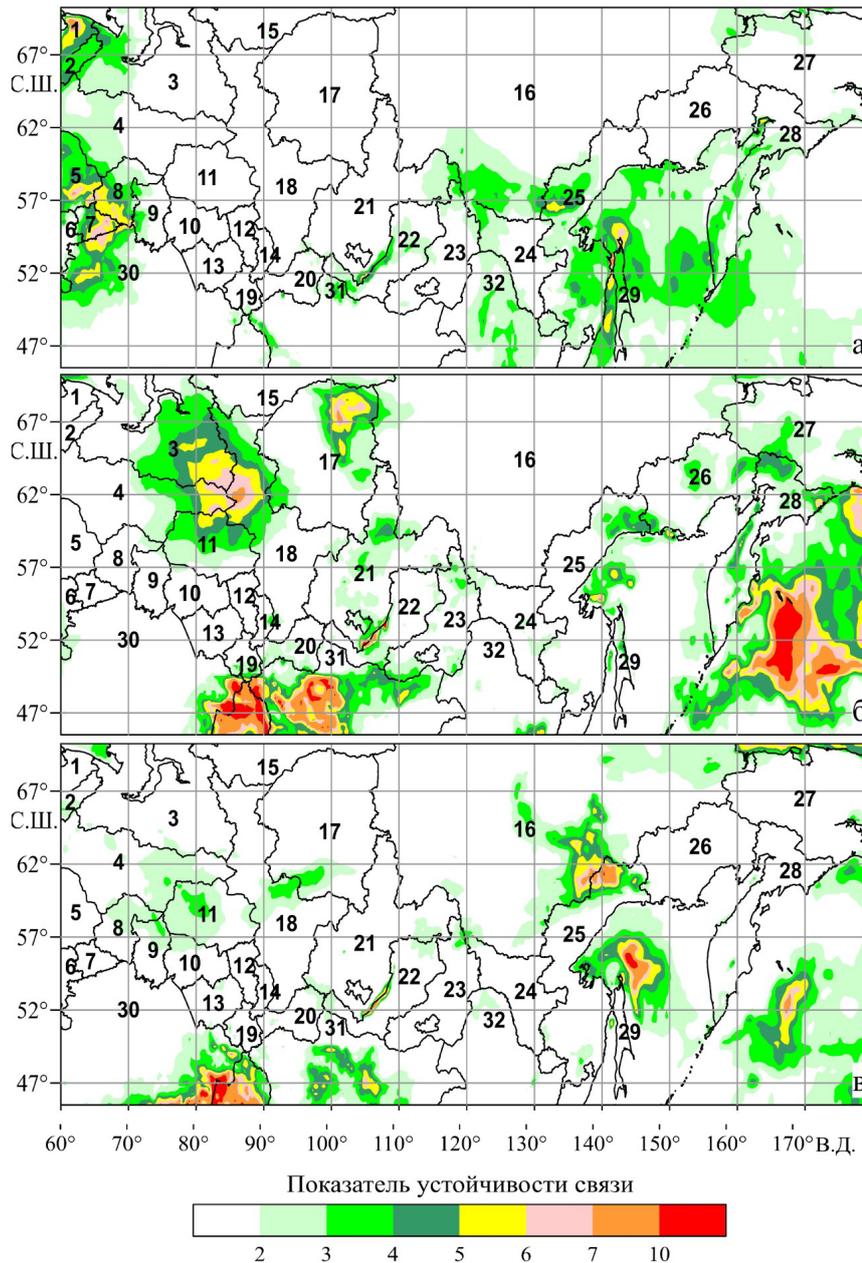


Рис. 3. Участки АТР и прилегающих к ней акваторий Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для месяцев: а — июль – июнь; б — июль – май; в — июль – апрель

Fig. 3. Areas of the Asia-Pacific region and adjacent waters of the World Ocean where the values of the  $\chi$  index, estimated for the period 1993–2023, exceed one or another level for the months: а — july – june; б — july – may; в — july – april

области; 12 — Кемеровской области; 13 — Алтайского края; 14 — республики Хакасия; 15 — Таймырского (Долгано-Ненецкого) района Красноярского края; 16 — республики Саха (Якутия); 17 — Эвенкийского района Красноярского края; 18 — прочих районов того же края; 19 — республики Алтай; 20 — республики Тыва; 21 — Иркутской области; 22 — республики Бурятия; 23 — Забайкальского края; 24 — Амурской области; 25 — Хабаровского края; 26 — Магаданской области; 27 — Чукотского автономного округа; 28 — Камчатского края; 29 — Сахалинской области; 30 — Казахстана; 31 — Монголии; 32 — Китайской Народной Республики.

Как следует из рис. 3а, значения  $\chi$  для пары месяцев июль – июнь превышают уровень 7 лишь на территории Ненецкого автономного округа. Уровень 4 превышает также на участках территории республики Коми, Ямало-Ненецкого автономного округа, Свердловской, Курганской, Тюменской областей, Хабаровского и Камчатского края.

Рис. 3б показывает, что для месяцев июль – май значения  $\chi$  превосходят уровень 7 лишь на ряде участков территории Туруханского района Красноярского края. Значения того же показателя превосходят уровень 4 также на территориях Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, Эвенкийского района Красноярского края, Томской и Иркутской областей, Хабаровского и Камчатского края. При этом на акватории Тихого океана и Берингова моря, а также на территориях Казахстана, Китая и Монголии существуют участки, для которых  $\chi > 10$ .

На рис. 3в видно, что для месяцев июль – апрель значения  $\chi$  выше тех же уровней лишь для некоторых районов Хабаровского края и республики Саха (Якутия). На аквато-

рии Охотского моря, а также на территориях Казахстана и Китая существуют участки, для которых  $\chi > 10$ .

На рис. 4 отображены участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для пар месяцев август – июль, август – июнь и август – май.

Как видно из рис. 4а, участки АТР, где значения  $\chi$  для пары месяцев август – июль превышают уровень 10, выявлены на территориях Чукотского автономного округа, республик Алтай, Бурятия и Тыва, Забайкальского края, а также Сахалинской области. Аналогичные участки обнаружены на территориях Казахстана, Китая и Монголии, а также на акваториях Тихого океана и его морей у берегов России.

Значениями того же показателя уровень 4 превышает на некоторых территориях Ханты-Мансийского автономного района, Свердловской, Челябинской, Курганской, Магаданской областей, а также республики Саха (Якутия), Красноярского и Камчатского края.

Рис. 4б свидетельствует о том, что для месяцев август – июнь значения  $\chi$  превосходят уровень 10 на некоторых участках АТР, относящихся к Чукотскому автономному округу, Камчатскому и Забайкальскому краю. Такие же участки обнаружены на территориях Монголии и на акваториях Тихого океана и его морей у берегов России.

Участки АТР, где  $\chi$  превосходит уровень 4, для тех же месяцев располагаются на территории республики Саха (Якутия), Красноярского, Алтайского, Хабаровского, Камчатского края и Кемеровской области. Такие же значения  $\chi$  соответствуют территориям многих районов севера Китая.

Рис. 4в позволяет установить, что для месяцев август – май значения  $\chi$  превосходят уровень 10 лишь на территориях Чукотского автономного округа и Камчатского края. Аналогичные превышения зафиксированы также на акваториях Пенжинской губы

Охотского моря, а также Тихого океана и Берингова моря вблизи Командорских островов.

Уровень 4 превышает также на территориях республики Саха (Якутия), Сахалинской и Иркутской областей. Такие же значения  $\chi$

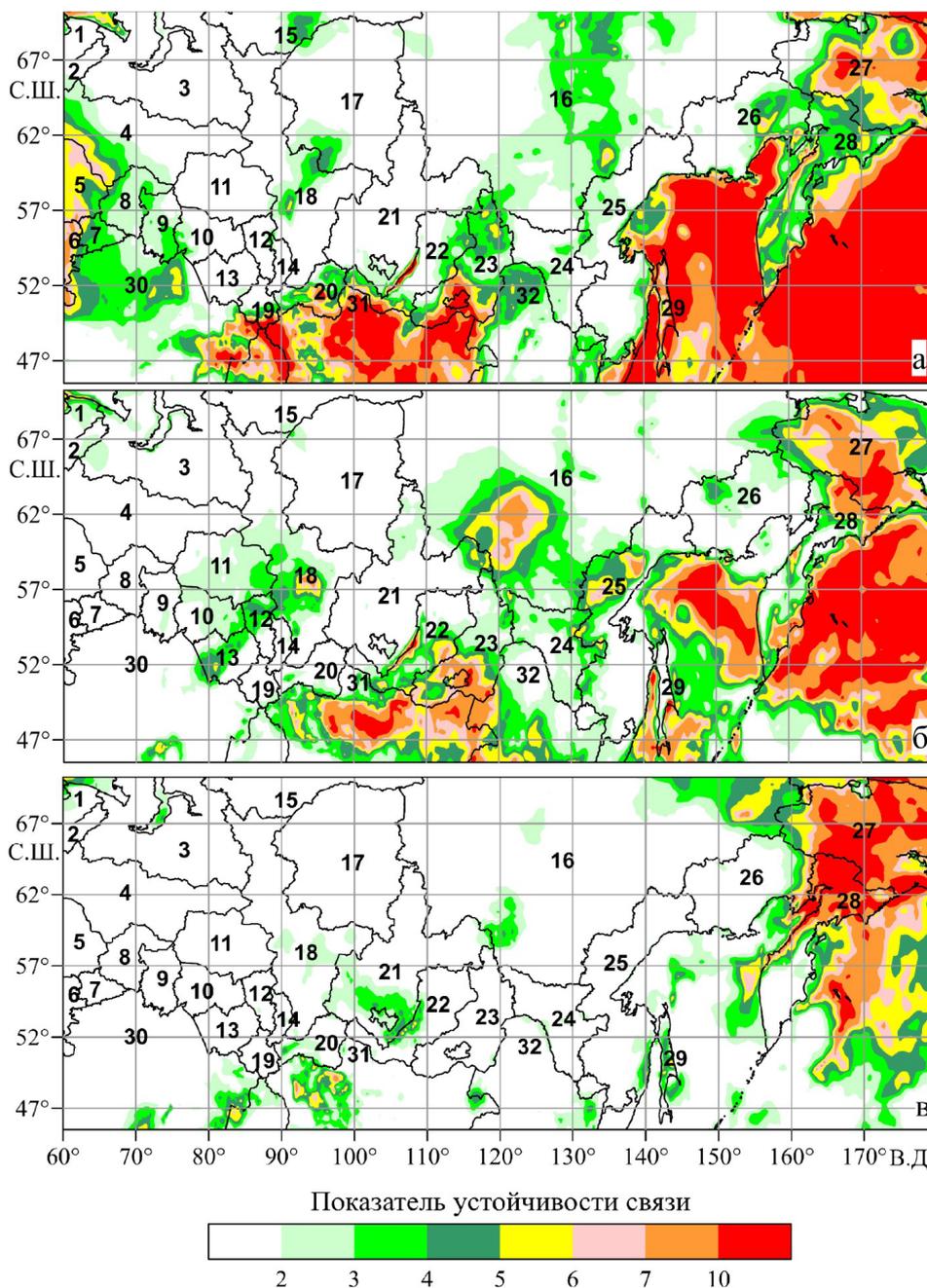


Рис. 4. Участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для месяцев: а – август – июль; б – август – июнь; в – август – май

Fig. 4. Areas of the Asia-Pacific region and adjacent waters of the World Ocean where the values of the  $\chi$  index, estimated for the period 1993–2023, exceed one or another level for the months: а – august – july; б – august – june; в – august – may

выявлены на некоторых участках территорий Казахстана, Монголии и Китая.

На рис. 5 отображены участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для пар месяцев сентябрь – август, сентябрь – июль и сентябрь – июнь.

Из рис. 5а следует, что для месяцев сентябрь – август значения  $\chi$  превосходят уровень 10 лишь на территориях АТР, принадлежащих Чукотскому автономному округу, Камчатскому краю и Сахалинской области. Такие же оценки значений  $\chi$  получены для многих участков акватории Тихого океана, Берингова, Охотского и Японского морей.

Участки АТР, где значения  $\chi$  превышают уровень 4, находятся в пределах Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского автономных округов, республики Коми, Свердловской, Магаданской областей, республик Саха (Якутия), Тыва, Бурятия и Забайкальского края. Участки с такими же значениями  $\chi$  выявлены также на территориях Монголии, Казахстана и Китая.

Рис. 5б позволяет заключить, что участки АТР, где для месяцев сентябрь – июль значения  $\chi$  превосходят уровень 10, находятся лишь в пределах Сахалинской области. Такие же оценки значений  $\chi$  получены для многих участков акватории Тихого океана, Берингова, Охотского и Японского морей, а также на территории Монголии.

Участки АТР, где значения  $\chi$  превышают уровень 4, находятся в пределах Красноярского, Забайкальского и Камчатского края, республик Саха (Якутия), Тыва, Бурятия, Кемеровской и Амурской области. Аналогичные участки обнаружены на территориях Казахстана и Китая.

Из рис. 5в видно, что для месяцев сентябрь – июль участки АТР, где значения  $\chi$  превосходят уровень 10, находятся лишь в пределах территорий Иркутской области и республики Бурятия. Аналогичные оценки значений  $\chi$  определены для многих участков акватории Тихого океана, Японского и Берингова морей, а также территорий Китая и Монголии.

Значения  $\chi$  для многих участков территории Красноярского, Забайкальского и Алтайского края, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, республик Алтай и Тыва, а также Новосибирской и Сахалинской областей превышают уровень 4.

Этот же уровень превосходят значения  $\chi$  для многих участков территории Казахстана.

Участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для пар месяцев октябрь – сентябрь, октябрь – август и октябрь – июль, показаны на рис. 6.

Из рис. 6а следует, что для месяцев октябрь – сентябрь значения  $\chi$  превосходят уровень 10 лишь на территориях АТР, принадлежащих Чукотскому автономному округу, Камчатскому и Красноярскому краю (Туруханский, Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский районы). Аналогичные оценки значений  $\chi$  соответствуют некоторым участкам акватории Тихого океана, Берингова и Охотского морей, а также территории Казахстана.

Значения  $\chi$ , превосходящие уровень 4, выявлены на участках территорий Ямало-Ненецкого автономного округа, Магаданской области и республики Саха (Якутия).

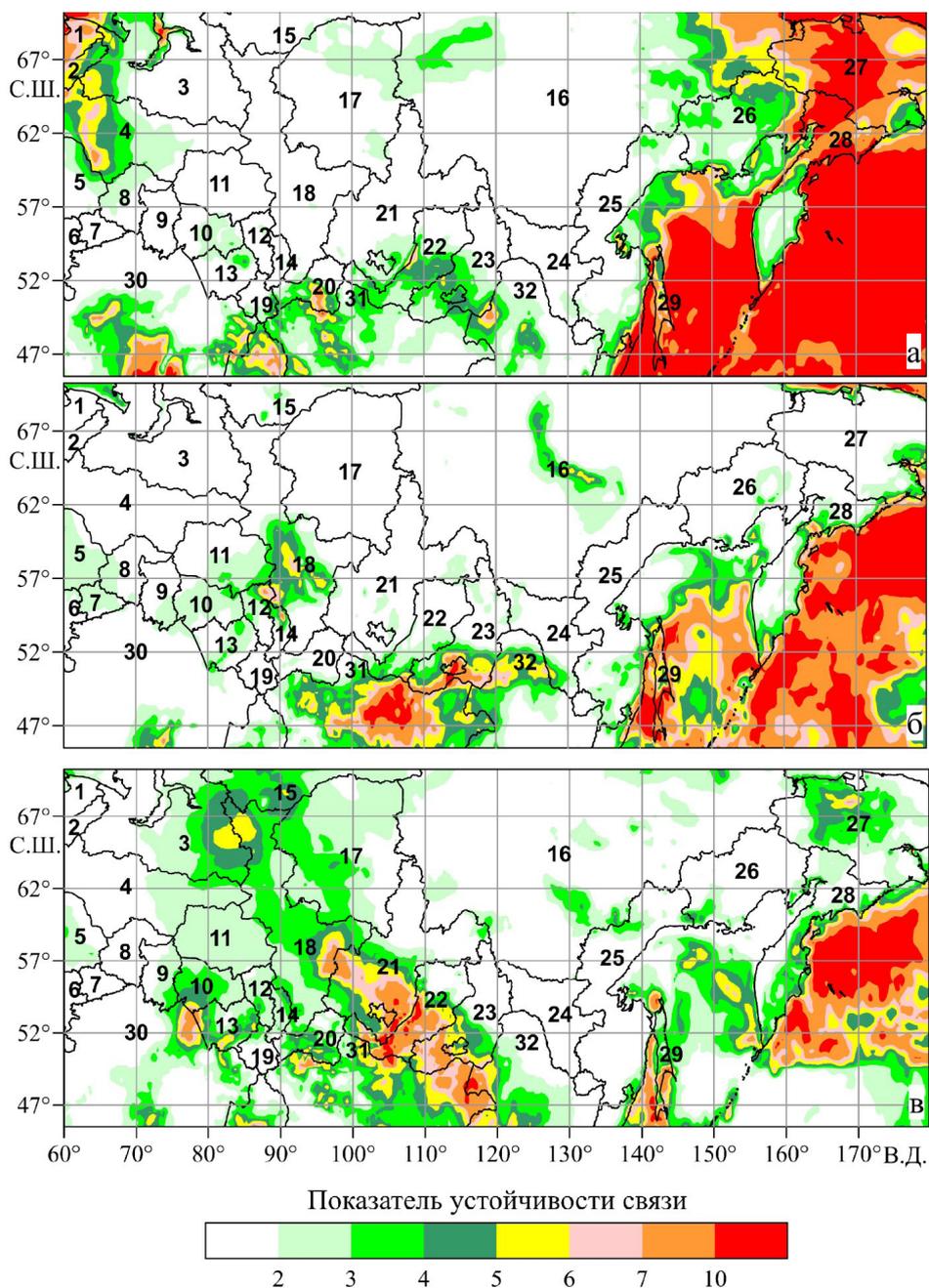


Рис. 5. Участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для месяцев:  
*a* – сентябрь – август; *b* – сентябрь – июль; *c* – сентябрь – июнь

Fig. 5. Areas of the Asian territory of Russia and adjacent waters of the World Ocean, where the values of the  $\chi$  indicator, estimated for the period 1993–2023, exceed one or another level for the months:  
*a* – september – august; *b* – september – july; *c* – september – june

Как видно из рис. 6б, для месяцев октябрь – август значения  $\chi$ , превосходящие уровень 10, выявлены лишь на территории Чукотского автономного округа, а также на акваториях Тихого океана и Берингова моря.

Участки АТР, где значения  $\chi$  для тех же месяцев превосходят уровень 4, выявлены также на участках территорий Магаданской области, Камчатского края, а также Эвенкийского района Красноярского края.

Рис. 6в свидетельствует о том, что для месяцев октябрь – июль не выявлены участки АТР, где  $\chi$  превышает 10. Такие участки обнаружены лишь на акватории Тихого океана и Берингова моря. Максимальное значение  $\chi > 6$  выявлено на территории Магаданской области. Значения  $\chi > 4$  соответствуют некоторым участкам территории Эвенкийского района Красноярского края.

Как следует из рис. 3–6, участки АТР, где  $\chi > 10$ , наиболее часто встречаются и имеют максимальную общую площадь в Чукотском автономном округе. Участки, которым соответствуют  $\chi > 4$ , чаще обнаруживаются на территориях Якутии, Красноярского и Камчатского края, а также Казахстана, Китая и Монголии. На всех указанных участках корреляционные свойства межгодовых изменений СТВ позволяют рассматривать их сценарий как близкий к консервативному, а также оценивать оправдываемость их долгосрочных прогнозов с заблаговременностью 1–3 месяца по соответствующим предысториям.

Вместе с тем очевидно, что часть общей площади АТР, приходящейся на такие участки, невелика. Меньше всего их на территориях Амурской, Омской, Новосибирской, Тюменской, Томской и Челябинской областей, республик Хакасия, Алтай, Тыва. Относительно небольшую часть всех площадей региона в любые месяцы пожароопасного сезона выявленные участки занимают и на территории Иркутской области. Вследствие этого разработка подходов к оценке качества долгосрочных прогнозов СТВ, а значит, и пожароопасности по условиям погоды, позволяющих оценивать их оправдываемость для таких участков, где  $\chi < 4$ , представляется актуальной.

## Результаты и их обсуждение

Как следует из полученных результатов, они подтверждают справедливость подхода к оценке качества долгосрочных прогнозов СТВ для многих пунктов АТР и для различных месяцев пожароопасного сезона, основанного на определении их оправдываемости по соответствующим предысториям. Вместе с тем некоторые установленные факты обладают существенной научной новизной и включают в себя следующее.

1. Межгодовые изменения СТВ на многих участках АТР для некоторых месяцев пожароопасного сезона фактически происходят по сценарию, при котором будущее не является подобным прошлому, вследствие чего оценки оправдываемости их прогнозов могут значительно отличаться от фактических значений этих показателей.
2. Значения показателя  $\chi$ , характеризующего устойчивость статистических связей межгодовых изменений СТВ к году начала отрезка времени, для которого оценивается их характеристика, для любого пункта АТР определяются не только его расположением, но и выбором месяцев для рассмотрения этих процессов. Чем больше интервал времени между ними, тем, как правило, значения  $\chi$  выше.

Полученные результаты позволяют предположить, что условия, при которых ОПП некоторого показателя пожароопасности по условиям погоды для определенной местности может быть корректно оценена по предыстории его изменений, зависят от методики разработки этих прогнозов и перечня учитываемых при этом факторов. Поэтому целесообразно не только оцени-

вать их оправдываемость, но и определять участки земной поверхности, для которых эти оценки являются корректными. Для про-

чих участков земной поверхности оценки ОПП по предысториям изучаемых процессов следует рассматривать как смещенные.

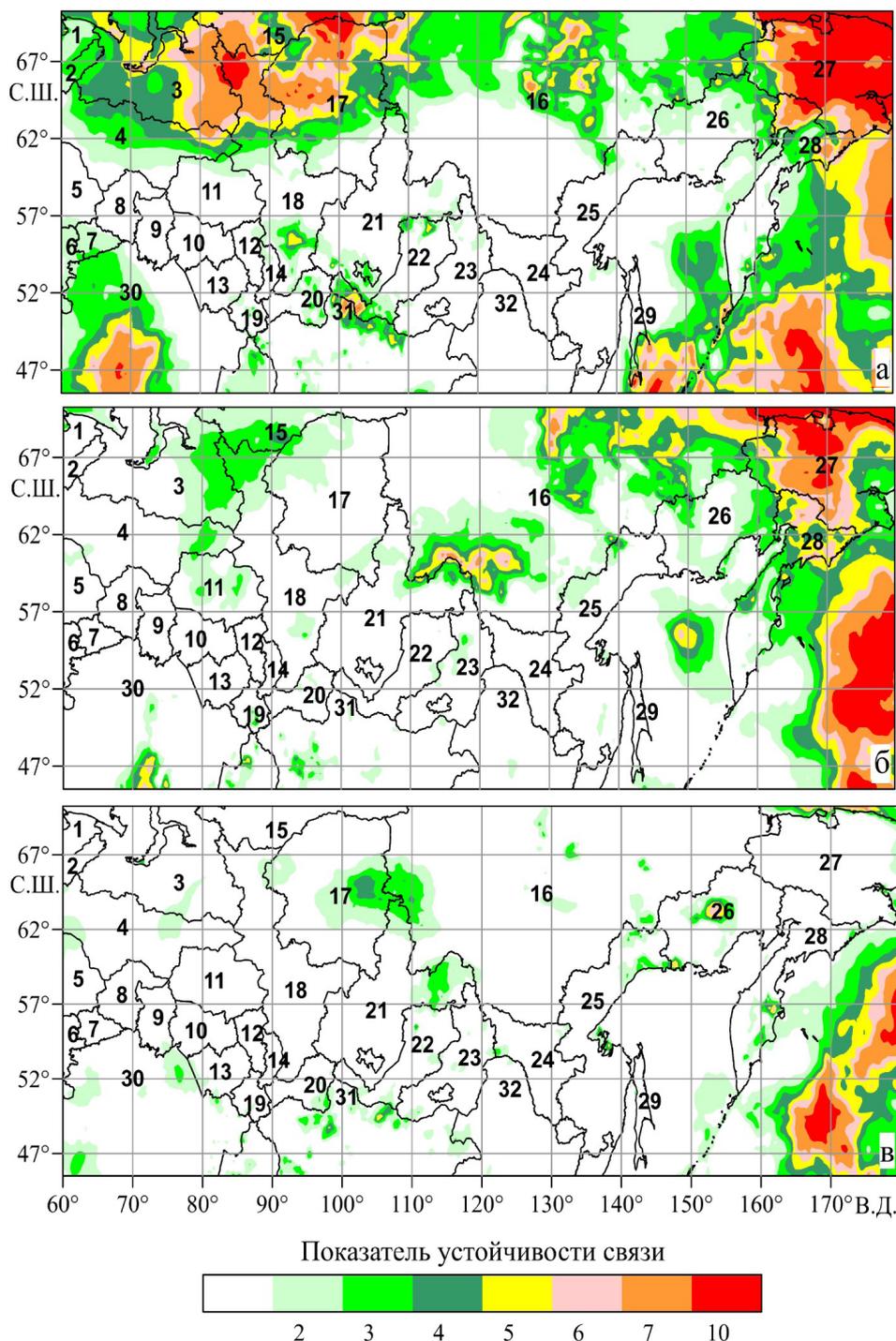


Рис. 6. Участки АТР и прилегающие к ней акватории Мирового океана, где значения показателя  $\chi$ , оцененные за период 1993–2023 гг., превышают тот или иной уровень для месяцев: а — октябрь – сентябрь; б — октябрь – август; в — октябрь – июль

Fig. 6. Areas of the Asian territory of Russia and adjacent waters of the World Ocean, where the values of the  $\chi$  indicator, estimated for the period 1993–2023, exceed one or another level for the months: а — october – september; б — october – august; в — october – july

### Выводы

Таким образом, установлено следующее.

1. На Азиатской территории России существуют многочисленные участки, для которых оправдываемость долгосрочных прогнозов межгодовых изменений среднемесячных температур приземного слоя атмосферы, соответствующих какому-либо месяцу пожароопасного

сезона, может быть оценена по предыстории этого процесса.

2. Существуют также ее участки, для которых статические свойства изучаемых процессов в прошлом существенно изменялись, что не дает оснований предполагать, что оценка оправдываемости их прогнозов по предыстории совпадет с ее фактическим значением (полученным после того, как соответствующее будущее стало прошлым).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири / Э. Н. Валендик [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 3. С. 73–86.
2. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
3. Мозырев Н. К., Корнишин В. А., Кошкарров В. С. Пожарная безопасность лесов // Вестник современных исследований. 2019. № 2–1 (29). С. 60–63.
4. Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири / Г. А. Иванова [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6–16.
5. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства // Федеральное агентство лесного хозяйства : сайт. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (дата обращения: 06.02.2025).
6. Технологии динамико-статистических долгосрочных метеорологических прогнозов: современное состояние и перспективы // Северо-Евразийский Климатический Центр : сайт. URL: <http://seakc-old.meteoinfo.ru/training/206-2011-02-20-07-18-08> (дата обращения: 06.02.2025).
7. Vitart F., 2008: Coupling issues in monthly forecasting, — ECMWF Workshop on Ocean-Atmosphere Interactions, 10–12 November 2008 сайт. URL: [http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/\\_pdf/workshop/2008/Atmos\\_Ocean\\_Interaction/Vitart.pdf](http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/_pdf/workshop/2008/Atmos_Ocean_Interaction/Vitart.pdf) (дата обращения: 16.06.2025).
8. Оценки успешности прогнозов сезонных аномалий метеорологических полей для модели SL-AV в эксперименте SMIP-2 / Д. Б. Киктев [и др.] // Метеорология и гидрология. 2006. № 6. С. 16–26.
9. Современное состояние и перспективы исследований ледяного покрова морей Российской Арктики / Е. У. Миронов [и др.] // Российская Арктика. 2020. № 3 (10). С. 13–30.
10. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов / Е. У. Миронов [и др.] // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40–53. DOI: <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53>.

11. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики. Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 66–79.
12. Мохов И. И. Особенности современных изменений климата в Арктике и их последствий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66, № 4. С. 446–462. DOI: <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>.
13. Холопцев А. В., Никифорова М. П. Солнечная активность и повторяемость атмосферной циркуляции меридионального южного типа // ScienceRise. 2015. Т. 4, № 1 (9). С. 35–40.
14. Тенденции изменений рисков опасных природных явлений российской Арктики, на примере лесной зоны Восточной Сибири / А. В. Холопцев [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 43–55.
15. Гидродинамико-статистический долгосрочный прогноз метеорологических полей по модели ГГО. 2. Результаты оперативных испытаний и перспективы улучшения прогностической схемы / В. П. Мелешко [и др.] // Метеорология и гидрология. 2002. № 10. С. 5–17.
16. Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России / Р. М. Вильфанд [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 12–36
17. Дорпер Г. А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск : изд-во СО РАН, 2008. 404 с.
18. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations / L. Hoffmann et al. // *Atm. Chem. Phys.* 2019. Vol. 19. pp. 3097–3124.
19. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present // *climate.copernicus* : сайт. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=download> (дата обращения: 16.06.2025).

## REFERENCES

1. Landscape fires of the taiga of Central Siberia / E. N. Valendik et al. // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical.* 2014. № 3. pp. 73–86.
2. Vorobyov Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Forest fires in Russia: State and problems / under the general editorship of Yu. L. Vorobyov. M. : DEX-PRESS, 2004. 312 p.
3. Mozyrev N. K., Kornishin V. A., Koshkarov V. S. Fire safety of forests // *Bulletin of modern research.* 2019. № 2–1 (29). pp. 60–63.
4. Forest fires and the causes of their occurrence in Central Siberia / G. A. Ivanova et al. // *Siberian Forest Journal.* 2023. № 6. pp. 6–16.
5. Remote Monitoring Information System of the Federal Forestry Agency // Federal Forestry Agency : website. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (date of application: 06.02.2025).
6. Technologies of dynamic and statistical long-term meteorological forecasts: current state and prospects // North Eurasian Climate Center : website. URL: <http://seakc-old.meteoinfo.ru/training/206-2011-02-20-07-18-08> (date of application: 06.02.2025).
7. Vitart F., 2008: Problems of interconnection in monthly forecasting, — ECMWF Workshop on Ocean-Atmosphere Interaction, November 10–12, 2008. Website. URL: <http://www.ecmwf.int/>

publications/library/ecpublications/\_pdf/workshop/2008/Atmos\_Ocean\_Interaction/Vitart.pdf (date of application: 06.02.2025).

8. The experience of using the seasonal autonomous method for modeling SL-AV in the SMIP-2 experiment / D. B. Kiklov et al. // Mathematics and Computer Science. philosophy. 2006. № 6. pp. 16–26.

9. The current state and prospects of research on the ice cover of the seas of the Russian Arctic / E. U. Mironov et al. // The Russian Arctic. 2020. № 3 (10). pp. 13–30

10. Features of ice processes in the autumn period of 2021 in the seas of the Russian Arctic and assessment of the feasibility of ice forecasts / E. U. Mironov et al. // The Russian Arctic. 2021. № 15. pp. 40–53. DOI: <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53>.

11. Kattsov V. M., Porfiriev B. N. Climatic changes in the Arctic: consequences for the environment and the economy. The Arctic: ecology and economics. 2012. № 2 (6). pp. 66–79.

12. Mokhov I. I. Features of modern climate changes in the Arctic and their consequences // Problems of the Arctic and Antarctic. 2020. Vol. 66, № 4. pp. 446–462. DOI: <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>.

13. Kholoptsev A. V., Nikiforova M. P. Solar activity and the repeatability of atmospheric circulation of the southern meridional type // ScienceRise. 2015. Vol. 4, № 1 (9). pp. 35–40.

14. Trends in changes in the risks of dangerous natural phenomena in the Russian Arctic, using the example of the forest zone of Eastern Siberia / A. V. Kholoptsev et al. // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2022. № 4 (27). pp. 43–55.

15. Hydrodynamic and statistical complex for metrological purposes. 2. Research on operational research and experiments in the application of predictive chemistry / V. P. Melenko et al. // Mathematics and Hydrology. 2002. № 10. pp. 5–17.

16. Long-term meteorological forecasts at the Hydrometeorological Center of Russia / R. M. Vilfand et al. // Hydrometeorological research and forecasts. 2019. № 4 (374). pp. 12–36.

17. Dorrer G. A. Dynamics of forest fires. Novosibirsk : Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 404 p.

18. From ERA-Interim to ERA5: significant impact of next-generation ECMWF reanalysis on Lagrangian transport modeling / L. Hoffmann et al. // Atm. Chem. Physics. 2019. Vol. 19. pp. 3097–3124.

19. The database analyzes ERA5 hourly data on atmospheric pressure levels from 1979 to the present // climate.copernicus : website. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=download> (date of application: 06.02.2025).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Холопцев Александр Вадимович**, д-р геогр. наук, доц., профессор Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Российская Федерация, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 467295; ORCID: 0000-0002-8293-0062; e-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)

**Шубкин Роман Геннадьевич**, доцент кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Российская

Федерация, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

**Коваль Юлия Николаевна**, канд. биол. наук, доц., заведующий кафедрой химии и процессов горения Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Российская Федерация, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 686373; ORCID: 0000-0001-5482-6439; e-mail: a\_yulya@inbox.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander V. Kholoptsev**, Dr. Sci. (Geographic), Associate Professor, Professor of Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (1 Severnaya St., Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation); RINC ID: 467295; ORCID: 0000-0002-8293-0062; e-mail: kholoptsev@mail.ru

**Roman G. Shubkin**, Associate Professor Department of Engineering and Technical Expertise and Forensic Science of Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (1 Severnaya St., Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation); RINC ID: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

**Yulia N. Koval**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Combustion Processes Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire and Rescue Service of EMERCOM of Russia (1 Severnaya St., Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation); RINC ID: 686373; ORCID: 0000-0001-5482-6439; e-mail: a\_yulya@inbox.ru

Поступила в редакцию 06.02.2025  
Одобрено после рецензирования 20.02.2025  
Принята к публикации 15.06.2025

УДК 504.06, 519.216.3

## БАЙЕСОВСКОЕ СЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Чикир Мария Васильевна

Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших система и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье предложен байесовский сетевой подход к моделированию природно-технологических аварий на железной дороге. Изучен комплекс природных и организационных факторов, влияющих на величину риска возникновения аварий при железнодорожном транспортировании. Моделирование проведено в программном комплексе GeNIe для машинного обучения на основе байесовских сетей. Структура модели определена путем объединения экспертных знаний с реальными сведениями об авариях на железной дороге. Были выполнены такие процессы, как детальный анализ причин аварии на железной дороге из-за наводнения (цветовая визуализация зависимостей между параметрами и их ранжирование) и прогнозирование подобных происшествий. Статистические данные, используемые в исследовании, были предварительно подготовлены в среде разработки Python. Тестирование модели реализовано на примере весеннего паводка 2024 г. реки Урал в городе Орске. Результаты расчета показали, что природно-климатические факторы могут вызывать серьезные сбои в работе железнодорожного транспорта, а также создавать условия для развития каскадных аварий в процессе перевозки опасных грузов. Разработанная модель может применяться в планировании и в качестве научной вероятностной основы для управления транспортными системами в случае неопределенных сценариев природного характера.

**Ключевые слова:** вероятность, железнодорожное транспортирование, сеть Байеса, неопределенность, природный фактор

**Для цитирования:** Чикир М. В. Байесовское сетевое прогнозирование природных рисков на железной дороге // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 98–110.

## BAYESIAN NETWORK PREDICTING NATURAL RISKS ON THE RAILWAY

Maria V. Chikir

Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems and Machines", Ural Branch, RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** The article proposes a Bayesian network approach to modeling natural and technological accidents on the railway. The complex of natural and organizational factors influencing the risk magnitude of railway transportation is studied. The modeling in a specialized software package GeNIe for machine learning based on Bayesian networks is carried out. The structure of the

model is determined by combining expert knowledge with real information about accidents on the railway. The following processes are performed: detailed analysis of the causes of a railway accident due to flooding (color visualization of dependencies between parameters and their ranking) and similar accidents are predicted. The statistical data used in the study were prepared in the Python development environment. The model was tested using the example of the spring flood of 2024 on the Ural River in the town of Orsk. The calculation results showed that natural and climatic factors can cause serious disruptions in the operation of railway transport, as well as create conditions for the development of cascading accidents during the transportation of dangerous goods. The developed model can be used in planning and as a scientific probabilistic basis for managing transport systems in the event of uncertain natural scenarios.

**Keywords:** probability, railway transportation, Bayesian network, uncertainty, natural factor

**For Citation:** Chikir M. V. Bayesian network predicting natural risks on the railway // *Technosphere Safety*. 2025. № 2 (47). pp. 98–110.

## Введение

По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата при ООН, экстремальные климатические события являются серьезной угрозой и будут случаться все чаще, приводя к нарушению работы различных инфраструктур. В настоящее время масштабы стихийных бедствий значительно превышают возможности человека по ликвидации их последствий.

Железная дорога является важнейшей частью городских транспортных систем и играет значительную роль в экономике страны. Выход ее из строя приводит к смещению поставок грузов и последующим убыткам, расходам на восстановление инфраструктуры, гибели людей и нанесению вреда окружающей среде. Природные аномалии могут приводить к более серьезным последствиям на железной дороге, чем обычные технологические аварии, т. к. происходит блокировка или полное разрушение линий жизнеобеспечения (инженерные

сети, трубопроводы, дорожно-транспортная инфраструктура), что серьезно ограничивает проведение аварийно-спасательных работ и усугубляет тяжесть последствий. Кроме того, перемещение опасных грузов по территории городских агломераций увеличивает риск перехода обычных аварий в разряд каскадных.

Так, из-за урагана «Милтон» в октябре 2024 г. было приостановлено движение всех грузовых и пассажирских поездов из-за повышенной опасности: значительная часть путей была затоплена, смыта или завалена деревьями. Весной 2011 г. крупнейшее цунами в Японии нанесло значительный ущерб железнодорожной инфраструктуре. Водной стихией было разрушено около 1 тыс. ЛЭП, 5 станций, 100 опор мостов. В результате большую часть железных дорог северо-востока страны пришлось строить заново. В 2004 г. произошла крупнейшая авария в Перали (Шри-Ланка). Цунами, вызванное землетрясением, уничтожило всю прибрежную линию железнодорожных путей и смы-

ло переполненный пассажирский поезд. Жертвами стали более 1,5 тыс. чел.

Природные риски не поддаются управлению, их можно только анализировать и оценивать количественно. По сравнению с другими видами средств передвижения железнодорожный транспорт больше всего подвержен такому виду риска, т. к. является менее гибким в пространственном отношении [1, 7]. Меры по борьбе с воздействием климата разрабатываются в глобальном масштабе и могут быть бесполезны на региональном и местном уровнях, поскольку не учитывают социально-экономические возможности, ограниченность ресурсов, географические и климатические особенности конкретной территории. При этом ситуация может усугубиться под воздействием таких факторов, как халатное отношение персонала и износ оборудования.

Проблеме влияния природы на функционирование инженерных систем посвящено множество исследований. Останкович и др. [2] провели анализ рисков экстремальных температур и снегопадов для оценки состояния железнодорожной сети Нидерландов. Alabbad и др. [3] провели пространственный анализ объектов железнодорожной инфраструктуры (сортировочные станции, мосты и переезды) во время сезонных паводков в штате Айова. Стружкова и др. [4] исследовали влияние вечной мерзлоты на функционирование железнодорожной сети. Зависимость работоспособности персонала железной дороги Сербии от погодных условий изучалась в [5]. Последствиями природных аварий на железной дороге и результатами исследований подтверждается важность оценки рисков и разработки мероприятий для противостояния стихийным бедствиям, осо-

бенно для регионов, подверженных экстремальным погодным условиям.

Первой частью представленного в статье исследования являлось изучение комплекса причин железнодорожной аварии. Результатом стало применение гибридной сети Байеса для оценки риска аварии на железной дороге (159 причин-переменных) [6], являющейся обобщенным вариантом модели железнодорожной аварии. В настоящей работе акцент сделан на группе природных факторов аварии.

### **Теоретические основы**

#### **Влияние климата на функционирование железной дороги**

Железнодорожное движение — сложная динамичная система, безопасность которой зависит от многомерного воздействия факторов различной природы, таких как люди, транспортные средства, дороги и окружающая среда. Важно четко понимать особенности этой связи и учитывать их при оценке рисков.

Из всех элементов железной дороги железнодорожный путь сильнее всего подвержен влиянию внешних факторов. Табл. 1 содержит перечень возможных воздействий. Самыми распространенными метеорологическими факторами являются температура воздуха и атмосферные осадки (снегопады, обильные дожди, гололед и др.).

В настоящем исследовании акцент сделан на наводнениях, т. к. по повторяемости, площади распространения и суммарному материальному ущербу наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий в России [8].

Масштаб наводнений зависит от множества факторов природного и организа-

**Таблица 1**  
**Природные явления и их последствия для железной дороги**  
 Table 1  
 Natural phenomena and their consequences for railway

<p><b>Геологические</b>          Geological          Повреждение/разрушение путей, насыпей и откосов, падение ЛЭП/деревьев и др., блокировка железнодорожных станций          Damage/destruction of railway tracks, embankments and slopes, falling power lines/trees, etc., blocking of railway stations</p>
<p><b>Геофизические</b>          Geophysical          Повреждение/разрушение железнодорожного пути          Damage/destruction of railway tracks</p>
<p><b>Метеорологические</b>          Meteorological          Деформация (коробление) железнодорожных путей, провисание воздушных линий, перегрев/сбой электроники, пожары на откосах и отказ оборудования, ограничение скорости, сокращение срока эксплуатации оборудования, потребность в охлаждении оборудования, повреждение контактных сетей, скачки напряжения, поломки устройств сигнализации, централизации, блокировки, падение ЛЭП/деревьев и др., замораживание, обледенение, повышение хрупкости рельсов, обмерзание стрелочных переводов, блокировка железнодорожных станций, скопление снега вдоль путей          Deformation and warping of railway tracks, sagging of power lines, overheating/electronic failures, fires on slopes, equipment failure, speed limitation, shortening of equipment life, the need for cooling equipment, damage to contact networks, power surges, breakdowns of alarm devices, centralization, blocking, falling of power lines/ trees, etc., freezing, icing, increased fragility of rails, freezing of switches, blocking of railway stations, accumulation of snow along railway tracks</p>
<p><b>Гидрологические</b>          Hydrological          Затопление, повреждение железнодорожной насыпи и склона, размыв опор мостов, путей, контактных сетей, проникновение воды в подземные сооружения, туннели, затопление прибрежной инфраструктуры          Inundation, damage to railway embankment and slope, erosion of bridge supports, railway tracks, contact networks, water penetration into underground structures, tunnels, flooding of coastal infrastructure</p>
<p><b>Природные пожары</b>          Wildfires          Тепловое воздействие на все металлические, горючие элементы железнодорожного оборудования          Thermal effects on all metal, combustible elements of railway equipment</p>

ционного характера (табл. 2). Кроме того, необходимо учитывать их синергетический эффект, т. к. в сочетании друг с другом они повышают риск возникновения аварии.

Стоит отметить, что основной причиной возникновения технологических аварий чаще

всего является человеческий фактор. Однако при оценке рисков важно учитывать особенности конкретного объекта или территории, т. к. в регионах, подверженных природно-климатическому воздействию, природный фактор будет иметь превалирующее значение.

**Таблица 2**  
**Возможные факторы наводнений**  
 Table 2  
 Possible flood factors

<b>Природно-климатические</b> Natural and climatic	<b>Неклиматические (организационные)</b> Non-climatic (organizational)
<p>Количество осадков за зиму, запас воды в снежном покрове и температурный режим перед началом весеннего таяния, увлажнение почвы осенью, интенсивность снеготаяния, рельеф русла реки, уклон рек, ландшафт местности (лесополосы, степная или лесистая почва с подстилкой), наличие сужений в русле реки, наличие препятствий по течению, воздействие землетрясений, обвалов, оползней, повышение уровня грунтовых вод, глубокое промерзание грунта, запасы снега, его быстрое таяние, рельеф местности</p> <p>The amount of the winter precipitation, the water supply in the snow cover, the temperature condition before the start of spring melting, soil moisture in autumn, the snowmelt intensity, the terrain of the riverbed, the slope of rivers, the landscape of the area (forest belts, steppe or wooded soil with underlays), the presence of constrictions in the riverbed, the presence of obstacles to the flow, the earthquake impact, landslides, landslides, rising groundwater levels, deep freezing of the soil, snow reserves and its rapid melting, terrain</p>	<p>Уровень воды в створе плотины, рабочее состояние гидротехнических сооружений, расстояние от плотины, недостаточность сбросов воды, конструкторские ошибки при проектировании, некачественное обслуживание, уменьшение пропускной способности реки в районе мостов, сужений, застройка в пойме рек, потери в результате ведения хозяйственной деятельности, развития экономики, городское планирование</p> <p>The water level in the dam site, the technical condition of hydraulic structures, the distance from the dam, insufficient water discharges, design errors, poor-quality construction and maintenance, reduction of river capacity in the area of bridges, narrows, buildings in the floodplain, losses as a result of business activities, economic development, urban planning</p>

### Доступность данных

В работе используется методология байесовской сети для решения проблемы неопределенности в оценке рисков наводнений. С байесовской точки зрения вероятность позволяет измерить неопределенность параметров модели, а теорема Байеса — механизм правильного обновления этих вероятностей при поступлении новых данных, уменьшающий существующую неопределенность. Байесовский подход делает возможным объединение частотных данных со знаниями предметной области. Числовые значения вероятностей могут извлекаться из баз данных, опираться на экспертное заключение или определяться комбинацией вышеперечисленного.

Эксперты отмечают серьезные проблемы в сборе статистической информации о состоянии железных дорог из-за воздействия климата [3, 7–9]. Это обусловлено:

- сложностью метеорологических наблюдений, слабой изученностью водного режима рек, отсутствием гидрологических постов наблюдения, особенно на региональном и местном уровнях;
- отсутствием четкого алгоритма отчетности железнодорожных аварий;
- умышленным искажением информации ответственными лицами во избежание ответственности;
- противоречивостью или неточностью сведений из разных источников.

Кроме того, регистрация железнодорожных аварий как результата воздействия

наводнений не ведется нигде. Поэтому в настоящей работе объединены два набора статистических данных по наводнениям и авариям на железной дороге для построения двух взаимосвязанных сетей Байеса. Первая сеть предназначена для расчета вероятности возникновения аварии в результате наводнения. Результаты ее расчета частично используются в качестве входных данных для запуска второй сети, устанавливающей тип вероятной железнодорожной аварии и величину возможного ущерба.

### **Построение модели и статистический вывод**

Первый набор данных содержит более 200 тыс. записей о последствиях прошлых наводнений по 50 признакам. Второй набор данных включает более 100 тыс. записей о железнодорожных авариях за рубежом по 160 параметрам с 1975 по 2022 г. Эти исходные данные были обработаны в среде разработки Python: очищены от пропусков, недопустимых символьных и нулевых значений, дубликатов; все количественные характеристики были переведены в систему СИ, часть из них категоризованы для удобства построения моделей. После выполнения исследовательского анализа данных из всех регистрируемых параметров было выделено лишь несколько.

Данные о наводнениях включают 19 признаков (из 50): дренаж рельефа, дренажные системы, управление реками, обезлесение, урбанизация, изменение климата, качество плотин, заиливание, вторжения, эффективная готовность к стихийным бедствиям, уязвимость прибрежных районов, оползни, ухудшение инфраструктуры, потеря водно-болотных угодий, неадекватное пла-

нирование, политические факторы, вероятность аварии.

Данные о железнодорожных авариях включают 18 признаков (из 160): месяц аварии, тип аварии, опасные вагоны, эвакуированные люди, видимость, погодные условия, тип трассы, общий тоннаж, сошедшие с рельсов груженные грузовые вагоны, сошедшие с рельсов груженные пассажирские вагоны, стоимость повреждения пути.

Отформатированные данные были импортированы в программный комплекс GeNie. Столбцы в файлах данных соответствуют переменным (будущим узлам сети), а строки (записи) — различным значениям этих переменных. Непрерывные переменные дискретизированы. На основе знаний предметной области [4–5, 10–13] изучены причинно-следственные связи параметров модели и затем созданы базовые структуры сетей Байеса. Алгоритм жадного прорезывания использован в качестве основного алгоритма структурного обучения (на основе метода максимальной апостериорной вероятности).

В результате были получены две байесовские модели, включающие ряд факторов, описанных в табл. 1 и 2. Можно заметить, что климатические изменения влияют на вероятность возникновения аварии не напрямую, а косвенно: они существенны при плохой организации служб в случае аварии (рис. 1 и 2).

### **Оценка точности моделей**

Точность моделей оценивалась двумя способами. На основе первого набора данных о наводнениях был сгенерирован новый файл данных для проверки точности первой модели с 200 тыс. записями. Вторая

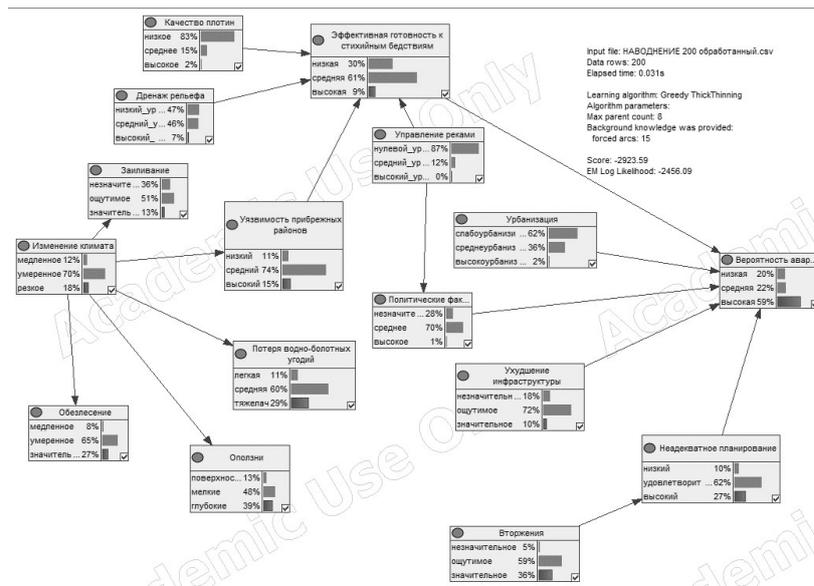


Рис. 1. Сеть Байеса для расчета вероятности аварии  
 Fig. 1. Bayes network for calculating the accident probability

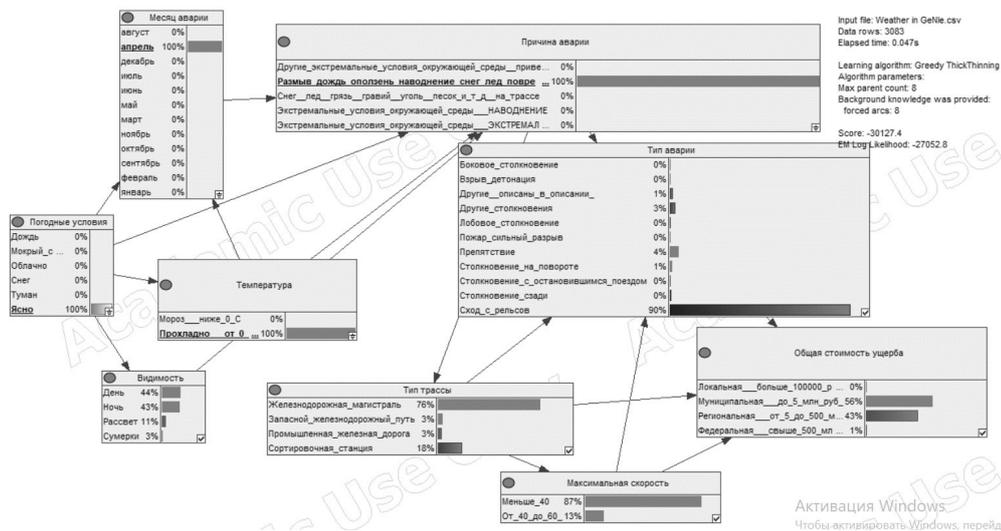


Рис. 2. Сеть Байеса для определения последствий железнодорожной аварии  
 Fig. 2. Bayes network for determining the consequences of a railway accident

модель оценивалась методом 10-кратной перекрестной валидации. В этом случае исходной набор данных о железнодорожных авариях был разделен на 10 равных частей. В обучении модели участвовали первые 9 частей, последняя, 10-я часть, использовалась как тестовая выборка. Визуально точность модели представлена в виде ROC-кривых с общей точностью для главных узлов сети 89 и 75 % соответственно (рис. 3).

### Результаты и их обсуждение

В апреле 2024 г. ряд регионов России оказался подвержен катастрофическому наводнению, вызванному весенним половодьем на реке Урал. Сильнее всего пострадал г. Орск Оренбургской области, для которого наводнение — явление довольно редкое. Частота наводнения здесь составляет 0,0145 раза в год. Последние случались

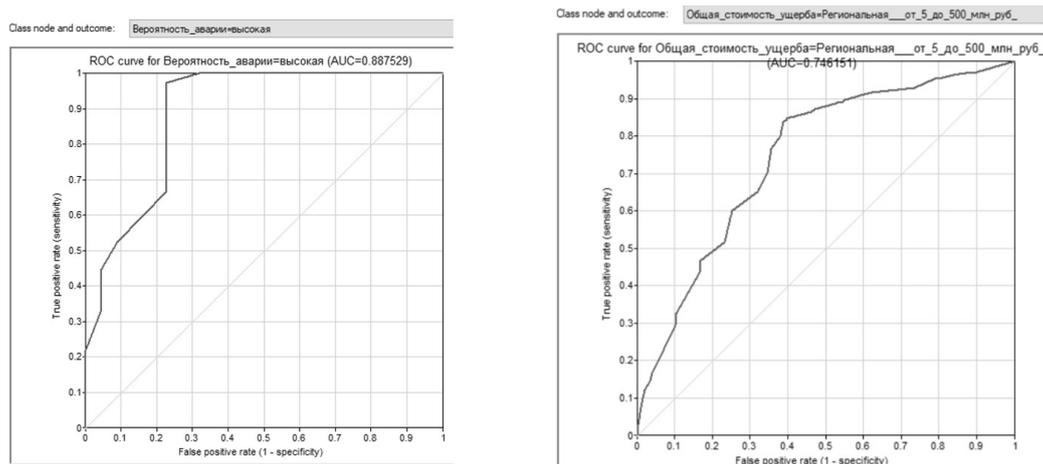


Рис. 3. ROC-кривые построенных моделей

Fig. 3. ROC-curves of the models

в 1922, 1942 и 1957 гг. В Орске в результате разрушения дамбы было затоплено около 6,6 тысяч жилых домов, дачных участков. Общий ущерб оценен более чем в 21 млрд руб. Наводнение привело к разрушению зданий и коммуникаций, гибели скота, размыву канализации, городских свалок, кладбищ и скотомогильников, что создало угрозу заражения питьевой воды и последующего заболевания людей. Это событие было выбрано для демонстрации расчетов полученных сетей Байеса.

Вероятностные модели были отредактированы для рассматриваемого случая. Расчет сетей показал новые апостериорные распределения вероятностей в узлах сетей. Далее анализировалось взаимное влияние их параметров.

Анализ чувствительности выявил «Готовность к стихийным бедствиям», «Уровень урбанизации», «Ухудшение инфраструктуры» в качестве ключевых факторов, влияющих на вероятность возникновения аварии на железной дороге. Это означает, что незначительные изменения окрашенных узлов оказывают существенное влияние на риск возникновения аварии (рис. 4).

Ранжирование факторов наводнения показало, что самыми критическими из них стали «Управление реками на нулевом уровне», «Низкое качество гидрозакщитных сооружений», «Ухудшение инфраструктуры». Если бы руководство города приняло во внимание указанные факторы, то удалось бы не допустить развитие весеннего паводка до ЧС федерального уровня. Список на рис. 5 составлен по мере уменьшения вклада каждого наблюдаемого фактора в развитие аварии и их возможные наблюдаемые состояния.

## Выводы

Разработанные сети являются лишь приближительной моделью для прогнозирования риска наводнений, т. к. построены на основе зарубежной статистики без учета расположения местности. В настоящее время накопленного научного материала недостаточно для создания более реальной модели наводнений в рассматриваемом регионе. Исследование необходимо продолжить в направлении сбора сведений, охватывающих более широкий диапазон

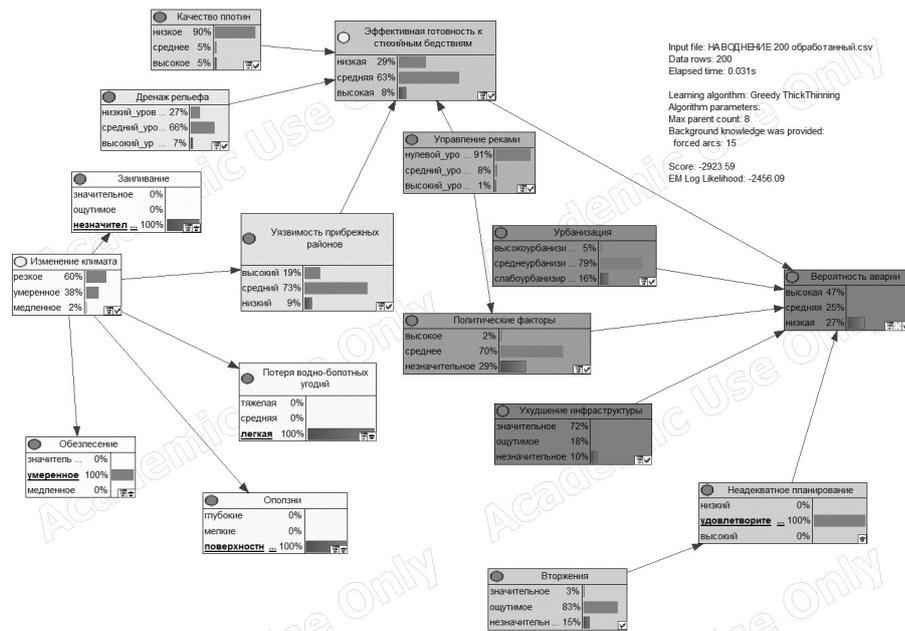


Рис. 4. Анализ чувствительности главного узла  
 Fig. 4. Sensitivity analysis of the main node

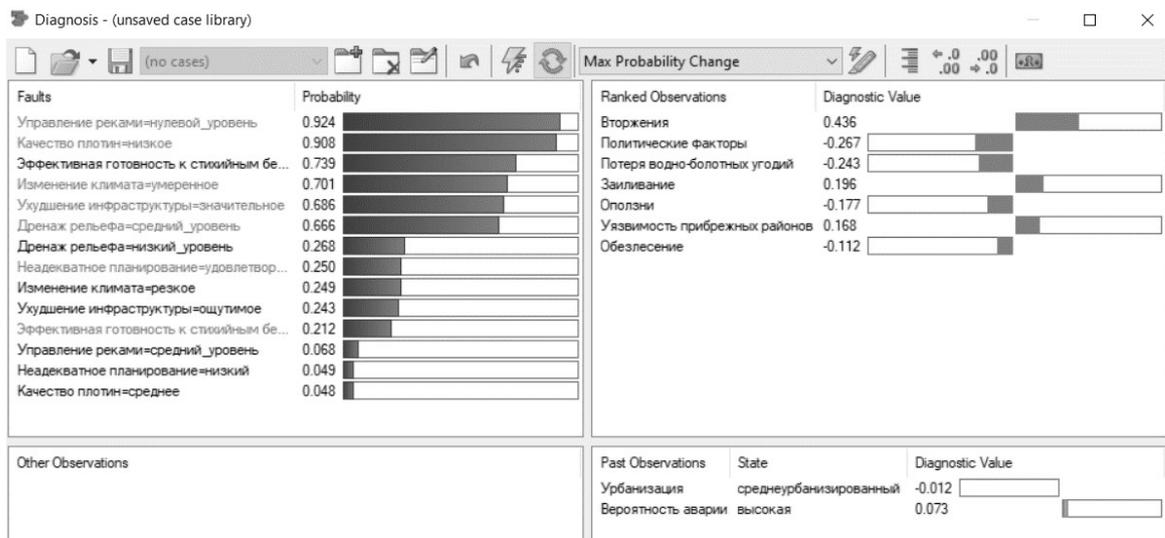


Рис. 5. Ранжирование причин наводнения  
 Fig. 5. Ranking of flood causes

климатических факторов, и создания базы данных по авариям на отечественных железных дорогах.

В дополнение к оценке факторов наводнения в Орске стоит отметить следующее.

- **Особенности реки Урал.** Река имеет наибольший размах водности среди европейских рек из-за неравномерности

стока: в многоводный год сток Урала может быть в 10 раз больше, чем в маловодный. Глубина реки небольшая, но из-за перепадов высот в истоке и устье реки скорость ее может достигать 10 км/ч.

- **Высокий темп урбанизации.** Массовая застройка жилыми и хозяйственными зданиями, дорогами в пойме реки при-

вело к сокращению естественной поймы в четыре раза.

В статье рассмотрены особенности природных аварий на железной дороге из-за наводнений в условиях изменения климата. Предложено использование двух тематических наборов данных (по наводнениям и по ж/д авариям). В результате созданы две байесовские сети для прогнозирования аварий на железной дороге в условиях наводнения.

На примере реального наводнения в г. Орске продемонстрирована эффективность использования байесовского подхода для всестороннего анализа железнодорожной аварии в результате наводнения, в т. ч. анализ чувствительности и ранжирование причин с цветовой визуализацией.

Предложенные вероятностные модели могут помочь в создании стратегий управления последствиями природных рисков на железной дороге, особенно в случаях транспортирования опасных грузов. Это мо-

жет стать решающим моментом в создании транспортной системы, более устойчивой к стихийным бедствиям.

Среди превентивных мероприятий для районов, подверженных наводнениям, следует выделить следующие:

- запрет на строительство и ведение хозяйственной деятельности на пойменных территориях и низменностях, которые представляют собой постоянно потенциально опасную зону для урбанистики;
- создание системы постоянного мониторинга для сбора климатических данных;
- учет влияния климатических изменений при проектировании и эксплуатации железной дороги;
- укрепление конструкции железнодорожных сетей для адаптации к изменяющимся климатическим условиям и минимизации ущерба будущих природных аварий.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Changnon, S. A. Impacts of the 2008 Floods on Railroads in Illinois and Adjacent States // Transactions of the Illinois State Academy of Science. 2009. Vol. 102. pp. 181–190. URL: <https://ilacadofsci.com/wp-content/uploads/2013/03/102-17MS2819-print.pdf> (date of application: 24.05.2025).
2. Risk assessment of climate change impacts on railway infrastructure / I. S. Oslakovic et al. // Proceedings – EPOC 2013 Conference. 2013. pp. 1–16.
3. Comprehensive Flood Risk Assessment for Railroad Network: Case Study for Iowa / A. B. Cikmaz et al. // Research Square. 2024. № 2. pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4171938/v1>.
4. Struchkova G. P., Kapitonova T. A., Levin A. I. Safety of Railway Transport Facilities Operating in Extreme Climatic Conditions // Advances in Engineering Research. 2019. № 188. pp. 328–332. DOI: <https://doi.org/10.2991/aviaent-19.2019.61>.

5. Analysis of impact of meteorological conditions on human factors in estimating the risk of railway accidents / D. Aleksic et al. // *Transport*. 2017. № 33 (5). pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1332684>.

6. Chikir M. V., Poluyan L. V. Bayesian Network Modeling for Analysis and Prediction of Accidents in Railway Transportation of Dangerous Goods // *Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2022*. 2023. № 2. pp. 554–563. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_53).

7. Gonzva M., Barroca B., Gautier P. E. A modeling of disruptions cascade effect within a rail transport system facing a flood hazard // *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars*. 2015. № 6 (3). pp. 53–60.

8. Махинов А. Н., Ким В. И., Воронов Б. А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // *Вестник ДВО РАН*. 2014. № 2. С. 5–14.

9. A Novel Approach for Modeling and Evaluating Road Operational Resilience Based on Pressure-State-Response Theory and Dynamic Bayesian Networks / Y. Gang et al. // *Applied Sciences*. 2023. № 13. pp. 1–33. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13137481>.

10. Quantitative assessment of risk due to NaTech scenarios caused by floods / G. Antonioni et al. // *Reliability Engineering and System Safety*. 2015. Vol. 142. pp. 334–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.05.020>.

11. Симонов В. В., Осадчий О. В. Природа возникновения наводнений, затоплений и характеристика их поражающих факторов // *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. 2014. № 1. С. 9–19.

12. Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas / V. Cozzani et al. // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2014. № 28. pp. 10–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.009>.

13. Khakzad N. Impact of wildfires on Canada’s oil sands facilities // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. № 18 (11). pp. 3153–3166. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3153-2018>.

## REFERENCES

1. Changnon, S. A. Impacts of the 2008 Floods on Railroads in Illinois and Adjacent States // *Transactions of the Illinois State Academy of Science*. 2009. Vol. 102. pp. 181–190. URL: <https://ilacadofsci.com/wp-content/uploads/2013/03/102-17MS2819-print.pdf> (date of application: 24.05.2025).

2. Risk assessment of climate change impacts on railway infrastructure / I. S. Oslakovic et al. // *Proceedings – EPOC 2013 Conference*. 2013. pp. 1–16.

3. Comprehensive Flood Risk Assessment for Railroad Network: Case Study for Iowa / A. B. Cikmaz et al. // *Research Square*. 2024. Vol. 2. pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4171938/v1>.

4. Struchkova G. P., Kapitonova T. A., Levin A. I. Safety of Railway Transport Facilities Operating in Extreme Climatic Conditions // *Advances in Engineering Research*. 2019. Vol. 188. pp. 328–332. DOI: <https://doi.org/10.2991/aviaent-19.2019.61>.

5. Analysis of impact of meteorological conditions on human factors in estimating the risk of railway accidents / D. Aleksic et al. // *Transport*. 2017. Vol. 33 (5). pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1332684>.

6. Chikir M. V., Poluyan L. V. Bayesian Network Modeling for Analysis and Prediction of Accidents in Railway Transportation of Dangerous Goods // *Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2022*. 2023. Vol. 2. pp. 554–563. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_53).

7. Gonzva M., Barroca B., Gautier P. A modeling of disruptions cascade effect within a rail transport system facing a flood hazard // *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars*. 2015. Vol. 6 (3). pp. 53–60.

8. Makhinov A. N., Kim V. I., Voronov B. A. Flooding in the Amur basin in 2013: causes and consequences // *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2014. № 2. pp. 5–14.

9. A Novel Approach for Modeling and Evaluating Road Operational Resilience Based on Pressure-State-Response Theory and Dynamic Bayesian Networks / Y. Gang et al. // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. pp. 1–33. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13137481>.

10. Quantitative assessment of risk due to NaTech scenarios caused by floods / G. Antonioni et al. // *Reliability Engineering and System Safety*. 2015. Vol. 142. pp. 334–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.05.020>.

11. Simonov V. V., Osadchiy O. V. Nature of the occurrence of floods, inundations and characterization of their striking factors // *Scientific and Educational Problems of Civil Protection*. 2014. № 1. pp. 9–19.

12. Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas / V. Cozzani et al. // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2014. Vol. 28. pp. 10–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.07.009>.

13. Khakzad N. Impact of wildfires on Canada's oil sands facilities // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18 (11). pp. 3153–3166. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3153-2018>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Чикир Мария Васильевна**, магистр строительства, младший научный сотрудник, аспирант НИЦ «НИР БСМ» УрО РАН (620049, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-А); ПИНЦ ID: 1230207; ResearcherID: GWD-0052-2022; ORCID: 0000-0003-4295-098X; e-mail: [mary-catchikir2012@yandex.ru](mailto:mary-catchikir2012@yandex.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Maria V. Chikir**, Master of Civil Engineering, Junior Researcher, Postgraduate student, SIC “NIR BSM” Ural Branch of RAS (54-A Studencheskaya St., Ekaterinburg, 620049, Russian Federation); RSC ID: 1230207; ResearcherID: GWD-0052-2022; ORCID: 0000-0003-4295-098X; e-mail: mary-catchikir2012@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.02.2025

Одобрено после рецензирования 24.02.2025

Принята к публикации 15.06.2025

# БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 004.67:519.257:656.085

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СОЦИАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ НА ТЕХНОГЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ: ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЖИВУЧЕСТЬЮ РЕГИОНА

Малютина Елизавета Владимировна<sup>1</sup>, Тимашев Святослав Анатольевич<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье описан программный комплекс, позволяющий анализировать социальную реакцию на инциденты и аварии урбанистических инфраструктур в реальном времени. Исследование фокусируется на изучении взаимозависимости между измеримым материальным ущербом от аварий и социально-когнитивным ущербом для городских сообществ. Программный комплекс автоматизирует сбор и анализ данных из социальной сети «ВКонтакте», используя вероятностно-энтропийные методы для исследования общественных настроений. Система осуществляет поиск публикаций по заданным категориям, связанным с различными типами инцидентов (пожары, наводнения, экологические кризисы и др.), фильтрует их и сохраняет в базу данных SQLite. Результаты тестирования на примере г. Екатеринбурга демонстрируют эффективность системы в оперативном выявлении рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, эскалации социальной напряженности, ухудшения экологической обстановки, а также рисков, связанных с дезинформацией. Кроме того, комплекс обеспечивает поддержку в координации действий аварийно-спасательных служб. Исследование имеет важное практическое значение для обеспечения безопасности населения, защиты ресурсов и минимизации ущерба. Комплекс помогает прогнозировать развитие чрезвычайных ситуаций, разрабатывать стратегии их предотвращения и ликвидации последствий. Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия управленческих решений, совершенствования мер реагирования и повышения устойчивости социально-экологических систем в современном мире.

**Ключевые слова:** сбор данных, чрезвычайные ситуации, социальные сети, мониторинг инцидентов, социальная энтропия

**Для цитирования:** Малютина Е. В., Тимашев С. А. Автоматизированный мониторинг социальной реакции на техногенные инциденты: Инструмент управления живучестью региона // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 111–121.

## AUTOMATED MONITORING OF SOCIAL RESPONSE TO MAN-MADE INCIDENTS: A TOOL FOR MANAGING REGIONAL RESILIENCE

Elizaveta V. Malyutina<sup>1</sup>, Sviatoslav A. Timashev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and Machines» Ural Branch Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** The article describes a software system (SS) designed to analyze social responses to incidents and accidents involving urban infrastructure in real time. The study focuses on exploring the interdependence between measurable material damage caused by accidents and socio-cognitive harm to urban communities.

The software system automates the collection and analysis of data from the VKontakte social network, using probabilistic-entropy methods to study public sentiment. It searches for publications by specified categories related to various types of incidents (fires, floods, environmental crises, etc.), filters them and stores the information in an SQLite database. Test results using Yekaterinburg as an example demonstrate the effectiveness of the system in promptly identifying the risks of emergency situations, escalation of social tension, deterioration of the environmental situation, as well as risks associated with disinformation. Moreover, the system provides support in coordinating the actions of emergency response services.

The study has important practical significance for ensuring public safety, protecting resources and minimizing damage. The complex helps to predict the development of emergency situations, develop strategies for their prevention and elimination of consequences. The results obtained can be used to support management decision-making, improve response measures and increase the sustainability of socio-ecological systems in the modern world.

Keywords: data collection, emergencies, social media, incident monitoring, social entropy

**For Citation:** Malyutina E. V., Timashev S. A. Automated monitoring of social response to man-made incidents: a tool for managing regional resilience // *Technosphere safety*. 2025. № 2 (47). pp. 111–121.

## Введение

В работах [1–3] сформулирована концепция и подход к энтропийному анализу социальных последствий крупных аварий урбанистических инфраструктур и систем на основе сбора необходимой информации, публикуемой в социальных сетях, о деталях аварийных происшествий, настроениях, реакциях и требованиях общества в связи с возникновением ЧС. Настоящая статья посвящена описанию разработанного программного комплекса (далее — ПК) для автоматического сбора и комплексного социально-когнитивного анализа информации, для обеспечения быстрого реагирования на аварии в городской инфраструктуре.

Существующие официальные способы и методы информирования населения об авариях, связанных с функционированием сетевых систем и городских инфраструктур жизнеобеспечения, представлены в табл. 1.

Существует также неофициальная информация в виде реакции общества на события, которая активно публикуется в социальных сетях. Выбор метода зависит от целей, сроков и контекста анализа. Комбинированный подход, включающий социальные сети и другие методы, предоставляет более полное понимание ситуации [4]. В настоящей статье предлагается использовать социальные сети для мониторинга состояния критических инфраструктур и получения дополнительной информации

**Таблица 1**  
**Современные средства и методы информирования общества во время и после природно-техногенных аварий и катастроф**

Table 1  
 Modern means and methods of informing society during and after natural and man-made accidents and catastrophes

Название Name	Преимущества Advantages	Недостатки Disadvantages
Традиционные СМИ Traditional media	Обеспечивают глобальное покрытие, имеют высокий авторитет Provide global coverage and have high credibility	Задержка в распространении информации, ограниченный охват точек зрения Delay in the dissemination of information, limited coverage of points of view
Официальные отчеты и пресс-релизы Official reports and press releases	Информация от первоисточников, формальные и точные данные Information from primary sources, formal and accurate data	Могут быть предвзятыми, могут задерживаться, не включают мнение общественности May be biased, delayed, do not include the public opinion
Опросы и исследования общественного мнения Polls and public opinion research	Позволяют получить структурированные данные Allow getting structured data	Могут требовать времени, ограниченный охват, результат зависит от формулировки вопросов May take time, limited coverage, depends on the wording of the questions
Экспертные оценки Expert assessments	Высокий уровень экспертизы High level of expertise	Могут быть субъективными, ограниченный круг экспертов Can be subjective, due to a limited range of experts

о реакции городского социума на техногенные инциденты и аварии.

В настоящее время социальные сети становятся все более полезным инструментом улучшения общественной жизни. Так, многие городские администрации используют социальные сети (например, систему *Инцидент Менеджмент*) как канал, по которому горожане могут оперативно сообщить о своей проблеме.

Представляется, что социальные сети можно использовать более эффективно и многопланово, если осуществлять их регулярный мониторинг с целью:

- 1) оперативного получения информации об инцидентах, авариях, стихийных бедствиях;
- 2) отслеживания социально-когнитивных изменений в обществе при и после возникновения этих инцидентов и аварий;
- 3) оперативного принятия мер для митигации, предотвращения, защиты и обеспечения безопасности горожан;
- 4) осуществления оптимального гoвернaнса, используя социальные сети как положительную обратную связь в цепочке управления.

В России социальная сеть «ВКонтакте» является наиболее доступной, популярной и, главное, легитимной платформой. Ее можно использовать в качестве эффективного инструмента оперативного реагирования на происшествия и понимания общественного восприятия их. «ВКонтакте» обеспечивает доступ к обширной базе данных, которая формируется различными социальными группами и отражает разнообразные социокультурные аспекты жизни общества. Эти множественные сведения являются репрезентативными и могут быть использованы для состоятельного анализа общественного мнения и тенденций среди разных категорий населения.

«ВКонтакте» имеет VK API, который предоставляет доступ к различным данным о пользователях, сообществах, группах, постах, комментариях и к другим аспектам активности на платформе. Благодаря VK API исследователи могут сами собирать статистику и проводить глубокий анализ сведений о поведении пользователей.

### Обзор функций и возможностей ПК

ПК состоит из *следующих шагов*.

1. Поиск в социальных сетях сообществ (пабликов, групп, каналов и т. д.) по заданному ключевому слову (название города). Функция используется для отправки запроса к VK API с целью поиска групп по заданному ключевому слову. Она возвращает словарь, где ключи — названия групп, а значения — их идентификаторы, что позволяет быстро находить интересующие группы для дальнейшего анализа.
2. Фильтрация и анализ публикаций (постов) по заданному словарю ключевых

слов по категориям (таких как «Пожар», «Наводнение», «Терроризм» и др.). Для этого осуществляется парсинг контента каждой группы и проверка на наличие упоминаний указанных слов.

Дополнительно реализуется возможность настроить синонимы и вариации ключевых слов. Это делает анализ более гибким, позволяя учитывать различные формулировки и региональные особенности языка. Например, словосочетание «стихийное бедствие» может быть использовано вместо «катастрофа». Такой подход значительно увеличивает шансы на обнаружение важных публикаций.

3. Если публикация содержит ключевое слово, информация о ней, включая текст поста, дату, время, id публикации, а также упомянутое в тексте ключевое слово, сохраняется в соответствующей категории. Программа также собирает и анализирует комментарии к этим сообщениям, что позволяет выявить реакцию пользователей на конкретные события.

4. Программа сохраняет результат работы в базу данных SQLite, как показано на рис. 1. Каждая категория сохраняется в отдельную таблицу с соответствующей структурой, что обеспечивает организованное хранение информации. ПК ежедневно обращается к социальным сетям и обновляет (пополняет) информацию об инцидентах, авариях или катастрофах. SQLite обеспечивает компактное хранение и эффективный доступ к данным, что критично для программ, работающих с большими объемами информации.

5. Количественный анализ накопленных результатов включает построение графиков (рис. 2), показывающих зависимость

	Date	Time	ID	Text	MatchedKeywords
1	2024-06-16	23	7620805	В Нижнем Тагиле пьяный мотоциклист попал в ДТП, в результате которого пострадали женщина и ...	ДТП
2	2024-06-16	23	7620822	А баба-то каким местом думала, садясь с ребёнком к пьяному водителю? До чего беспечный поступок...	ДТП
3	2024-06-17	03	7621016		ДТП
4	2024-06-15	16	7620058	Серьёзная авария произошла в Невьянске накануне вечером....	ДТП
5	2024-06-15	16	7620068	Вот это замес 😂	ДТП
6	2024-06-15	16	7620071	Это с какой скоростью надо было гнать по улице?	ДТП
7	2024-06-15	19	7620158	[id13944141]Константин, в Невьянске 🤔	ДТП
8	2024-06-15	19	7620159	[id6435548]Евгений, а я разве спросил где это ? 🤔	ДТП
9	2024-06-15	19	7620163	[id13944141]Константин, я к тому, что в Невьянске в принципе с такой скоростью гнать негде... 🤔	ДТП
10	2024-06-15	19	7620165	Раз так размазало значит есть где	ДТП
11	2024-06-15	23	7620285	[id6435548]Евгений, точно, там не где так гнать	ДТП
12	2024-06-16	04	7620432	56 км/час - тебе же ясно написали. Так что не превышай.	ДТП
13	2024-06-15	17	7620089	это не город а деревня...в прямом смысле, чо там с=может стalkerваца.	ДТП
14	2024-06-15	17	7620108	[id545526385]Варан, талантливые люди есть везде, сам сколько раз там был, больше 60-70 уже боязно ...	ДТП
15	2024-06-15	18	7620129	[id545526385]Варан, деревня это твое место рождения, писать по-русски научись	ДТП
16	2024-06-15	18	7620153	[id545526385]Варан, судя по твоему комментарию,ты как раз деревня.А Невьянск старинный русский ...	ДТП
17	2024-06-15	19	7620177	[id198561948]Артемий, завод старинный, завод крепость старинная. Город это с 60 года, учите матчасть, ...	ДТП
18	2024-06-15	20	7620187	[id23971872]Дмитрий, в 1919г не хотите?? Учите матчасть.	ДТП

Рис. 1. Общий вид данных, сохраненных в базу SQLite  
 Fig. 1. General view of the data stored in the SQLite database

количества комментариев от времени для каждой категории ключевых слов. Указанная функция осуществляет чтение данных из SQLite и визуализирует динамику обсуждений в группах «ВКонтакте».

6. Качественный анализ текстов (выявление настроения комментариев).

Каждая функция программы имеет четко определенную задачу и модульную структуру кода, что облегчает поддержку и расширение программы. Использование различных библиотек Python обеспечивает эффективную обработку данных и визуализацию результатов, что важно для реализации функционала программы по анализу данных из «ВКонтакте».

Тестирование ПК на Екатеринбурге. Реализация: скрипт на языке Python, использующий библиотеки requests, vk\_api, matplotlib, numpy, pandas для анализа сообщений из социальной сети.

Для тестирования ПК был выбран Екатеринбург — столица среднего Урала (согласно [5], на 1 января 2024 г. в Екатеринбурге проживало 1 536 183 чел.). Сбор данных осуществлялся в группах города социальной сети «ВКонтакте». Для анализа были выбраны основные типы инцидентов: пожар, на-

воднение, отключение воды, авария на дороге, эвакуация, пандемия, экологический кризис, терроризм, конфликт, для каждого из которых был собран свой словарь ключевых слов. В статье представлены результаты анализа категории «Пожар» в качестве примера, однако аналогичный анализ проводился и для других категорий ЧС.

Преимущества ПК:

- автоматизация процесса сбора и анализа больших объемов текстовой информации из социальных сетей, что экономит время и упрощает процесс мониторинга в реальном времени;
- возможность быстрого выявления и агрегации данных о реакции людей на различные чрезвычайные события;
- создание структурированных отчетов и аналитики для последующего использования при принятии управленческих решений;
- повышение эффективности и оперативности реагирования на ЧС;
- прогнозирование и предотвращение ЧС.

Динамика комментариев пользователей по теме инцидентов, относящихся к категории «Пожар», с 3 апреля по 31 июля

2024 г. показана на рис. 2. Вертикальная ось отображает количество комментариев, оставленных пользователями в каждый из дней, связанных с темой пожара.

Судя по графику (рис. 2), всплески активности обсуждений наблюдались 25 мая, 14 июня, 24 июня и 22 июля (самый высокий пик) 2024 г. Увеличение активности пользо-

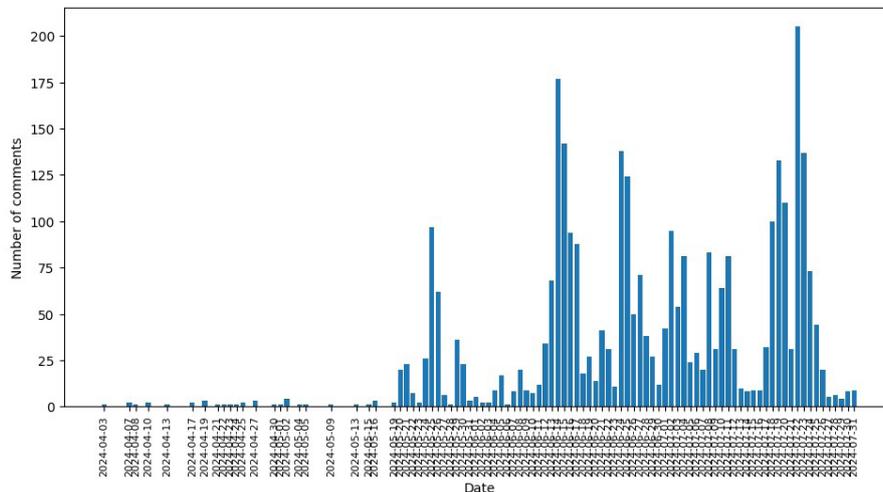


Рис. 2. График зависимости комментариев от времени для инцидентов категории «Пожар»  
 Fig. 2. A graph of the number of comments in time for the "Fire" category incidents comments

вателей наблюдалось в период с 25 мая, что связано с участвовавшими пожарами из-за высокой температуры воздуха, ветра, сухости, активного роста травы и кустарников, а также отдыха на природе, во время которого повышается риск неосторожного обращения с огнем.

Увеличение активности пользователей в период с 11 июня по 17 июня обусловлено несколькими крупными пожарами. В такие моменты люди стремятся обсудить произошедшее, выразить свои переживания и получить информацию о ситуации. Пиковые дни активности связаны с масштабом пожаров, социальным волнением и увеличением освещения событий в СМИ, поскольку пользователи стремятся следить за новостями и делиться своим мнением.

Комментарии пользователей охватывают как информативный, так и эмоциональный аспекты реакции на произошед-

шее. Анализ публикаций позволяет понять, какие темы и форматы контента вызывают повышенный отклик у аудитории, что может быть полезно для дальнейшего мониторинга и анализа инцидентов.

### Математическая обработка результатов

График (рис. 3) иллюстрирует число зафиксированных комментариев к публикациям о пожаре в зависимости от времени и пики в те же даты, что и на рис. 2, что свидетельствует о прямой связи между количеством комментариев и общественным интересом к инцидентам.

Увеличение числа комментариев в определенные моменты подтверждает важность событий, происходящих в населенном пункте, и их влияния на социальное обсуждение (рис. 4).

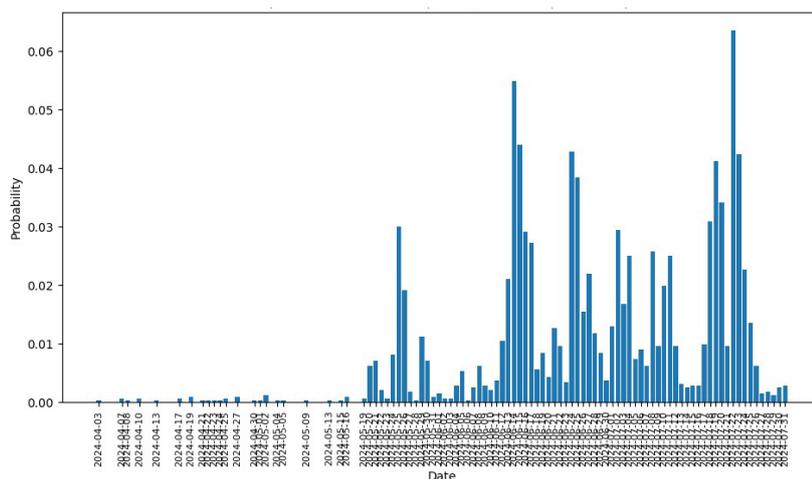


Рис. 3. График числа комментариев во времени для инцидентов категории «Пожар»  
 Fig. 3. A graph of the number of comments for incidents of the "Fire" category

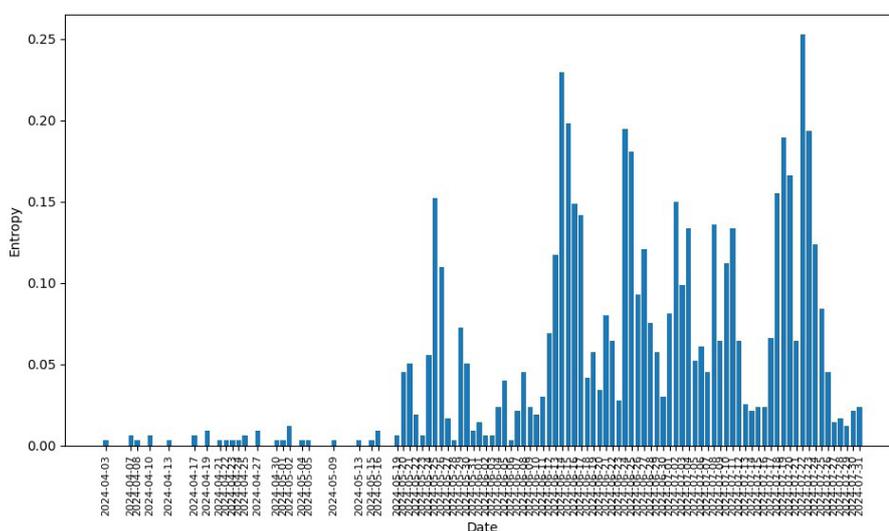


Рис. 4. График энтропии комментариев от времени для инцидентов категории «Пожар»  
 Fig. 4. A graph of the entropy of comments in time for the "Fire" category incidents

Повышенная энтропия в периоды максимальной активности горожан (рис. 5) свидетельствует о большем количестве уникальных и разнообразных мнений по обсуждаемой теме, что делает реакцию аудитории более объемной и насыщенной.

Производная энтропии позволяет выделить моменты резких изменений в объеме и разнообразии комментариев. Точки, где наблюдаются эти процессы, могут указывать на значимые события или изменения в общественном мнении, что важно для

анализа кризисных ситуаций и принятия решений. Приведенные графики дают комплексное понимание динамики и реакций пользователей в социальных сетях в ответ на инциденты, позволяя более эффективно управлять информационными потоками в условиях ЧС.

### Результаты и их обсуждение

Разработанная программа представляет собой многофункциональный инструмент,

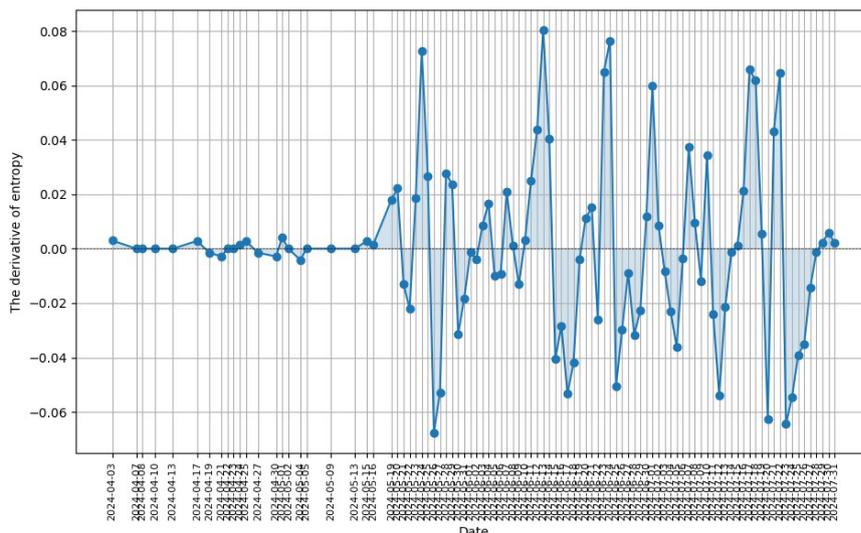


Рис. 5. График производной энтропии комментариев от времени для инцидентов категории «Пожар»  
 Fig. 5. Graph of the first derivative of the entropy of comments from time for the "Fire" category incidents

способный значительно улучшить процессы обработки данных в условиях современного информационного потока, что делает ее ценным активом для всех заинтересованных сторон. Результаты тестирования программы показали, что автоматизированный подход сбора, обработки и анализа данных о событиях, обсуждаемых в социальной сети «ВКонтакте», ускоряет процесс мониторинга инцидентов и позволяет глубже понять реакцию общества на различные ЧС. Кроме того, она позволяет делать следующее.

- Осуществлять поддержку принятия управленческих решений. Структурированные отчеты и визуализации, создаваемые программой, предоставляют руководителям возможность принимать более обоснованные решения на основе актуальных данных.
- Прогнозировать и предотвращать кризисы и ЧС за счет комбинирования статистики с историческими данными по аналогичным событиям. Это позволит создавать более вероятные сце-

нарии о развитии событий и заранее разрабатывать меры по предотвращению и митигации последствий аварий и катастроф.

Разработка и внедрение программы позволяет существенно повысить уровень мониторинга и анализа коммерческой, социальной и экологической информации в реальном времени, что способствует созданию более открытого диалога между властями и обществом.

**Усовершенствования программы мониторинга социальных сетей**

В современных условиях, когда скорость получения и анализа информации играет критическую роль в управлении городскими процессами, эффективность программ мониторинга социальных сетей значительно влияет на качество реагирования на различные события, включая ЧС. Для повышения эффективности и расширения функциональности программа совершенствуется по следующим ключевым направлениям.

- **Улучшение точности поиска.** Расширение списка ключевых слов (например, использование синонимов и связанных терминов, что, в свою очередь, обеспечит более полное покрытие информации, относящейся к различным аспектам городской жизни) и совершенствование алгоритмов фильтрации постов и комментариев позволят более точно выявлять события, важные для отслеживания активности.
- **Внедрение методов машинного обучения.** Использование этой технологии позволяет автоматизировать процесс категоризации данных, прогнозировать тенденции на основе текстовых анализов и выявлять паттерны, что позволяет предугадывать потенциальные угрозы или социальные волнения.
- **Расширение функциональности программы путем интеграции с другими социальными сетями.** Это позволяет охватить более широкий спектр данных и выявить сложную социальную динамику в реальном времени. Чем больше информации соберется из различных источников, тем точнее будет картина происходящих событий.
- **Применение алгоритмов сентимент-анализа упрощает оценку эмоционального окраса сообщений и степени серьезности аварийной ситуации и потребности в помощи.** Это дает возможность быстро реагировать на негативные события и корректировать планы действий в зависимости от реакции граждан.

Перечисленные выше усовершенствования ПК приводят к увеличению объема обрабатываемых данных и необходимости фильтрации сведений с целью выделения

релевантной информации, важной для принятия решений.

Отслеживание комментариев из социальных сетей порождает вопросы конфиденциальности и этики. Важно найти баланс между необходимостью быстрого реагирования на ЧС и защитой частной жизни пользователей. Установление прозрачных правил работы с данными и соблюдение этических норм — неотъемлемая часть эффективного использования технологий мониторинга.

### Заключение

В работе описан новаторский вероятностно-энтропийный подход к оценке социальных волнений, которые неизбежно возникают после каждой аварии или стихийного бедствия, связанного с прекращением/ухудшением функционирования городской инфраструктуры жизнеобеспечения. Это актуальная проблема современности. Работа способствует точной оценке времени адаптации и восстановления сообщества, подвергшегося социально-когнитивной опасности, и компетентному социально-экономическому устранению последствий городских аварий.

Разработанный ПК представляет собой инструмент для автоматизированного мониторинга социальной реакции на техногенные инциденты. Программа позволяет:

- автоматизировать сбор данных из социальной сети «ВКонтакте»;
- проводить вероятностно-энтропийный анализ общественных настроений;
- выявлять пики социальной активности по заданной тематике;
- создавать структурированные отчеты для поддержки принятия решений.

Представленная программа эффективно демонстрирует принципы автоматизированного мониторинга и вероятностно-энтропийного анализа данных в социальных медиа. Исследования в этой сфере помогут лицам,

принимающим решения, более грамотно регулировать вопросы, связанные с ликвидацией социальных и когнитивных последствий аварий, и оперативно отслеживать социально-экономическую обстановку в регионе.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тимашев С. А., Малютина Е. В. Энтропийный анализ социальной активности во время и после крупных аварий городской инфраструктуры. Екатеринбург : Уральский рабочий, 2023. 66 с.
2. Прикладная математика и информатика : тр. 66-й Всерос. науч. конф. МФТИ, 1–6 апреля 2024 г. М. : Физматкнига, 2024. С. 74–76.
3. Timashev S., Malyutina E. Entropy Analysis of Social Unrest After Large Urban Infrastructure Accidents//ASCE INSPIRE. 2023. №1. pp. 631–639. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784485163.074>.
4. Al-Quran M. W. Traditional media versus social media: challenges and opportunities // Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology. 2022. Vol. 4, № 10. pp. 145–160.
5. Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 г. // Федеральная служба государственной статистики : офиц. сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 17.06.2024).

### REFERENCES

1. Timashev S. A., Malyutina E. V. Entropy analysis of social activity during and after major accidents of urban infrastructure. Ekaterinburg : Uralsky Rabochiy, 2023. 66 p.
2. Applied mathematics and informatics : Proc. of 66th All-Russian Scientific Conference. 66th All-Russian Scientific Conf. MIPT, April 1-6, 2024. M. : Fizmatkniga, 2024. pp. 74–76.
3. Timashev S., Malyutina E. Entropy Analysis of Social Unrest After Large Urban Infrastructure Accidents//ASCE INSPIRE. 2023. №1. pp. 631–639. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784485163.074>.
4. Al-Quran M. W. Traditional media versus social media: challenges and opportunities // Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology. 2022. Vol. 4, № 10. pp. 145–160.
5. The number of permanent population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2024 // Federal State Statistics Service : official website. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (date of application: 17.06.2024).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Малютина Елизавета Владимировна**, аспирант УрО РАН, младший научный сотрудник НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН (620049, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-а); ResearcherID: HKD-9398-2023; ORCID: 0000-0002-7454-4858; e-mail: 2malyutina2@mail.ru

**Тимашев Святослав Анатольевич**, д-р техн. наук, проф., научный руководитель и главный научный сотрудник НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН (620049, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-а), профессор кафедры САПРОС Института строительства и архитектуры УрФУ (620002, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 17); РИНЦ ID: 526037; Scopus Author ID: 7005453977; ResearcherID: L-3270-2017; ORCID: 0000-0002-6330-8163; e-mail: timashevs@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Elizaveta V. Malyutina**, postgraduate student, Junior Researcher, NIR BSM Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54-a Studencheskaya St., Ekaterinburg, 620049, Russian Federation); ResearcherID: HKD-9398-2023; ORCID: 0000-0002-7454-4858; e-mail: 2malyutina2@mail.ru

**Svatoslav A. Timashev**, Dr. Sci. (Eng.), prof, Scientific Director and Chief Researcher of the Research Center “NIR BSM”, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54-a Studencheskaya St., Ekaterinburg, 620049, Russian Federation), Professor of SAPROS Department Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU (17 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation); RINC ID: 526037; Scopus Author ID: 7005453977; ResearcherID: L-3270-2017; ORCID: 0000-0002-6330-8163; e-mail: timashevs@gmail.com

Поступила в редакцию 23.01.2025  
Одобрено после рецензирования 24.03.2025  
Принята к публикации 15.06.2025

# БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 614.8

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА КРИОГЕННОГО ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИВЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Самигуллин Гафур Халафович, Евлоев Зелимхан Бекханович, Булатов Вячеслав Олегович  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Обеспечение безопасности людей при эксплуатации технологического оборудования со сжиженным природным газом внутри требует учета риска, связанного с его разгерметизацией и последующим разливом содержимого в условиях чрезвычайной ситуации. Одним из наиболее опасных факторов таких аварий является криогенное поражение окружающей среды, приводящее к серьезным последствиям для здоровья и жизни людей. Разработка эффективных подходов к прогнозированию и минимизации подобного воздействия является актуальной задачей при повышении уровня безопасности лиц, находящихся в опасной зоне.

Для решения обозначенной проблемы в настоящей статье предлагается усовершенствованная методика оценки риска криогенного поражения. В ходе работы в ветро-холодовой индекс был введен новый параметр понижения температуры, обозначающий ее снижение в окружающей среде вследствие воздействия низких температур сжиженного природного газа.

Предложенная усовершенствованная методика будет способствовать повышению уровня защищенности объектов производства и хранения сжиженного природного газа и минимизации возможных тяжелых последствий от криогенной угрозы благодаря учету локального снижения температуры при разливе содержимого криогенного оборудования в случае чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, криогенное поражение человека, ветро-холодовой индекс

**Для цитирования:** Самигуллин Г. Х., Евлоев З. Б., Булатов В. О. Методика оценки риска криогенного поражения человека в условиях чрезвычайной ситуации при разливе сжиженного природного газа // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 122–135.

## THE METHODOLOGY OF ASSESSING THE RISK OF CRYOGENIC INJURY TO HUMANS IN EMERGENCY SITUATIONS DURING A SPILL OF LIQUEFIED NATURAL GAS

Gafur Kh. Samigullin, Zelimkhan B. Evloev, Vyacheslav O. Bulatov  
Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** Ensuring the safety of people when operating technological equipment with liquefied natural gas inside requires taking into account the risk associated with its depressurization and subsequent spillage of the contents in emergency situations. One of the most dangerous factors of such accidents is cryogenic damage to the environment, leading to serious consequences for human health and life. The development of effective approaches to predicting and minimizing such impact is an urgent task in increasing the safety level of persons in the danger zone.

In order to solve the indicated problem, this paper proposes an improved methodology for assessing the risk of cryogenic shock. During the work, a new parameter of temperature decrease was introduced into the wind-cold index, indicating its decrease in the environment due to the impact of low temperatures of liquefied natural gas.

The proposed improved methodology will contribute to increasing the level of protection of liquefied natural gas production and storage facilities and minimizing possible severe consequences from cryogenic threat by taking into account the local decrease in temperature when spilling the contents of cryogenic equipment in the event of emergency situations.

**Keywords:** liquefied natural gas, human cryogenic injury, wind-cold index

**For Citation:** Malyutina E. V., Timashev S. A. The methodology of assessing the risk of cryogenic injury to humans in emergency situations during a spill of liquefied natural gas // *Technosphere safety*. 2025. № 2 (47). pp. 122–135.

## Введение

В эпоху стремительного развития инновационных решений в области криогенных технологий общество сталкивается с новыми вызовами, где возникает необходимость улучшения существующих традиционных подходов и методов снижения рисков возникновения аварий на объектах производства и хранения сжиженного природного газа (далее — СПГ). Особую опасность представляют физико-химические свойства СПГ, включая его крайне низкие температуры [1, 2]. Контакт человека с криогенным веществом может привести к таким серьезным последствиям, как глубокие обморожения, повреждения тканей и потеря конечностей [3]. Риск подобного исхода возрастает при эксплуатации технологического оборудова-

ния, где возможны аварийные утечки значительного объема СПГ в результате разгерметизации, что способно привести к возникновению ЧС. Факторами, обуславливающими повышение рисков поражения персонала, являются: недостаточная защищенность людей, отсутствие инновационных средств индивидуальной и коллективной защиты, а также возможные нарушения регламентов безопасности.

В северных регионах РФ холодовые травмы составляют до 20 % ото всех термических повреждений. Согласно данным Росстата с 2019–2022 гг., ежегодно за медицинской помощью обращаются 11–22,1 тыс. пострадавших с отморожениями, что составляет 7,5–15 % случаев на 100 тыс. человек населения [4]. Показатели холодовых травм в РФ приведены на рис. 1.

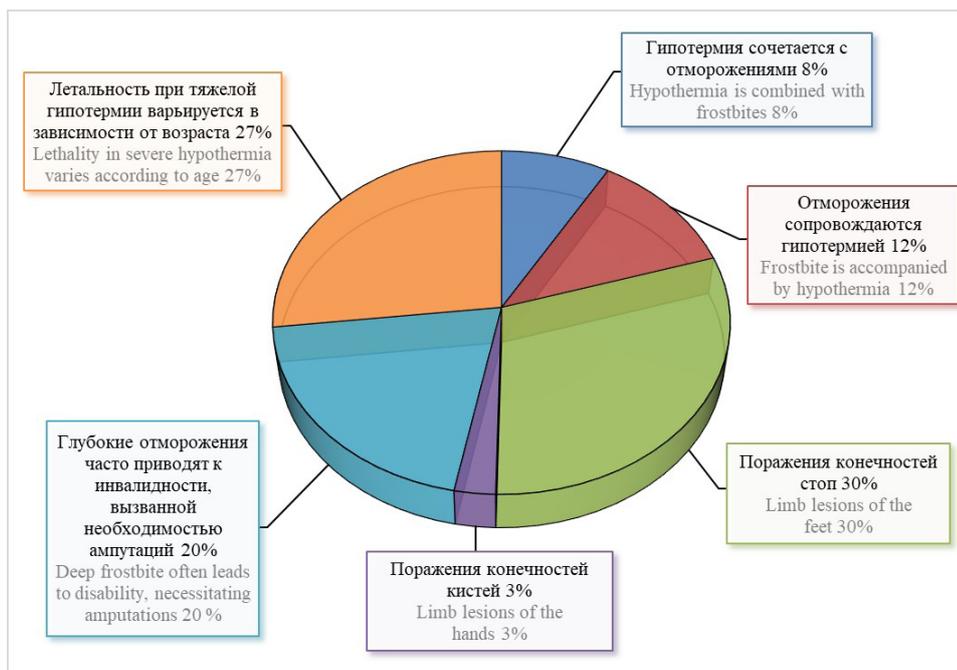


Рис. 1. Показатели холодных травм в РФ

Fig. 1. Indicators of cold injuries in Russia

Научный интерес к изучению воздействия холодных сред на человека обусловлен как производственными, так и экономическими факторами. Криогенное поражение человека, вызванное воздействием СПГ, имеет ряд специфических особенностей, усложняющих своевременную оценку риска и принятие превентивных мер. Обморожение происходит мгновенно при попадании СПГ на открытые участки тела человека, что приводит к резкому охлаждению тканей и повреждению клеточных структур. Визуальные признаки таких повреждений — покраснение, отечность и потеря чувствительности — могут проявляться не сразу, что затрудняет диагностику на начальных этапах, и в тяжелых случаях могут вызвать некроз тканей и утрату конечностей. Точная оценка рисков, связанных с воздействием криогенных температур при работе с СПГ, остается актуальной и в то же время недостаточно проработанной областью. Ситуация усугубляется тем, что существующие подходы к оценке рисков

недостаточно учитывают локальное снижение температуры и скорость теплообмена СПГ с окружающей средой. Поскольку СПГ обладает высокой теплоемкостью и поглощает тепло окружающих объектов практически мгновенно, последствия воздействия становятся необратимыми за считанные секунды. Поражающий эффект криогенной угрозы значительно повышается в условиях воздействия ветра, ускоряя возникновение травм при попадании СПГ на кожу или одежду человека. Соответственно, недооценка существующей угрозы является достаточно серьезной проблемой в области обеспечения безопасности человека при работе с криогенными технологиями. В связи с чем разработка и внедрение эффективных методов оценки и управления рисками при подобном воздействии остаются актуальными как для исследователей, так и для практиков [5–7].

В настоящей работе с целью снижения низкотемпературных поражений производственного персонала предложена усовер-

шенствованная методика оценки криогенного поражения при разливах СПГ. В отличие от традиционных подходов, методика включает дополнительный параметр понижения температуры в зоне воздействия СПГ, что позволяет учитывать влияние низких температур на окружающую среду и человека в реальных условиях.

### Материалы и методы

На сегодняшний день существует ограниченное количество расчетных методов определения риска криогенного поражения человека, что делает крайне важным использование нормативно-технических документов, регламентирующих эту область, для дальнейшего научного изучения при проливе или выбросе в атмосферу холодных паров СПГ, в результате которых возникают ЧС.

Основополагающими документами являются два национальных стандарта РФ, разра-

ботанные на основе международных норм. Первый из них — ГОСТ Р ИСО 11079–2015. Указанный документ идентичен международному стандарту ISO 11079–2007 и представляет научно обоснованные методы оценки воздействия низких температур на человека, а также рекомендации по выбору средств защиты от холода. Вторым нормативным документом является ГОСТ Р ИСО 15743–2012, предназначенный для оценки условий работы как внутри помещений, так и на открытом воздухе. Оба стандарта дополняют друг друга, формируя комплексный подход к управлению, и могут быть адаптированы для различных специфических производственных условий [8, 9].

В соответствии с нормативными требованиями для оценки риска в условиях холодных температур используют ветро-холодовой индекс, позволяющий количественно определить воздействие холода на человека [10]. Формула расчета ветро-холодового индекса выглядит следующим образом:

$$t_{wc} = 13,12 + 0,6215 * t_a - 11,37 * v_{10}^{0,16} + 0,3965 * t_a * v_{10}^{0,16}, \quad (1)$$

где:

$t_a$  — температура окружающей среды (°C);

$v_{10}^{0,16}$  — скорость ветра (м/с).

При интеграции влияния СПГ в расчеты оценки опасного воздействия на человека необходимо учитывать несколько ключевых факторов.

- Температуру СПГ, т. к. при проливе или выбросе в атмосферу может привести к резкому снижению температуры в зоне воздействия. Понижение температуры на исследуемой территории бу-

дет гораздо больше, учитывая низкую температуру СПГ.

- Местоположение производства и хранения СПГ на открытых площадках либо в закрытых помещениях, т. к. его воздействие будет зависеть от множества внешних факторов, таких как скорость ветра и температура окружающей среды.

Анализ натурных экспериментальных данных в сериях испытаний “Burro” по разливу СПГ [12], проведенных Koopman R. P., Baker J., Cederwall R. T., Goldwire H. C.,

Hogan W. J., Kamppinen L. M., Kiefer R. D., McClure J. W., McRae T. G., Morgan D. L., Morris L. K., Spann M. W., Lind C. D, показал, что понижение температуры зависит от метеорологических и термодинамических факторов. Существующие сведения были использованы для калибровки и валидации расчетных моделей разлива СПГ, в которых учитываются процессы фазового перехода, теплообмена с окружающей средой и конвективного рассеивания холодного облака газа.

С переходом на современные методы моделирования McGrattan K. B., математик отдела исследований огня Инженерной лаборатории Национального института стандартов

и технологий, обновил существовавшие модели на основе методов Computational Fluid Dynamics, реализованных в Fire Dynamics Simulator, для повышения точности прогнозирования поведения потоков газовой фазы. Предложенная им расчетная модель из серии натуральных экспериментов “Burro-3” [12] по разливу СПГ показала хорошую сходимость с экспериментальными данными. В настоящей статье она была доработана с учетом понижения температуры окружающей среды при испарении СПГ и уточнения пространственно-временной детализации для более точной оценки распространения холодного облака газа (рис. 2–9).

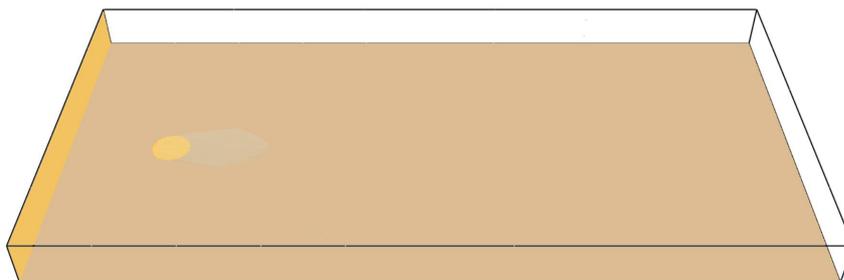


Рис. 2. Расчетная модель изоповерхности разлива СПГ объемом  $34 \text{ м}^3$  на расстоянии 0–80 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 20 с. Температура СПГ — от  $-160$  до  $-40$  °С и ниже. Температура окружающей среды —  $+33,8$  °С, скорость ветра —  $5,4$  м/с

Fig. 2. Computational isosurface model of a  $34 \text{ м}^3$  LNG spill at a distance of 0–80 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is 20 s. LNG temperature — from  $-160$  to  $-40$  °C and below. Ambient temperature —  $+33,8$  °C, wind speed —  $5,4$  m per second

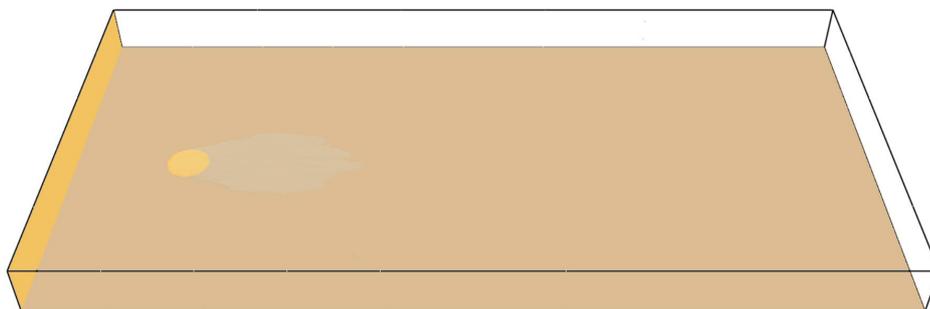


Рис. 3. Расчетная модель изоповерхности разлива СПГ объемом  $34 \text{ м}^3$  на расстоянии 0–150 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 40 с. Температура СПГ — от  $-160$  до  $-40$  °С и ниже. Температура окружающей среды —  $+33,8$  °С, скорость ветра —  $5,4$  м/с

Fig. 3. Computational isosurface model of a  $34 \text{ м}^3$  LNG spill at a distance of 0–150 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is 40 s. LNG temperature — from  $-160$  to  $-40$  °C and below. Ambient temperature —  $+33,8$  °C, wind speed —  $5,4$  m per second



Рис. 4. Расчетная модель изоповерхности разлива СПГ объемом 34 м³ на расстоянии 0–250 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 60 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 4. Computational isosurface model of a 34 m³ LNG spill at a distance of 0–250 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is 60 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 m per second

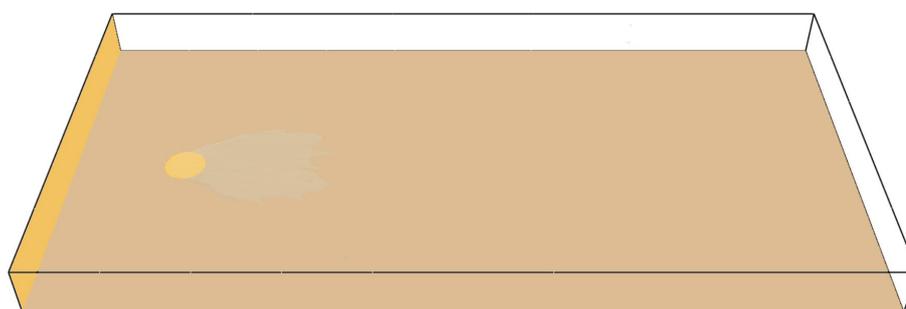


Рис. 5. Расчетная модель изоповерхности разлива СПГ объемом 34 м³ на расстоянии 0–350 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 80 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 5. Computational isosurface model of a 34 m³ LNG spill at a distance of 0–350 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is 80 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 metres per second

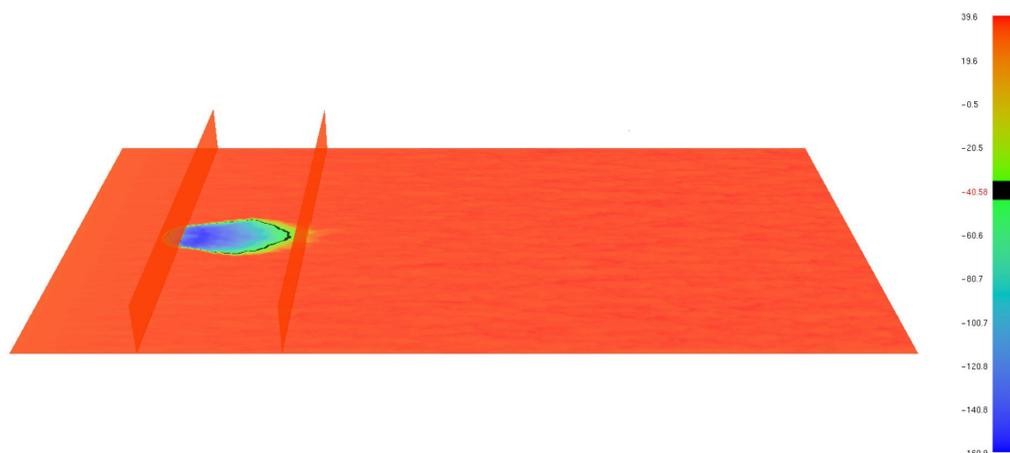


Рис. 6. Расчетная модель формирования и распространения холодного облака газа при разливе СПГ объемом 34 м³ на расстоянии 0–80 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 20 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 6. Computational model of cold gas cloud formation and propagation during a 34 m³ LNG spill at a distance of 0–80 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is — 20 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 m per second

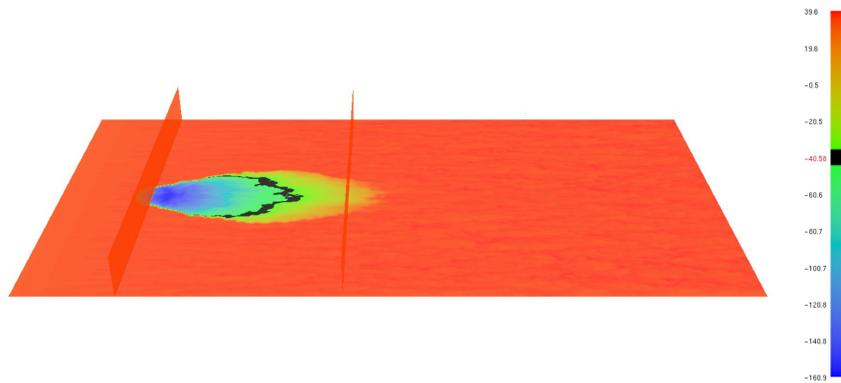


Рис. 7. Расчетная модель формирования и распространения холодного облака газа при разливе СПГ объемом 34 м<sup>3</sup> на расстоянии 0–150 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 40 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 7. Computational model of cold gas cloud formation and propagation during a 34 m<sup>3</sup> LNG spill at a distance of 0–150 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is — 40 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 m per second

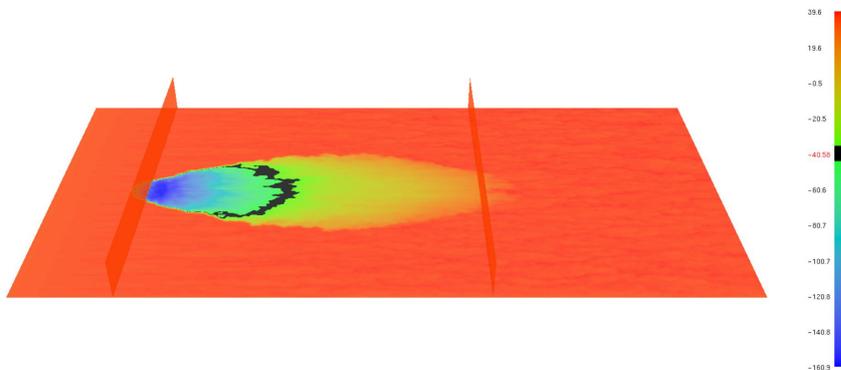


Рис. 8. Расчетная модель формирования и распространения холодного облака газа при разливе СПГ объемом 34 м<sup>3</sup> на расстоянии 0–250 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 60 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 8. Computational model of cold gas cloud formation and propagation during a 34 m<sup>3</sup> LNG spill at a distance of 0–250 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is — 60 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 m per second

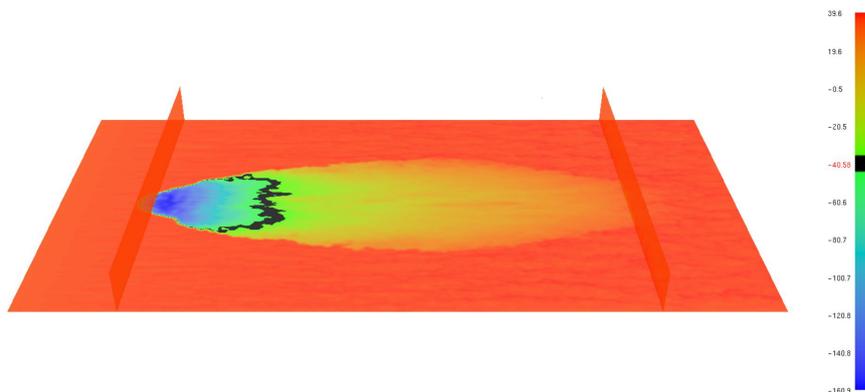


Рис. 9. Расчетная модель формирования и распространения холодного облака газа при разливе СПГ объемом 34 м<sup>3</sup> на расстоянии 0–350 м от места разлива. Время после начала разлива СПГ — 80 с. Температура СПГ — от –160 до –40 °С и ниже. Температура окружающей среды — +33,8 °С, скорость ветра — 5,4 м/с

Fig. 9. Computational model of cold gas cloud formation and propagation during a 34 m<sup>3</sup> LNG spill at a distance of 0–350 m from the spill site. The time after the start of the LNG spill is — 80 s. LNG temperature — from –160 to –40 °C and below. Ambient temperature — +33,8 °C, wind speed — 5,4 m per second

На примере модели видно, что понижение температуры при разливе СПГ в центре может достигать экстремально низких значений: в пределах от  $-160$  °С и ниже. Однако на внешних границах зоны разлива этот показатель может постепенно повышаться до  $-40$  °С, но даже при таких значениях не исключается риск обморожения, нарушения терморегуляции организма человека и других негативных последствий.

Следует также заметить, что экспериментальные данные подтверждают зависимость параметра понижения температуры СПГ от скорости ветра, где при высоких значениях (5–7 м/с) температура восстанавливается быстрее, тогда как при низких значениях (1–3 м/с) охлаждение происходит более продолжительно, что важно учитывать при оценке рисков криогенного воздействия на безопасность человека [11–12].

### Результаты и их обсуждение

С учетом вышеизложенного в расчетную формулу предлагается ввести параметр понижения температуры на определенную величину в ветро-холодовой индекс, обозначающий снижение температуры окружающей среды, вызванное воздействием СПГ:

$$t_{wc, new} = 13,12 + 0,6215 \cdot (t - \Delta t_{LNG}) - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot (t - \Delta t_{LNG}) \cdot v^{0,16}, \quad (2)$$

где:

$t$  — температура окружающей среды (°С);

$v^{0,16}$  — скорость ветра (м/с);

$\Delta t_{LNG}$  — снижение температуры окружающей среды из-за испарения СПГ [13–15].

Для оценки опасности криогенного поражения в целях определения риска для здоровья и жизни человека в разных температурных режимах при воздействии СПГ предлагается ввести шкалу на основе четырехступенной классификации при холодových травмах [16–18]. В частности, из международного стандарта ISO 11079–2007 были взяты параметры оценки теплопотерь человека в условиях низких температур, чтобы установить критические пороговые значения температурного воздействия, соответствующие различным уровням риска в раз-

работанной шкале. Шкала оценки уровня риска криогенного поражения человека в условиях низких температур при воздействии СПГ представлена в табл. 1.

В качестве примера проведем расчет для оценки риска криогенного поражения человека в случае разлива СПГ в окружающую среду со следующими исходными данными:

- температура окружающей среды  $t = -10$  °С;
- скорость ветра  $v = 4,17$  м/с;
- снижение температуры окружающей среды из-за испарения СПГ  $\Delta t_{LNG} = -30$  °С.

Определим по формуле (3) температуру, ощущаемую человеком в условиях низких температур, с учетом скорости ветра и влияния СПГ:

$$t_{wc, new} = 13,12 + 0,6215 \cdot (-10 - 30) - 11,37 \cdot 4,17^{0,16} + 0,3965 \cdot (-10 - 30) \cdot 4,17^{0,16} = 13,12 + 0,6215 \cdot (-10 - 30) - 11,37 \cdot 1,256 + 0,3965 \cdot (-10 - 30) \cdot 1,256 = -46 \text{ °С}. \quad (3)$$

**Таблица**  
**Шкала оценки уровня риска криогенного поражения**  
**человека в условиях низких температур при воздействии СПГ**

Table 1  
Scale for assessing the level of risk of cryogenic injury  
to humans in low-temperature conditions during LNG exposure

Уровень риска Risk level	Температурный диапазон Temperature range	Время поражения Time of defeat	Рекомендации по защитной одежде Recommendations for protective clothing	
			Летняя	Зимняя
Низкий риск Low risk	от –20 до –30 °С from –20 to –30 °С	20–30 мин 20–30 min	Легкий комбинезон, очки, шлем, перчатки, обувь Lightweight overalls, goggles, helmet, gloves, shoes	Утепленный комбинезон, термобелье, очки, балаклава или капюшон, утепленные перчатки и обувь Insulated overalls, thermal underwear, goggles, balaclava or hood, insulated gloves and shoes
Средний риск Average risk	от –30 до –40 °С from –30 to –40 °С	10–20 мин 10–20 min	Комбинезон с усиленной термоизоляцией, очки, шлем, перчатки, обувь Heat-insulated overalls, goggles, helmet, gloves, shoes	Утепленный комбинезон с усиленной термоизоляцией, термобелье, очки, балаклава или капюшон, утепленные перчатки и обувь Insulated overalls with reinforced thermal insulation, thermal underwear, goggles, balaclava or hood, insulated gloves and shoes
Высокий риск High risk	от –40 до –60 °С from –40 to –60 °С	5–10 мин 5–10 min	Комбинезон с криозащитой и усиленной термоизоляцией, двойные очки, шлем, перчатки, обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания Overalls with cryoprotection and reinforced thermal insulation, double goggles, helmet, gloves, shoes, personal respiratory protection equipment	Утепленный комбинезон с криозащитой и усиленной термоизоляцией, очки, балаклава или капюшон, утепленные перчатки и обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания Insulated coveralls with cryoprotection and reinforced thermal insulation, goggles, balaclava or hood, insulated gloves and shoes, personal respiratory protection equipment

Окончание таблицы

Уровень риска Risk level	Температурный диапазон Temperature range	Время поражения Time of defeat	Рекомендации по защитной одежде Recommendations for protective clothing	
			Летняя	Зимняя
Критический риск Critical risk	от -60 °C и ниже from -60 °C and below	2-3 мин 2-3 min	Двойной комбинезон с криозащитой и усиленной термоизоляцией, очки, шлем, перчатки, обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания Double coveralls with cryoprotection and reinforced thermal insulation, goggles, helmet, gloves, shoes, personal respiratory protection equipment	Утепленный двойной комбинезон с криозащитой и усиленной термоизоляцией, очки, балаклава или капюшон, утепленные перчатки и обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания Insulated double coveralls with cryoprotection and reinforced thermal insulation, goggles, balaclava or hood, insulated gloves and footwear, personal respiratory protection equipment

На основе расчетных данных получена тепловая карта, показывающая, в каких температурных областях значения выходят за пределы безопасных диапазонов, где

уровень риска более высок в условиях низких температур для здоровья и жизни человека при воздействии СПГ. Тепловая карта представлена на рис. 10.

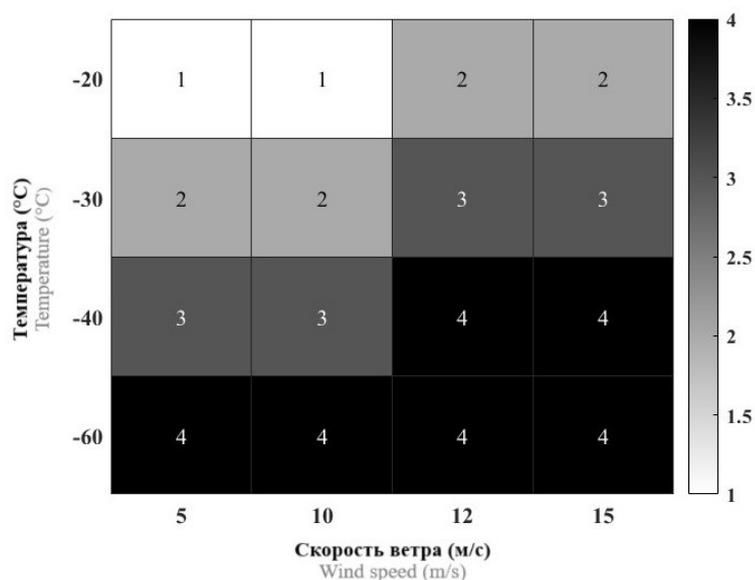


Рис. 10. Тепловая карта

Fig. 10. Heat map

Таким образом, температура, ощущаемая человеком в описанной ситуации, с учетом как скорости ветра, так и воздействия СПГ составит примерно  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Согласно табл. 1, полученное значение температурного диапазона ( $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) попадает в диапазон от  $-40$  до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что соответствует уровню высокого риска.

### Заключение

Предлагаемая усовершенствованная методика является необходимым дополни-

ем к существующим традиционным подходам к оценке риска криогенного поражения человека. Реализация этой методики станет важным вкладом в повышение уровня защищенности объектов производства и хранения СПГ, обеспечивая эффективное управление рисками и минимизацию возможных последствий в случае ЧС. Кроме того, ее внедрение будет способствовать совершенствованию нормативно-технической базы, регламентирующей деятельность производств, сопряженных с криогенными технологиями, и уровню подготовки специалистов в исследуемой области.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Assessment of Cascading Accidents of Frostbite, Fire, and Explosion Caused by Liquefied Natural Gas Leakage / Yue. Chengjun et al. // *Advances in Civil Engineering*. 2020. pp. 1–14.
2. Шевчук Е. В. Хранение сжиженного природного газа и проблемы обеспечения промышленной безопасности // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 11–4 (53). С. 141–143.
3. Cryogenic Refrigerant Burns: A Rare Occupational Hazard / S. Dash et al. // *Workplace Health & Safety*. 2020. № 69. pp. 109–114.
4. Клинические рекомендации. Отморожение. Гипотермия. Другие эффекты воздействия низкой температуры // Рубрикатор клинических рекомендаций : офиц. сайт. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/678\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/678_2) (дата обращения: 31.01.2025).
5. Palestini L., Sassu F. Risks and safety measures associated with the storage and transport of liquefied natural gas (LNG) // *International Journal of Safety and Security Engineering*. 2021. Vol. 11, № 4. pp. 409–418.
6. Самигуллин Г. Х., Евлоев З. Б. Оценка вероятности эскалации аварий на объектах производства и хранения сжиженного природного газа // *Научный вестник НИИГД Респиратор*. 2024. № 4 (61). С. 97–106.
7. Техногенные риски на объектах по производству сжиженного природного газа / С. В. Ильницкий и др. // *Научный Лидер*. 2023. № 15 (113). С. 10–15.
8. ГОСТ Р ИСО 11079–2015. Эргономика термальной среды. Определение холодового стресса и его интерпретация на основе показателей требуемой термоизоляции одежды и локального охлаждающего воздействия : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и вве-

ден в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 8 октября 2015 г. № 1504-ст : введен впервые : дата введения 2016-12-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124975> (дата обращения: 31.01.2025).

9. ISO 11079–2007. Ergonomics of the thermal environment — Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects : междунар. стандарт // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/431802138> (дата обращения: 31.01.2025).

10. ГОСТ Р ИСО 15743–2012. Практические аспекты менеджмента риска. Менеджмент и оценка риска для холодных сред : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1270-ст : введен впервые : дата введения 2013-12-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096448> (дата обращения: 31.01.2025).

11. База данных натуральных экспериментов для верификации математических моделей рассеяния облаков «тяжелого» газа / А. А. Агапов [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 6. С. 35–44.

12. LLNL/NWC 1980 LNG spill tests. Burro series data report / R. P. Koopman et al. Livermore : Lawrence Livermore National Laboratory, 1982. № 1, 2. 286 p.

13. Implementation of a new Wind Chill Temperature Index by the National Weather Service // ms.confex : website. URL: [https://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/paper\\_27020.htm](https://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/paper_27020.htm) (date of application: 31.01.2025).

14. Study of Wind Chill Factor using Infrared Imaging / A. Tanveer et al. // The International Journal of Multiphysics. 2016. № 10. pp. 325–342.

15. Kargapolova N. Stochastic model of spatial fields of the average daily wind chill index // Information (Switzerland). 2020. Vol. 11, № 4. P. 177.

16. Accidental hypothermia-an update / P. Paal et al. // Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine. 2016. № 24 (1). P. 111.

17. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances / A. Truhlář et al. // Resuscitation. 2015. № 95. pp. 148–201.

18. Brown D. Hypothermia. New York : McGraw Hill, 2015. pp. 1357–1365.

## REFERENCES

1. Assessment of Cascading Accidents of Frostbite, Fire, and Explosion Caused by Liquefied Natural Gas Leakage / Yue. Chengjun et al. // Advances in Civil Engineering. 2020. pp. 1–14.

2. Shevchuk E. V. Storage of liquefied natural gas and problems of industrial safety // International Research Journal. 2016. № 11–4 (53). pp. 141–143.

3. Cryogenic Refrigerant Burns: A Rare Occupational Hazard / S. Dash et al. // Workplace Health & Safety. 2020. № 69. pp. 109–114.

4. Clinical recommendations. Frostbite. Hypothermia. Other effects of exposure to low temperature // Rubricator of clinical recommendations : official website. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/678\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/678_2) (date of application: 31.01.2025).

5. Palestini L., Sassu F. Risks and safety measures associated with the storage and transportation of liquefied natural gas (LNG) // International Journal of Safety and Security Engineering. 2021. Vol. 11, № 4. pp. 409–418.

6. Samigullin G. Kh. H., Evloev Z. B. Estimation of the probability of escalation of accidents at the facilities of production and storage of liquefied natural gas // Scientific Bulletin of NIIGD Respirator. 2024. № 4 (61). pp. 97–106.

7. Technogenic risks at liquefied natural gas production facilities / S. V. Ilitsky et al. // Scientific Leader. 2023. № 15 (113). pp. 10–15.

8. GOST R ISO 11079–2015. Ergonomics of thermal environment. Determination of cold stress and its interpretation on the basis of indicators of the required thermal insulation of clothing and local cooling effect : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from October 8, 2015 № 1504-st : introduced for the first time : date of introduction 2016-12-01 // Codex : electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124975> (date of application: 31.01.2025).

9. ISO 11079–2007. Ergonomics of the thermal environment — Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects : international standard // Codex : electronic fund of legal and regulatory information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/431802138> (date of application: 31.01.2025).

10. GOST R ISO 15743–2012. Practical aspects of risk management. Management and risk assessment for cold environments : national standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from November 29, 2012 № 1270-st : introduced for the first time : date of introduction 2013-12-01 // Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096448> (date of application: 31.01.2025).

11. Database of field experiments for verification of mathematical models of “heavy” gas cloud dispersion / A. A. Agapov et al. // Labor Safety in Industry. 2018. № 6. pp. 35–44.

12. LLNL/NWC 1980 LNG spill tests. Burro series data report / R. P. Koopman et al. Livermore : Lawrence Livermore National Laboratory, 1982. № 1, 2. 286 p.

13. Implementation of a new Wind Chill Temperature Index by the National Weather Service // ms.confex : website. URL: [https://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/paper\\_27020.htm](https://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/paper_27020.htm) (date of application: 31.01.2025).

14. Study of Wind Chill Factor using Infrared Imaging / A. Tanveer et al. // The International Journal of Multiphysics. 2016. № 10. pp. 325–342.

15. Kargapolova N. Stochastic model of spatial fields of the average daily wind chill index // Information (Switzerland). 2020. Vol. 11, № 4. P. 177.

16. Accidental hypothermia-an update / P. Paal et al. // Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine. 2016. № 24 (1). P. 111.

17. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances / A. Truhlář et al. // Resuscitation. 2015. № 95. С. 148–201.
18. Brown D. Hypothermia. New York : McGraw Hill, 2015. pp. 1357–1365.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Самигуллин Гафур Халафович**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); SPIN-код: 8830-4253; AuthorID: 1020610; ORCID: 0000-0002-5688-8921; e-mail: samigullin.g@igps.ru

**Евлоев Зелимхан Бекханович**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); SPIN-код: 5043-1137; AuthorID: 1170858; ORCID: 0000-0001-6179-0999; e-mail: euloeff.zel@yandex.ru

**Булатов Вячеслав Олегович**, канд. техн. наук, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); SPIN-код: 1739-4507; AuthorID: 974531; ORCID: 0000-0002-4907-1024; e-mail: 79112231238@yandex.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Gafur K. Samigullin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Professor, Department of Physical and Chemical Bases of Combustion and Extinguishing Processes St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky pr., St. Petersburg, 196105, Russian Federation); SPIN-code: 8830-4253; Author ID: 1020610; ORCID: 0000-0002-5688-8921; e-mail: samigullin.g@igps.ru

**Zelimkhan B. Yevloyev**, Adjunct Faculty of Higher Qualification Training St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky pr., St. Petersburg, 196105, Russian Federation); SPIN-code: 5043-1137; Author ID: 1170858; ORCID: 0000-0001-6179-0999; e-mail: euloeff.zel@yandex.ru

**Vyacheslav O. Bulatov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovsky pr., St. Petersburg, 196105, Russian Federation); SPIN-code: 1739-4507; Author ID: 974531; ORCID: 0000-0002-4907-1024; e-mail: 79112231238@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.02.2025  
Одобрено после рецензирования 24.02.2025  
Принята к публикации 15.06.2025

# БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

УДК 004.94

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО ЭВАКУАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Горлов Виталий Викторович, Меньших Валерий Владимирович, Никитенко Виталий Алексеевич  
Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена совершенствованию процессов организации эвакуации населения и материальных ценностей из зоны чрезвычайной ситуации техногенного характера на основе использования методов математического моделирования. С этой целью осуществлялась разработка математической модели и алгоритма поиска оптимального количества пунктов санитарной обработки, необходимых для эвакуации. В качестве целевой функции была выбрана стоимость развертывания пунктов санитарной обработки, а как ограничения — количество эвакуируемых и максимально допустимое время эвакуации. Для решения задачи предварительно осуществлялся анализ динамики развития чрезвычайных ситуаций, после чего на основе учета особенностей предметной области осуществлялись формализация поставленной оптимизационной задачи в терминах теории множеств и сведение ее к задаче дискретной оптимизации. Далее был разработан численный метод решения задачи, основанный на использовании ограниченного перебора возможных вариантов выбора мест развертывания пунктов санитарной обработки, что позволило сократить общее время решения задачи и используемый вычислительный ресурс. На основе численного метода был создан алгоритм решения поставленной задачи, позволяющий осуществить программную реализацию указанного численного метода. Для иллюстрации полученных результатов в статье рассмотрен численный пример расстановки пунктов санитарной обработки при возникновении чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, пункт санитарной обработки, эвакуация, математическое моделирование, задача оптимизации, численный метод и алгоритм оптимизации

**Для цитирования:** Горлов В. В., Меньших В. В., Никитенко В. А. Разработка модели и алгоритма оптимизации решений по эвакуации при чрезвычайных ситуациях // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 136–145.

## DEVELOPMENT OF A MODEL AND ALGORITHM FOR OPTIMIZING EVACUATION DECISIONS IN EMERGENCY SITUATIONS

Vitaly V. Gorlov, Valery V. Menshikh, Vitaly A. Nikitenko  
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to improving the processes of organizing the evacuation of the population and material assets from a man-made emergency zone based on the use of mathematical modeling methods. For this purpose, a mathematical model and an algorithm

for finding the optimal number of sanitary treatment points required for evacuation were developed. The cost of deploying sanitary treatment points was chosen as the target function, and the number of evacuees and the maximum allowable evacuation time were chosen as restrictions. To solve the problem, the dynamics of emergency situations development was analyzed in advance, after which, based on the specifics of the subject area, the formalization of the set optimization problem was carried out in terms of set theory and its reduction to a discrete optimization problem. Then, a numerical method for solving the problem was developed, based on the use of a limited enumeration of possible options for choosing the locations for deploying sanitary treatment points, which made it possible to reduce the overall time for solving the problem and the computing resource used. On the basis of the numerical method, an algorithm for solving the problem was created, allowing for the software implementation of the specified numerical method.

**Keywords:** emergency situation, sanitary treatment point, evacuation, mathematical modeling, optimization problem, numerical method and optimization algorithm

**For Citation:** Gorlov V. V., Menshikh V. V., Nikitenko V. A. Development of a model and algorithm for optimizing evacuation decisions in emergency situations // *Technosphere Safety*. 2025. № 2 (47). pp. 136–145.

### Введение

Анализ статистических данных [1–3] о ЧС на территории РФ за последние несколько лет (табл. 1) свидетельствует о постоянном увеличении количества погибших и пострадавших независимо от количества ЧС.

Поэтому при ликвидации ЧС большое внимание должно уделяться безопасности населения. Так, при организации эвакуации населения из зоны ЧС техногенного характера необходимо соблюсти одно из обязательных условий, а именно проведение санитарной обработки эвакуированного населения,

**Таблица 1**  
**Статистические данные о чрезвычайных ситуациях в РФ в 2022—2024 гг.**  
Table 1  
Statistical data on emergency situations in the Russian Federation in 2022–2024

Год Year	Количество ЧС Number of emergencies	Количество погибших Number of dead	Количество пострадавших Number of injured	Количество спасенных Number of rescued
2022	242	199	235274	789
2023	305	310	287595	7229
2024	272	494	696464	21411

имущества и техники [4]. Для этой процедуры создаются специальные пункты и выделяется ограниченное количество времени. Одним из факторов, влияющих на успешное проведение санитарной обработки, является количество выделяемых на нее ресурсов.

В работах [5–7] рассматривалась задача построения оптимальной последовательности действий подразделений силовых ведомств в ходе ликвидации ЧС, однако в постановке этой задачи предполагалось, что ресурс уже распределен оптимально. Несмотря на это, указанные модели можно использовать для решения задачи оптимального распределения ресурсов.

В [8] рассматривалась задача оптимального распределения ресурсов, и в качестве целевой функции была взята прибыль организации (целевая функция максимизировалась). Ограничения были связаны с тем, что суммарный ресурс не должен превосходить имеющийся. Для решения задачи эвакуации максимизировать прибыль нецелесообразно. Также необходимо добавить условия, связанные с ограничениями по времени, количеством имеющихся подразделений и т. д.

### Постановка задачи

При возникновении ЧС необходимо за отведенное время эвакуировать население из зоны происшествия и организовать его санитарную обработку. Для этого необходимо создать пункты санитарной обработки (далее — ПуСО), количество которых ограничено и зависит от множества параметров: места развертывания, пропускной способности, времени и стоимости развертывания, количества зон обработки и т. д.

В связи с этим необходимо разработать математическую модель, которая учитывала бы основные особенности развертывания ПуСО.

В качестве ПуСО могут быть использованы стационарные помещения (банно-прачечные комплексы, автомойки и т. п.), имеющиеся на границе зоны ЧС, а при отсутствии таких помещений будут разворачиваться мобильные ПуСО.

В обозначенной задаче будем рассматривать виды ПуСО, различающиеся по времени и стоимости развертывания, пропускной способности.

Введем следующие обозначения:

$n$  — количество людей, подлежащих эвакуации;

$\Phi$  — максимально возможное количество потоков на ПуСО;

$M = \{M_j\}_{j=1}^{|M|}, M_j \in \{0, \dots, \Phi\}$  — виды ПуСО ( $M_j = 0$  — свидетельствует о том, что на данном месте ПуСО не развертывается);

$K$  — максимально возможное количество мест размещения ПуСО;

$S = \{S_i\}_{i=1}^{|S|}, S_i \in \{1, \dots, K\}$ ;

$T_{полн}$  — время, выделенное на полную эвакуацию людей из зоны ЧС;

$T_j$  — время развертывания  $M_j$  ПуСО;

$c_{ij}$  — стоимость развертывания на  $S_i$  месте  $M_j$  ПуСО ( $c_{0j} = 0$ );

$\tau_{ij}$  — время эвакуации за единицу времени через  $M_j$  ПуСО, размещенный на  $S_i$  месте ( $\tau_{0j} = 0$ );

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-м месте размещено } M_j \text{ ПуСО;} \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

$y_{ij}$  — количество эвакуированных через  $M_j$  ПуСО, размещенный на  $S_i$  месте ( $y_{0j} = 0$ );

Время, необходимое на эвакуацию людей с  $S_i$  места, вычисляется по формуле:

$$\theta_i = \sum_{j=1}^{|S|} T_j x_{ij} + x_{ij} y_{ij} \tau_{ij}.$$

Также будем предполагать, что все ПуСО развертываются параллельно.

Число эвакуированных вычисляется следующим образом:

$$N = \sum_{i=1}^{|S|} \sum_{j=0}^{|M|} y_{ij} x_{ij}. \tag{1}$$

Общая стоимость развертывания всех ПуСО представляет собой выражение:

$$C_i = \sum_{j=1}^{|S|} c_{ij} x_{ij}. \tag{2}$$

Таким образом, задача эвакуации из зоны ЧС представляет собой следующую оптимизационную задачу:

$$\sum_{i=0}^{|M|} C_i \rightarrow \min. \tag{3}$$

При следующих ограничениях:

$$\sum_{i=0}^{|M|} \theta_i \leq T_{\text{полн}}. \tag{4}$$

$$N = n. \tag{5}$$

**Численный метод решения задачи**

Обозначим следующее.

$\Psi^c = (c_{ij})_{i=1, j=0}^{|S|, |M|}$  — матрица стоимостей развертывания  $M_j$  ПуСО на  $S_i$  месте;

$\Psi^t = (T_{ij})_{i=1, j=0}^{|S|, |M|}$  — матрица времени развертывания  $M_j$  ПуСО на  $S_i$  месте.

$\Psi^N = (y_{ij})_{i=1, j=0}^{|S|, |M|}$  — матрица количества эвакуированных в единицу времени через  $M_j$  ПуСО, размещенный на  $S_i$  месте.

Решением оптимизационной задачи (3)–(5) является матрица  $X = (x_{ij})_{i=1, j=0}^{|S|, |M|}$ , такая что  $\sum_j x_{ij} = 1$  для любых  $i, j \in \{0, 1\}$ .

Матрица может быть получена методом полного перебора. При этом необходимо рассмотреть  $|S|^{|M|}$  вариантов матриц  $x$ . Задача имеет экспоненциальную сложность, однако современные ЭВМ позволяют реализовать этот процесс за разумное время. Основная проблема заключается в хранении значений  $\Psi^c$ ,  $\Psi^t$  и  $\Psi^N$ , поэтому при реализации алгоритма необходимо отбра-

сывать те значения, которые не удовлетворяют условиям (4) и (5).

Проверку условий (4) и (5) можно свести к проверке одного условия, а именно:

$$sum\left(\left(M(T_{полн}) - \Psi^t\right)\Psi^N X\right) \geq n, \tag{6}$$

где  $sum(\square)$  — сумма элементов матрицы;  $M(T_{полн})$  — матрица размера  $|S| \times |M|$ , элементы которой равны  $T_{полн}$ . В этой записи умножение матриц воспринимается как поэлементное умножение.

Также каждое значение выражения (6) сопоставляется со значением стоимости развертывания всех ПуСО в зависимости от количества зон пропуска и мест их расположения (7).

Выражение (6) описывает количество эвакуированных за отведенное время.

Таким образом, алгоритм решения задачи (3)–(4) имеет следующий вид (рис. 1).

$$sum(\Psi^c X). \tag{7}$$

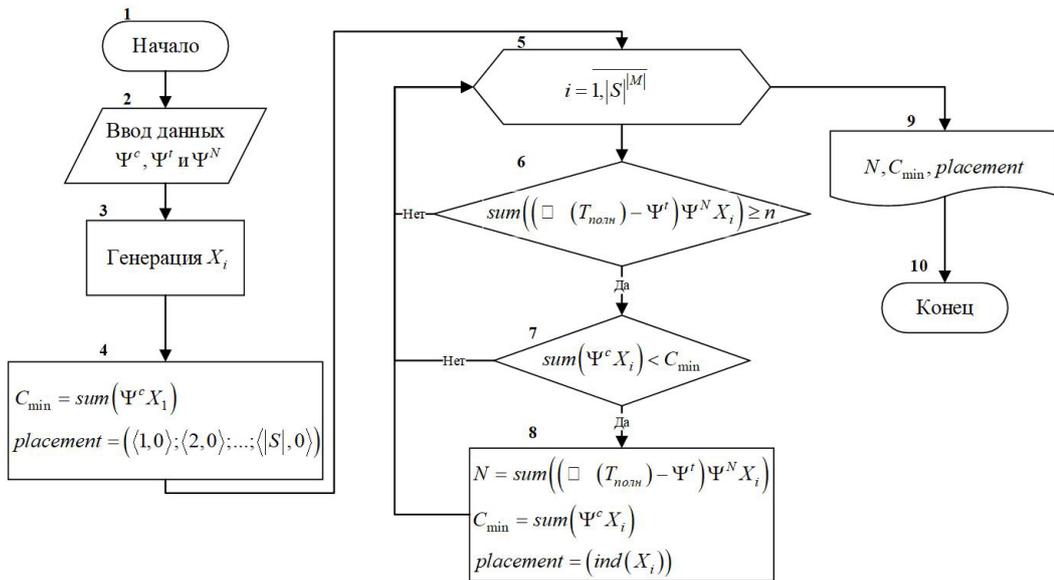


Рис. 1. Алгоритм решения задачи (3)–(4)  
Fig. 1. The algorithm for solving the problem (3)–(4)

Блок 1. Начало работы программы.

Блок 2. Ввод данных. Вводятся матрицы стоимости развертывания  $\Psi^c$ , времени развертывания  $\Psi^t$  и пропускной способности  $\Psi^N$  ПуСО.

Блок 3. Генерируются все возможные варианты конфигураций ПуСО.

Блок 4. Инициализируются переменные  $C_{min}$  и  $placement$ . В переменной  $C_{min}$  хранится значение минимальной стоимости развер-

тивания, в переменной *placement* хранится конфигурация ПУСО. Вектор  $(\langle 1, 0 \rangle; \langle 2, 0 \rangle; \dots; \langle |S|, 0 \rangle)$  показывает, сколько зон пропуска необходимо на  $S_j$  месте.

Блок 5. Запуск цикла по всех конфигурациям ПУСО.

Блок 6. Если количество эвакуированных больше или равно количеству людей, которых необходимо эвакуировать, то переход к блоку 7 или 5.

Блок 7. Если стоимость развертывания при  $X_i$  конфигурации ПУСО меньше, чем полученное ранее значение  $C_{min}$ , то переход к блоку 8 или 5.

Блок 8. В переменную  $N$  записывается количество эвакуированных при  $X_i$  конфигурации ПУСО, в переменную  $C_{min}$  — стоимость развертывания при  $X_i$  конфигурации ПУСО; в *placement* — значения функции *ind* ( $X_i$ ). Функция *ind* ( $X_i$ ) возвращает вектор вида  $(\langle 1, j_1 \rangle; \langle 2, j_2 \rangle; \dots; \langle |S|, j_{|S|} \rangle)$ ,

кортеж  $\langle k, j_k \rangle$  соответствует индексу ненулевого элемента  $k$ -ой строки матрицы  $X_i$ .

Блок 9. Вывод значений  $N$ ,  $C_{mi}$  и *placement*.

Блок 10. Окончание программы.

### Численный пример

В результате аварии на радиационно-опасном объекте необходимо эвакуировать населенный пункт численностью 1 тыс. чел. Время на эвакуацию составляет 2 часа. Для организации санитарной обработки эвакуированного населения может быть развернуто не более 3 ПУСО. Исходя из численности сотрудников на каждом ПУСО может быть не более чем 4 потока. Пропускная способность каждого ПУСО, время развертывания и стоимость приведены в табл. 2, 3, 4 соответственно.

**Таблица 2**  
**Пропускная способность ПУСО**

Table 2  
Capacity of sanitary treatment points

Место развертывания ПУСО Deployment location of sanitary treatment points	Количество зон пропуска Number of pass zones		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

**Таблица 3**  
**Время развертывания ПУСО**

Table 3  
Deployment time of sanitary treatment points

Место развертывания ПУСО Deployment location of sanitary treatment points	Количество зон пропуска Number of pass zones		
	1	2	3
1	2	1	1
2	5	3	1
3	4	2	1

**Таблица 4**  
**Стоимость развертывания ПуСО**

Table 4  
Deployment cost of sanitation treatment points

Место развертывания ПуСО Deployment location of sanitary treatment points	Количество зон пропуска Number of pass zones		
	1	2	3
1	2	3	3
2	1	3	4
3	2	3	4

Необходимо рассчитать количество ПуСО для эвакуации людей из населенного пункта за отведенное время с минималь-

ными затратами на их развертывание. Исходя из условия задачи, модель имеет следующие параметры:

$$n = 1000; \Psi^c = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & 3 & 4 \\ 0 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}; \Psi^t = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 5 & 3 & 1 \\ 0 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}; \Psi^N = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 3 & 4 & 5 \end{pmatrix}.$$

В силу небольшой размерности задачи приведем графики зависимости значений и от конфигурации ПуСО (рис. 2). На ука-

занном графике значения отсортированы по возрастанию, а также каждое значение поделено на 100 для масштабирования.



Рис. 2. Графики зависимости  $N_i$  и  $C_i$  от конфигурации ПуСО

Fig. 2. Graphs of the dependence of  $N_i$  and  $C_i$  on the configuration of the deploying sanitation treatment points

Таким образом, оптимальная конфигурация развертывания ПуСО имеет следующий вид. На месте 1 необходимо развернуть ПуСО с 3 зонами пропуска, на месте 2 — с 2 зонами пропуска, на месте 3 — с 3 зонами пропуска. При этом количество эвакуированных — 1 059 чел., а стоимость — 7 у. е.

### Выводы

В статье было приведено формальное описание задачи об оптимальной расстановке ПуСО различного вида. Также разработан численный метод, позволяющий определить оптимальный набор ПуСО, учитывающий ограничения местности, функ-

циональных возможностей ПуСО и т. д. Приведен численный пример расстановки ПуСО на местности.

При постановке задачи был допущен ряд упрощений, таких как ограниченное число людей, которых необходимо эвакуировать, также задача решалась при условии, что все люди должны быть эвакуированы. На практике картина другая: поток людей может быть неограниченным, время пропуска и прибытия людей может иметь произвольное распределение. К тому же не все люди могут быть эвакуированы за отведенное время. Таким образом, необходимо разработать математическую модель, которая учитывала бы все эти факторы, чему будут посвящены следующие работы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий российской федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» // МЧС России : офиц. сайт. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god> (дата обращения: 13.06.2025).
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий российской федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году» // МЧС России : офиц. сайт. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (дата обращения: 13.06.2025).
3. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий российской федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2024 году» // МЧС России : офиц. сайт. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7807> (дата обращения: 13.06.2025).
4. Математическое моделирование действий органов внутренних дел в чрезвычайных обстоятельствах / В. В. Меньших [и др.]. Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2016. 187 с.
5. Меньших В. В., Никитенко В. А. Численный метод агрегирования автоматных моделей с использованием алгебраических операций над автоматами // Проблемы управления. 2023. № 6. С. 66–75.
6. Меньших В. В., Горлов В. В., Никитенко В. А. Учет синергетических эффектов при композиции автоматных моделей действий подразделений силовых ведомств, участвующих в ликвидации чрезвычайных обстоятельств // Вестник Воронежского института МВД России. 2023. № 2. С. 60–68.

7. Меньших В. В., Никитенко В. А. Оптимизация последовательности действий при совместном функционировании объектов или систем с учетом синергетических эффектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2024. Т. 16, № 1. С. 32–38.
8. Ульянкина Е. Н., Гаджиев Г. О., Глубоков Ю. А. Решение задачи оптимального распределения ресурсов в военной сфере // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 8 (77). С. 204–211.

## REFERENCES

1. State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2022” // Ministry of Emergency Situations of Russia : official website. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god> (date of application: 13.06.2025).
2. State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2023” // Ministry of Emergency Situations of Russia : official website. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (date of application: 13.06.2025).
3. State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2024” // Ministry of Emergency Situations of Russia : official website. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7807> (date of application: 13.06.2025).
4. Mathematical modeling of actions of internal affairs bodies in emergency circumstances / V. V. Menshikh et al. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2016. 187 p.
5. Menshikh V. V., Nikitenko V. A. Numerical method of automata model aggregation using algebraic operations over automata // Management Problems. 2023. № 6. pp. 66–75.
6. Menshikh V. V., Gorlov V. V., Nikitenko V. A. Accounting for synergetic effects in the composition of automata models of actions of units of law enforcement agencies involved in the elimination of emergency circumstances // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023. № 2. pp. 60–68.
7. Menshikh V. V., Nikitenko V. A. Optimization of the sequence of actions at joint functioning of objects or systems taking into account synergetic effects // Bulletin of South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics. 2024. Т. 16, № 1. pp. 32–38.
8. Ulyankina E. N., Gadzhiev G. O., Glubokov Yu. A. Solution of the problem of optimal resource allocation in the military sphere // Vestnik nauki. 2024. Т. 1, № 8 (77). pp. 204–211.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Горлов Виталий Викторович**, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры тактико-специальной подготовки Воронежского института МВД России (394065, Российская

Федерация, г. Воронеж, проспект Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 554810; ORCID: 0009-0002-7926-1651; e-mail: gorlovvv@mail.ru

**Меньших Валерий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры математики и моделирования систем Воронежского института МВД России, (394065, Российская Федерация, г. Воронеж, проспект Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 382426; Scopus Author ID: 6603470623; ResearcherID: AAZ-6806-2021; ORCID: 0000-0001-9235-4997; e-mail: menshikh@list.ru

**Никитенко Виталий Алексеевич**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры математики и моделирования систем Воронежского института МВД России (394065, Российская Федерация, г. Воронеж, проспект Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 1129459; ORCID: 0009-0006-1948-3817; e-mail: vitalijnikitenko82043@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vitaly V. Gorlov**, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Department of Tactical and Specialized Training Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue, Voronezh, 394065, Russian Federation); RSC ID: 554810; ORCID: 0009-0002-7926-1651; e-mail: gorlovvv@mail.ru

**Valery V. Menshikh**, Dr. Sci. (Phys.-Math), Professor, Professor, Department of Mathematics and Systems Modeling Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue, Voronezh, 394065, Russian Federation); RSC ID: 382426; Scopus Author ID: 6603470623; ResearcherID: AAZ-6806-2021; ORCID: 0000-0001-9235-4997; e-mail: menshikh@list.ru

**Vitaly A. Nikitenko**, Cand. Sci. (Eng.), Lecturer, Department of Mathematics and Systems Modeling Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue, Voronezh, 394065, Russian Federation); RSC ID: 1129459; ORCID: 0009-0006-1948-3817; e-mail: vitalijnikitenko82043@gmail.com

Поступила в редакцию 22.04.2025  
Одобрено после рецензирования 05.05.2025  
Принята к публикации 15.06.2025