

**В ЭТОМ НОМЕРЕ:****ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ  
СТАРЕНИИ**

*Комарова М. А., Мельников Н. О., Шалабин М. В., Скоробогатов В. А.,  
Головина Е. В. ....* **3**

**АЛГОРИТМ КООРДИНАТНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ  
КОМПЛЕКСАМИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

*Дмитриев С. А. ....* **23**

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ  
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

*Двоенко О. В., Кучмасов Д. А., Щербаков Н. А., Захаров А. И. ....* **34**

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КРАСОК  
НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Тухбатулин М. Н., Барбин Н. М., Елфимова М. В., Хабибуллина Н. В. ....* **48**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ В ПРИБОРАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

*Ганеев Р. А., Хафизов И. Ф., Павлова З. Х., Алексеев Д. Л. ....* **61**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОГО ПОТОКА НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР С ПОМОЩЬЮ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

*Леменков М. Д., Шархун С. В., Штерензон В. А. ....* **70**

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ****СИСТЕМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ**

*Синецук Ю. И., Терёхин С. Н., Шидловский Г. Л., Ожегов Э. А. ....* **87**

**ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ  
НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ВЫЗВАННЫХ АВАРИЯМИ  
НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

*Зотов Е. И. ....* **106**

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ УХУДШЕНИЯ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ**

*Неверов Е. Н., Бесперстов Д. А., Яковлев И. В., Семенов Н. В. .... 115*

**О ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ УЩЕРБА И РЕАГИРОВАНИЮ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ПАВОДКООПАСНЫЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Дмитриев А. В., Тимарин А. Н., Васильев А. А., Попов Д. А. .... 132*

УДК 614.841.45

**ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ**

**Комарова Мария Александровна<sup>1</sup>, Мельников Никита Олегович<sup>1,2</sup>,  
Шалабин Михаил Валерьевич<sup>1</sup>, Скоробогатов Виталий Александрович<sup>3</sup>,  
Головина Екатерина Валерьевна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В. А. Кучеренко, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д. И. Менделеева, Миусская площадь, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> ООО «ТЕРРИТОРИЯ», Московская область, Россия

<sup>4</sup> Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрены особенности экспериментального определения гарантийного или прогнозируемого срока эксплуатации огнезащитных покрытий металлических строительных конструкций в зависимости от условий эксплуатации. Целью работы является апробация методов испытаний для определения стойкости к воздействию климатических факторов при старении в условиях открытой промышленной атмосферы и сохранности эффективности покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации на примере современного огнезащитного покрытия. Для осуществления цели исследования было проведено циклическое искусственное старение образцов огнезащитного покрытия и оценена стойкость к воздействию климатических факторов и сохранность огнезащитных свойств в процессе эксплуатации двумя методами: термическим анализом и огнезащитной эффективностью. Искусственное старение в соответствии с применяемыми методиками проводилось на 5, 15 и 25 лет.

В результате исследования методом термического анализа при сравнении значимых идентификационных характеристик исследованных огнезащитных покрытий с использованием экспериментально полученных и теоретически рассчитанных статистических критериев существенных расхождений не обнаружено. Установлено, что при проведении испытаний методом оценки огнезащитной эффективности с увеличением количества циклов искусственного старения огнезащитные свойства покрытия снижаются.

**Ключевые слова:** огнезащитные покрытия, огнезащитная эффективность, термический анализ, воздействие климатических факторов, сохранение огнезащитных свойств

**FIRE-RESISTANT EFFECTIVENESS OF COATINGS OF METAL BUILDING STRUCTURES WITH ACCELERATED CLIMATIC AGING**

**Maria A. Komarova<sup>1</sup>, Nikita O. Melnikov<sup>1,2</sup>, Mikhail V. Shalabin<sup>1</sup>, Vitaly A. Skorobogatov<sup>3</sup>, Ekaterina V. Golovina<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>LLC "TERRITORY", Moscow region, Russian Federation

<sup>4</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

**ABSTRACT**

The article discusses the features of the experimental determination of the warranty or predicted service life of fire-resistant coatings of metal building structures, depending on the operating conditions. The aim of the work is to test methods to determine the resistance to climatic factors during aging in an open industrial atmosphere and the preservation of the effectiveness of coatings of steel building structures during operation using the example of a modern flame retardant coating. To achieve the purpose of the study, cyclic artificial aging of flame retardant coating samples was carried out and the resistance to climatic factors and the preservation of flame retardant properties during operation were evaluated by two methods: thermal analysis and flame retardant efficiency. Artificial aging in accordance with the applied methods was carried out for 5, 15 and 25 years.

As a result, of the thermal analysis study, no significant discrepancies were found when comparing the significant identification characteristics of the studied flame retardant coatings using experimentally obtained and theoretically calculated statistical criteria. It has been established that when conducting tests using the method of evaluating flame retardant effectiveness, with an increase in the number of cycles of artificial aging, the flame retardant properties of the coating decrease.

**Keywords:** flame retardant coatings, flame retardant efficiency, thermal analysis, the impact of climatic factors, the preservation of flame retardant properties

**Введение**

В настоящее время средства огнезащиты для металлических строительных конструкций используются повсеместно в большом объеме с целью обеспечения нормируемых требований пожарной безопасности зданий и сооружений.

В соответствии с ТР ЕАЭС 043/2017 [1] техническая документация на средства

огнезащиты должна содержать информацию о технических показателях, характеризующих область их применения, способ подготовки поверхности, виды и марки грунтовок, способ нанесения на защищаемую поверхность, условия сушки, огнезащитную эффективность этих средств, способ защиты от неблагоприятных климатических воздействий, условия и срок эксплуатации огнезащитных покрытий, меры безопасности при проведении огнеза-

щитных работ, а также порядок транспортирования и хранения [2].

Одним из важнейших параметров при обеспечении пожарной безопасности является гарантийный или прогнозируемый срок эксплуатации огнезащитного покрытия в зависимости от условий службы. В результате длительной эксплуатации огнезащитных покрытий неизбежно происходит потеря их защитных свойств, которая связана с воздействием внешних факторов, которые могут проявляться в виде внешних признаков (растрескивание, отслаивание, потеря глянца, изменение цвета и т. д.) Сложнее обстановка стоит с исследованием внутренних изменений, а именно производением оценки сохранения покрытием огнезащитных свойств. На определенной стадии старения покрытие перестает выполнять свои защитные функции и требуется его замена. Поэтому вопрос сохранения огнезащитной эффективности покрытий представляет значительный интерес для пожарной безопасности [3–5].

Срок эксплуатации или долговечность можно определить как способность огнезащитного покрытия противостоять внешним воздействиям, т. е. оставаться неизменным и сохранять эффективность при воздействии окружающей среды и различных неблагоприятных факторов.

С 1 октября 2024 г. введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 71618-2024 «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации» [6], который может быть использован при определении гарантийного срока эксплуатации огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций, при этом он не распространяется на определение их пределов огнестойкости.

Данная работа посвящена оценке сохранения огнезащитных свойств при кли-

матическом старении в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1 по ГОСТ 15150-69 [7]) на примере современного огнезащитного покрытия.

### Материалы и методы

Объектом исследования является огнезащитное покрытие в составе:

- антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ» (ТУ 2312-015-12943630-2017) толщиной сухого слоя не менее 0,08 мм;

- двухкомпонентного огнезащитного антикоррозионного состава «ДЕКОТЕРМ-ЭПОКСИ» (ТУ 2312-010-12943630-2016) толщиной сухого слоя не менее 0,78 мм;

- финишного покрытия двухкомпонентной полиуретановой грунт-эмали «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» (ТУ 2312-014-12943630-2017) толщиной сухого слоя не менее 0,05 мм.

В качестве образцов используются стальные пластины из листовой стали марки 08кп и 08пс по ГОСТ 16523-97 [8] и ГОСТ 9045-93 [9] размером 600 × 600 × 5 мм с нанесенным с лицевой стороны огнезащитным покрытием. Допустимые отклонения по ширине и длине стальной пластины не превышают  $\pm 5$  мм, а по толщине –  $\pm 0,5$  мм. Обратная сторона и кромки пластин окрашены шпатлевкой ЭП-0010 по ГОСТ 28379-89 [10], которая обеспечивает защиту окрашиваемой поверхности в течение всего срока климатических испытаний. Для проведения испытаний использовали четыре образца. Один из них – контрольный, который не подвергался воздействию ускоренных климатических факторов.

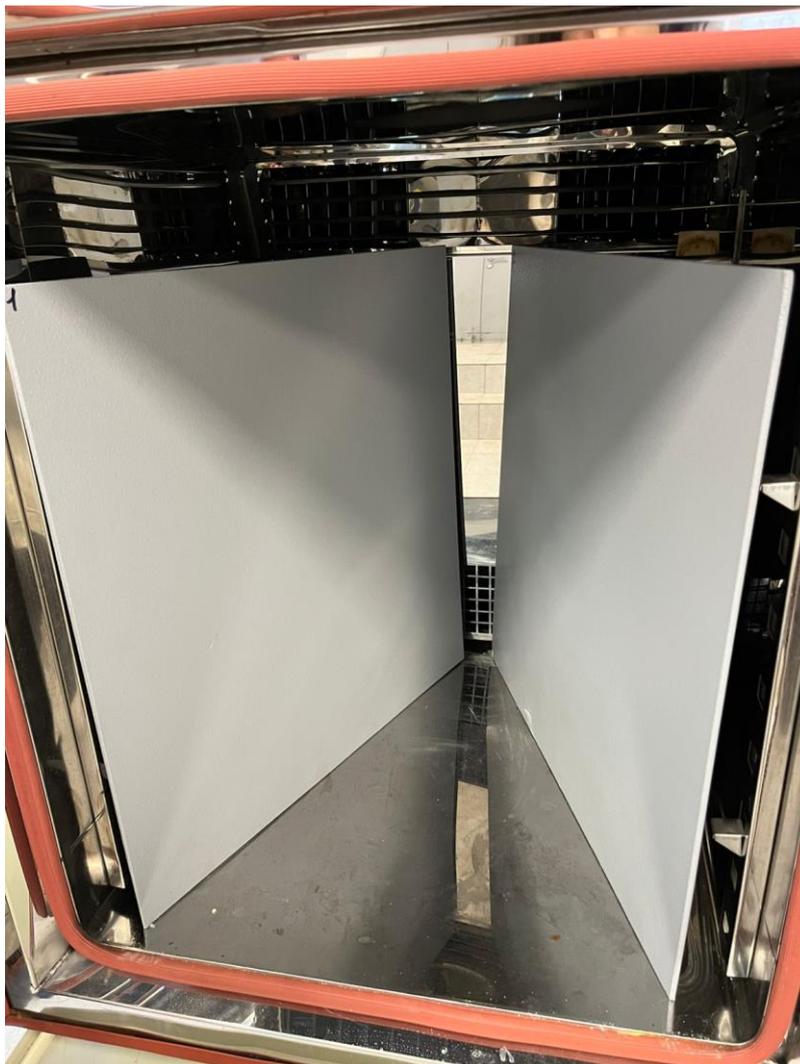
Согласно программе испытаний проводилось циклическое искусственное старение образцов по методу 6 ГОСТ 9.401-2018 [11], после чего осуществлялась оценка стойкости огнезащитных покрытий к воздействию климатических факторов и сохранности огнезащитных свойств в процессе эксплуатации двумя

методами: термическим анализом по ГОСТ Р 53293-99 [12] и огнезащитной эффективностью по ГОСТ Р 53295-2009 [13].

Искусственное старение проводили на 5, 15 и 25 лет. На рис. 1 представлен внешний вид образцов в климатической камере перед началом испытаний.

Визуальную оценку состояния покрытия после искусственного старения

проводили по п. 9 ГОСТ 9.407-2015 [14]. При визуальном осмотре состояния покрытия оценивались виды разрушений, характеризующие декоративные и защитные свойства: растрескивание, отслаивание, образование пузырей, растворение, сморщивание, коррозия металла, изменение цвета, меление и грязеудержание.



**Рис. 1.** Образцы в климатической камере TN-225 C перед началом испытаний  
**Fig. 1.** Samples in the TN-225 C climate chamber before the start of testing

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах

Table 1

The test mode, the sequence of movement and the holding time of the samples in the apparatus

Аппаратура Equipment	Параметры испытаний Test parameters		Время выдержки образцов в одном цикле, ч Sample holding time in one cycle, h
	Температура, °С Temperature, °С	Относительная влажность, % Relative humidity, %	
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	+40 (± 2)	+97 (+ 3)	2
Испытательная камера с напуском сернистого газа SO <sub>2</sub> LRHS-297-RSO <sub>2</sub> , заводской номер LP20-1351 (концентрация SO <sub>2</sub> (5+1) мг/м <sup>3</sup> ) Test chamber with SO <sub>2</sub> sulfur dioxide intake RHS-297-RSO <sub>2</sub> , serial number LP 20-1351 (concentration of SO <sub>2</sub> (5+1) mg/m <sup>3</sup> )	+40 (± 2)	97 (+ 3)	2
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	-30 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	6
УФ-камера для испытаний на атмосферостойкость UV-ST-260, заводской номер LP 202209UV008: режим 3 мин орошения, 17 мин без орошения UV weather resistance test chamber UV-ST-260, serial number LP 202209UV008: 3 min irrigation mode, 17 min without irrigation	+60 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	5
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	-60 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	3
Выдержка на воздухе	15–30	Не более 80	6

Exposure to air		No more than 80	
ИТОГО TOTAL			24

Допустимый уровень ухудшения защитных свойств должен быть не более 3 баллов (А33) по ГОСТ 9.407-2015 [14]. При этом площадь разрушения покрытия не должна превышать 15 % поверхности изделия, площадь коррозионного разрушения – не более 1 %.

Оценку прогнозируемого срока службы выполняли по п. 6.5.9. ГОСТ 9.401-2018 [11]. Коэффициент ускорения  $K_u$  принимался равным 41 для условий ХЛ1, УХЛ1.

Оценку сохранности огнезащитных свойств методами термического

анализа, подготовку образцов и проведение испытаний выполняют согласно ГОСТ Р 53293-99 [12].

Для получения идентификационных характеристик образцов применяли автоматизированный прибор термического анализа, имеющий программное обеспечение для обработки результатов, термоанализатор синхронный модификации STA 449 F5 Jupiter STA, 60486-15, заводской номер STA449F5B-0328-M.

Условия проведения термического анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Условия проведения термического анализа

Table 2

Conditions of thermal analysis

Условия испытаний Test conditions	Используемый метод (модуль) Used method (module)
	ТГ TG
Термопара (материал) Thermocouple (material)	платина/платино-родий platinum/platinum
Тигель (материал, объем) Crucible (material, volume)	корунд, 1 см <sup>3</sup> corundum, 1 cm <sup>3</sup>
Масса образца, мг Sample weight, mg	10
Форма образца The shape of the sample	порошок powder
Атмосфера Atmosphere	аргон argon
Расход газа, мл/мин Gas consumption, ml/min	30
Скорость нагрева, °С/мин Heating speed, °C/min	10
Конечная температура нагрева, °С Final heating temperature, °C	1000

По результатам термического анализа определяются следующие значимые идентификационные характеристики:

– потеря массы при температурах: 200, 300, 400, 500 °С (по ТГ-кривым);

– зольный остаток при температуре 1 000 °С (по ТГ-кривым);

– температура при потере массы: 5, 10, 20, 30, 50 % (по ТГ-кривым);

- температура максимума скорости потери массы (по ДТГ-кривым);

- максимальная скорость потери массы (по ДТГ-кривым).

По результатам термического анализа проводится оценка сохранности огнезащитных свойств по ряду критериев. По характеристикам термоаналитических кривых и расчетным данным покрытие сохраняет свои огнезащитные свойства при соблюдении следующих условий: зависимости термогравиметрические (ТГ), термогравиметрические по производной (ДТГ) имеют подобный вид: соответственно совпадает количество интервалов деструкции и совпадает количество пиков ДТГ.

Оценка огнезащитной эффективности покрытий проводится по п. 6 ГОСТ Р 53295-2009 [13]. Сущность метода заключается в одностороннем тепловом воздействии на образец и определении времени от начала теплового воздействия на образец до наступления предельного состояния этого образца. Режим теплового воздействия задается в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 [15].

В процессе проведения испытаний регистрируются следующие показатели:

- время достижения металлом испытанного образца предельного состояния – температуры, равной 500 °С (среднее значение по показаниям трех термопар);

- изменение температуры в печи;

- поведение огнезащитного покрытия (вспучивание, обугливание, отслоение, выделение дыма, продуктов горения и т. д.);

- изменение температуры на необогреваемой поверхности испытанного образца.

За положительный результат испытаний принимается время достижения предельного состояния металлом испытанного образца после ускоренных климатических испытаний, отличающееся от результатов испытаний образца исходного без старения менее чем на 20 % в сторону уменьшения.

#### **Результаты ускоренных климатических испытаний**

Внешний вид покрытий после ускоренных климатических испытаний представлен на рис. 2–4. Оценка состояния проводят при помощи микроскопа (рис. 5).

Обобщенные результаты ускоренных климатических испытаний приведены в табл. 3.

По результатам оценки декоративных и защитных свойств прогнозируемый срок службы покрытия составляет не менее 25 лет.

#### **Оценка сохранности огнезащитных свойств методами термического анализа**

Термоаналитические кривые образцов представлены на рис. 6–9. ТГ-кривая потери массы изображена сплошной линией. ДТГ-кривая скорости потери массы представлена штрихпунктирной линией.

По результатам термического анализа были определены значимые идентификационные характеристики, представленные в табл. 4–7.



**Рис. 2.** Состояние покрытия после 45 циклов старения

**Fig. 2.** The condition of the coating after 45 aging cycles



**Рис. 3.** Состояние системы покрытия после 134 цикла старения

**Fig. 3.** The condition of the coating system after 134 aging cycles



**Рис. 4.** Состояние системы покрытия после 224 циклов старения

**Fig. 4.** The condition of the coating system after 224 aging cycles



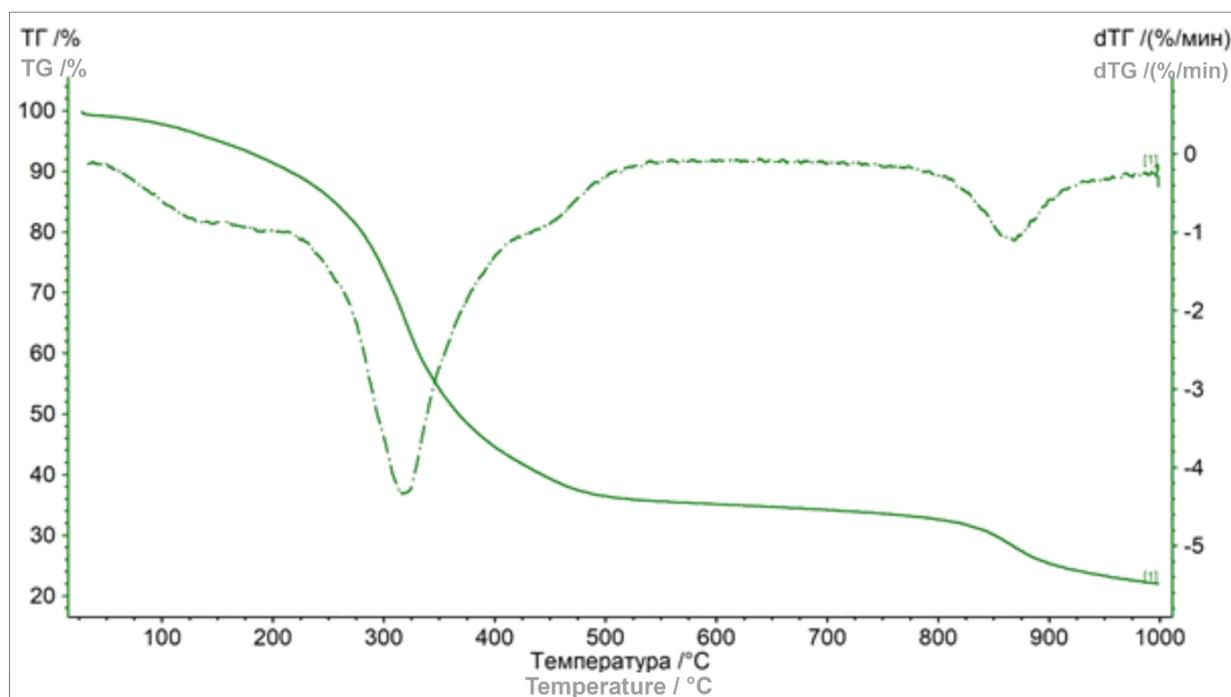
**Рис. 5.** Состояние поверхности системы покрытия после 224 циклов старения при 4-кратном увеличении микроскопа

**Fig. 5.** Surface conditions of the coating system after 224 aging cycles at 4 magnification of the microscope

**Таблица 3**  
 Результаты ускоренных климатических испытаний

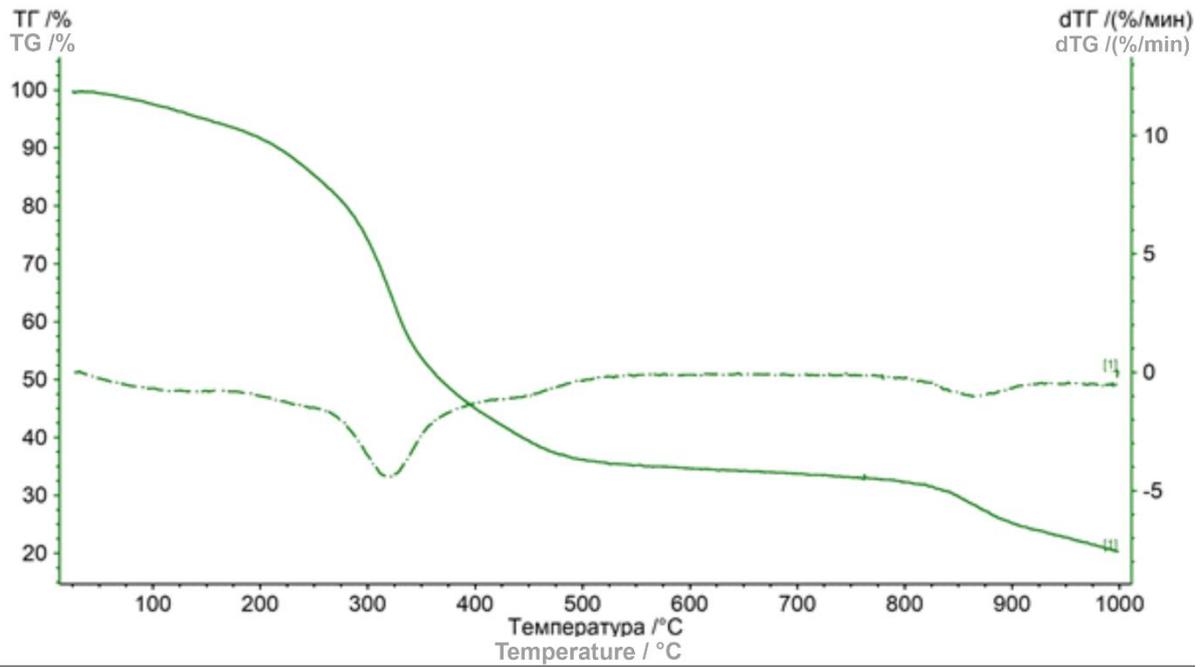
**Table 3**  
 Results of accelerated climate tests

Наименование показателя Indicator name	Нормативный документ на метод Regulatory document for the method	Кол-во циклов Number of cycles	Состояние покрытия Coverage status	Результат, лет Result, years
Срок службы Service life	ГОСТ 9.401-2018 [7] GOST 9.401-2018	45	без изменений (рис. 2) no changes (fig. 2)	5
		134	без изменений (рис. 3) no changes (fig. 3)	15
		224	слабое посветление (рис. 4) weak illumination (Fig. 4)	25

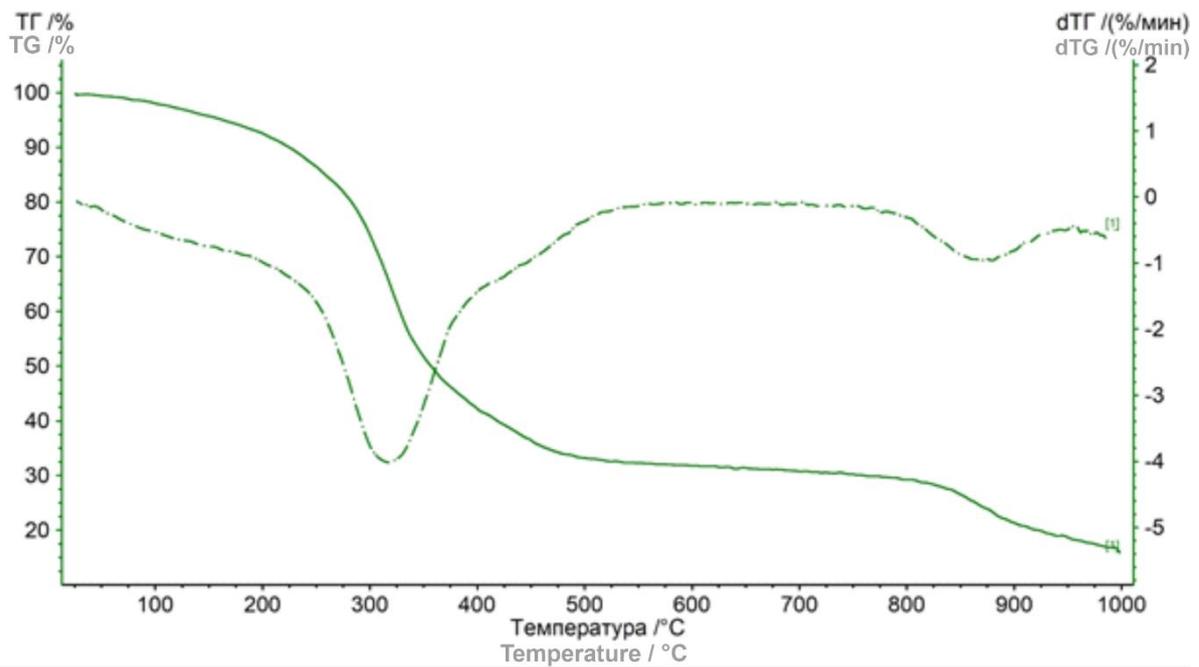


**Рис. 6.** Термоаналитические кривые контрольного образца без старения

**Fig. 6.** Thermoanalytical curves of the control sample without aging



**Рис. 7.** Термоаналитические кривые образца после 45 циклов старения  
**Fig. 7.** Thermoanalytical curves of the sample after 45 aging cycles



**Рис. 8.** Термоаналитические кривые образца после 134 циклов старения  
**Fig. 8.** Thermoanalytical curves of the sample after 134 aging cycles

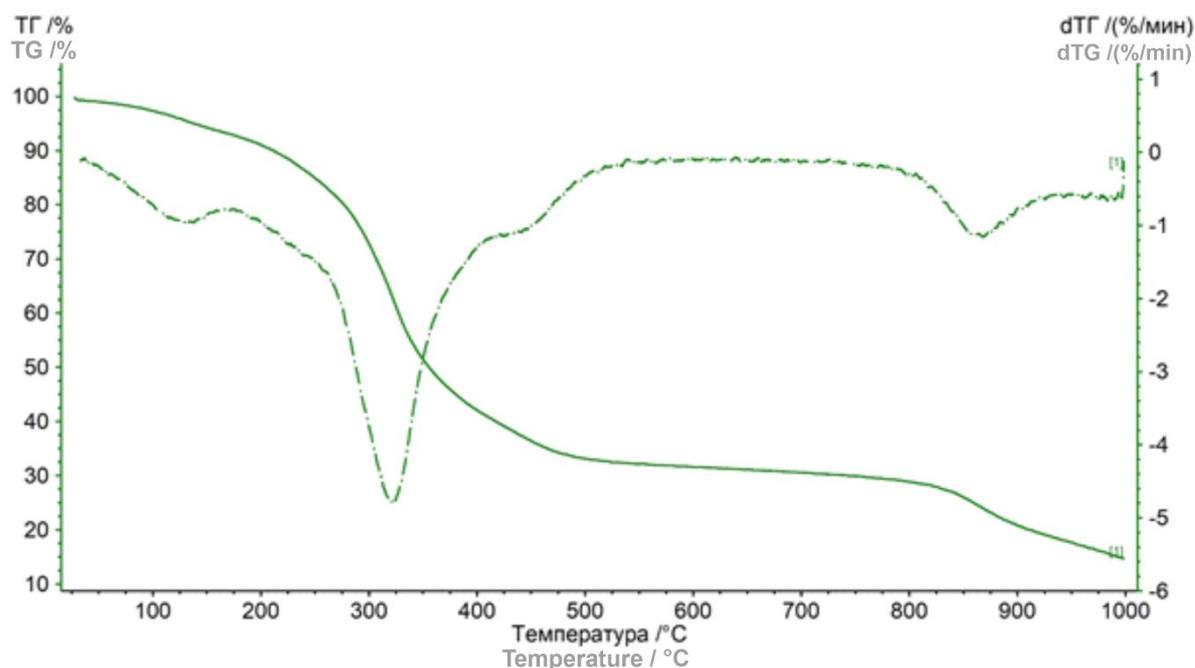


Рис. 9. Термоаналитические кривые образца после 224 циклов старения

Fig. 9. Thermoanalytical curves of the sample after 224 aging cycles

Таблица 4

Значимые идентификационные характеристики термического анализа контрольного образца без старения

Table 4

Significant identification characteristics of thermal analysis control sample without aging

	Потеря массы $\Delta m$ , %, при температуре, °C Mass loss $\Delta m$ , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	$\Delta m_{200}$	$\Delta m_{300}$	$\Delta m_{400}$	$\Delta m_{500}$	
$\Delta m_{cp}$	8,77	26,5	56,81	64,65	21,9
$\sigma$	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
$\sigma^2$	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы Temperature, °C, with weight loss	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
$T_{cp}$	134,98	210,98	279,98	310,98	370,98
$\sigma$	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
$\sigma^2$	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пику в температурном интервале (температура максимума, $T_{max}$ /максимальная скорость потери массы, $A_{max}$ , %/мин) Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, $T_{max}$ /maximum mass loss rate, $A_{max}$ , %/min)					
Интервал, °C Interval, °C	200–500			700–1000	

$T_{\max \text{ ср}}$	316,45/4,31	867,74/1,15
$\sigma$	2,1/0,57	1,1/1,21
$\sigma^2$	8,6/0,20	1,4/0,29

**Таблица 5**

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 45 циклов старения

**Table 5**

Significant identification characteristics of the thermal analysis of the sample after 45 aging cycles

	Потеря массы $\Delta m$ , %, при температуре, °C Mass loss $\Delta m$ , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	$\Delta m_{200}$	$\Delta m_{300}$	$\Delta m_{400}$	$\Delta m_{500}$	
$\Delta m_{\text{ср}}$	7,56	26,57	58,03	66,83	21,5
$\sigma$	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
$\sigma^2$	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы Temperature, °C, with weight loss	$T_5\%$	$T_{10}\%$	$T_{20}\%$	$T_{30}\%$	$T_{50}\%$
$T_{\text{ср}}$	146,25	216,25	281,25	311,25	356,25
$\sigma$	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
$\sigma^2$	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, $T_{\max}$ /максимальная скорость потери массы, $A_{\max}$ , %/мин Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, $T_{\max}$ /maximum mass loss rate, $A_{\max}$ , %/min)					
Интервал, °C Interval, °C	200–500			700–1000	
$T_{\max \text{ ср}}$	317,68/4,02			871,45/1,11	
$\sigma$	2,1/0,57			1,1/1,21	
$\sigma^2$	8,6/0,20			1,4/0,29	

**Таблица 6**

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 134 циклов старения

**Table 6**

Significant identification characteristics of the thermal analysis of the sample after 134 aging cycles

	Потеря массы $\Delta m$ , %, при температуре, °C Mass loss $\Delta m$ , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	$\Delta m_{200}$	$\Delta m_{300}$	$\Delta m_{400}$	$\Delta m_{500}$	
$\Delta m_{\text{ср}}$	6,98	29,23	41,06	69,88	15,73
$\sigma$	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
$\sigma^2$	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01

Температура, °С, при потере массы Temperature, °С, with weight loss	$T_5\%$	$T_{10}\%$	$T_{20}\%$	$T_{30}\%$	$T_{50}\%$
$T_{cp}$	126,41	206,41	280,41	319,41	360,41
$\sigma$	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
$\sigma^2$	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, $T_{max}$ /максимальная скорость потери массы, $A_{max}$ , %/мин Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, $T_{max}$ /maximum mass loss rate, $A_{max}$ , %/min)					
Интервал, °С Interval, °С	200–500			700–1000	
$T_{max\ cp}$	338,52/4,89			861,45/1,12	
$\sigma$	2,1/0,57			1,1/1,21	
$\sigma^2$	8,6/0,20			1,4/0,29	

**Таблица 7**

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 224 циклов старения

**Table 7**

Significant identification characteristics of the thermal analysis of the sample after 224 aging cycles

	Потеря массы $\Delta m$ , %, при температуре, °С Mass loss $\Delta m$ , %, at temperature, °С				Зольный остаток, %, (1 000 °С) Ash residue, %, (1 000 °С)
	$\Delta m_{200}$	$\Delta m_{300}$	$\Delta m_{400}$	$\Delta m_{500}$	
$\Delta m_{cp}$	7,82	30,24	40,11	70,89	14,85
$\sigma$	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
$\sigma^2$	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °С, при потере массы Temperature, °С, with weight loss	$T_5\%$	$T_{10}\%$	$T_{20}\%$	$T_{30}\%$	$T_{50}\%$
$T_{cp}$	130,41	225,41	290,41	330,41	370,41
$\sigma$	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
$\sigma^2$	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, $T_{max}$ /максимальная скорость потери массы, $A_{max}$ , %/мин Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, $T_{max}$ /maximum mass loss rate, $A_{max}$ , %/min)					
Интервал, °С Interval, °С	200–500			700–1000	
$T_{max\ cp}$	350,52/4,89			876,45/1,12	
$\sigma$	2,1/0,57			1,1/1,21	
$\sigma^2$	8,6/0,20			1,4/0,29	

Анализ идентификационных термоаналитических характеристик огнезащитного покрытия контрольного образца и состаренных образцов в температурном интервале испытаний показал следующее:

– подобие сравниваемых термоаналитических кривых во всем температурном интервале сравнения (рис. 10);

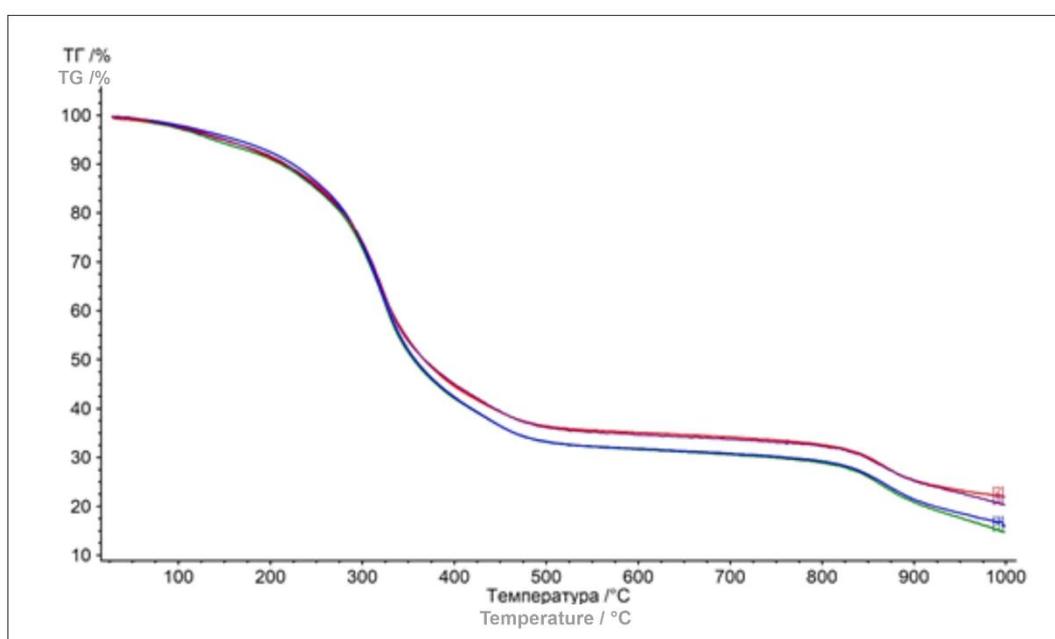
– при сравнении значимых идентификационных характеристик исследованных огнезащитных покрытий с использованием экспериментально полученных и теоретически рассчитанных статистиче-

ских критериев существенных расхождений не обнаружено.

На основании вышеизложенного можно заключить, что по термоаналитическим характеристикам огнезащитные свойства покрытия контрольного и состаренных образцов идентичны.

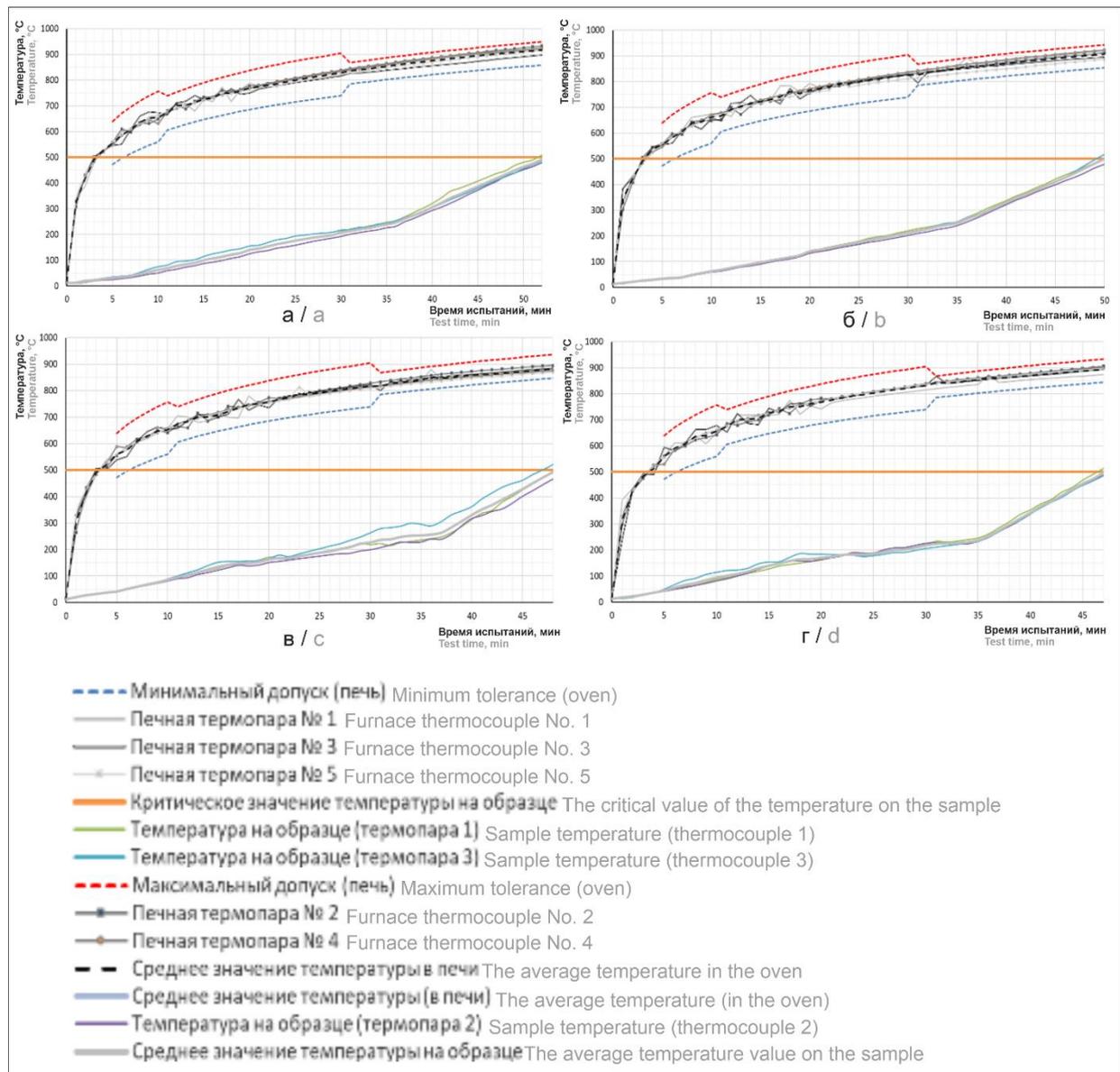
#### Оценка сохранности огнезащитной эффективности

Зависимости изменения температуры в печи и на образцах при испытаниях по ГОСТ Р 53295-2009 [13] представлены на рис. 11.



**Рис. 10.** ТГ-кривые образцов огнезащитного покрытия: красная линия – контрольный без старения; фиолетовая линия – после 45 циклов старения; синяя линия – после 134 циклов старения; зеленая линия – после 224 циклов старения

**Fig. 10.** TG-curves of flame retardant coating samples: red line – control without aging; purple line – after 45 aging cycles; The blue line is after 134 aging cycles; the green line is after 224 aging cycles

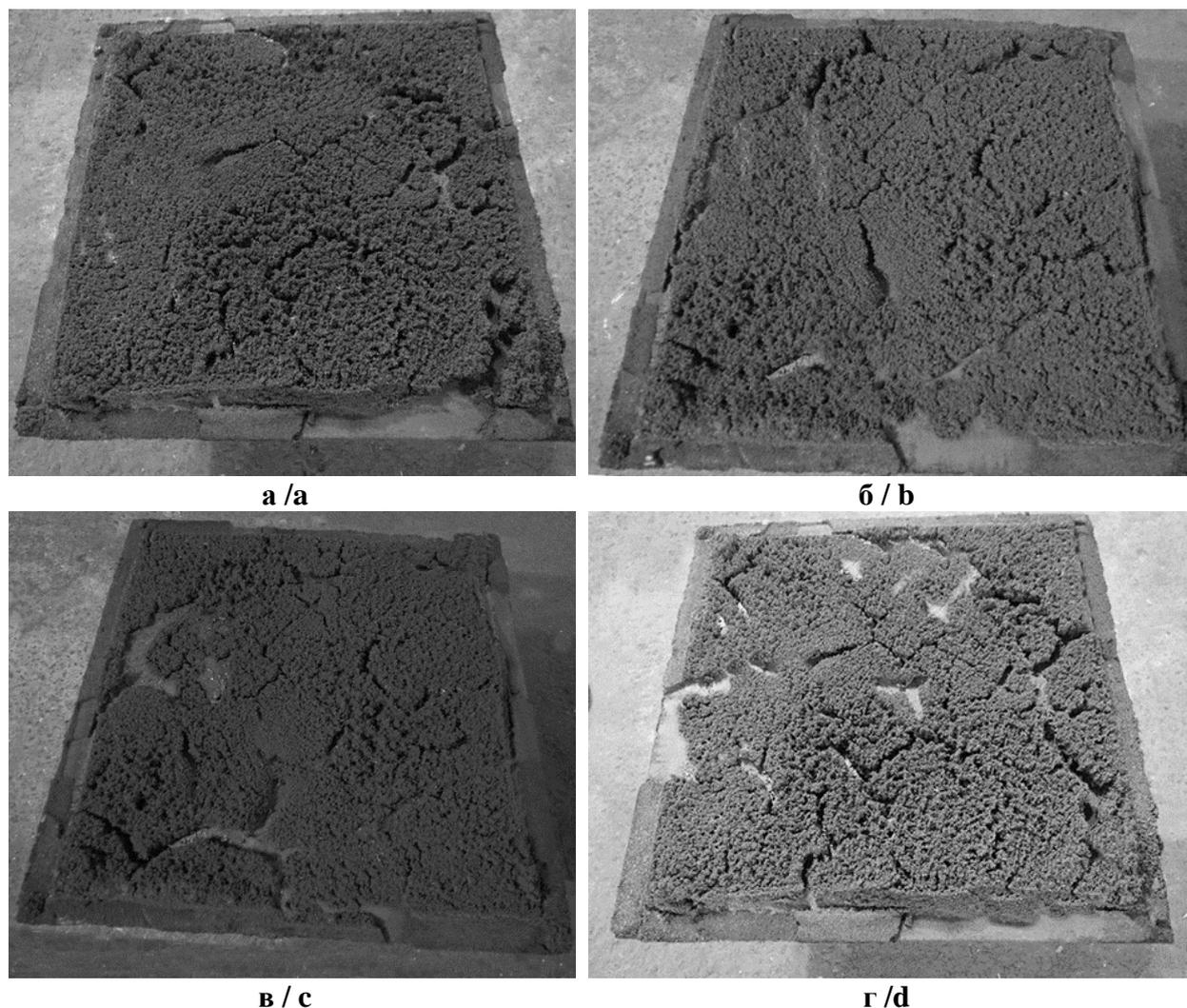


**Рис. 11.** Изменение температуры в печи и на образце в процессе испытания:  
 а) контрольный без старения; б) после 45 циклов старения; в) после 134 циклов старения;  
 г) после 224 циклов старения

**Fig. 11.** Temperature change in the furnace and on the sample during the test: a) control without aging; b) after 45 aging cycles; c) after 134 aging cycles; d) after 224 aging cycles

Внешний вид образцов после огневых испытаний представлен на рис. 12.

По результатам испытаний установлено, что время достижения критической температуры 500 °С на образцах составило: контрольный без старения – 52 мин; после 45 циклов старения – 50 мин; после 134 циклов старения – 48 мин; после 224 циклов старения – 47 мин.



**Рис. 12.** Образцы после проведения огневых испытаний: а) контрольный без старения; б) после 45 циклов старения; в) после 134 циклов старения; г) после 224 циклов старения  
**Fig. 12.** Samples after fire tests: a) control without aging; b) after 45 aging cycles; c) after 134 aging cycles; d) after 224 aging cycles

### Заключение

При анализе полученных данных установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения несколько снизилась и составила приблизительно 10 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 224 циклах. То есть можно прогнозировать сохранение огнезащитной эффективности в течение 25 лет эксплуатации покрытия.

Таким образом, прогнозируемый срок службы испытанной системы покры-

тия на основе антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ», атмосферостойкой огнезащитной краски «ДЕКОТЕРМ-ЭПОКСИ» и двухкомпонентной полиуретановой грунт-эмали «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1) с сохранением огнезащитной эффективности при условии соблюдения всех требований технологического процесса получения покрытия составляет не менее 25 лет.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ТР ЕАЭС 043/2017. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения : технический регламент Евразийского экономического союза : 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: 04.12.2024).
2. Разработка методов испытаний огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации / М. А. Комарова [и др.] // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 21–34.
3. Flame Retardant Coatings: Additives, Binders, and Fillers / M.M.S. Mohd Sabee et. al. // Polymers (Basel). 2022. № 14.
4. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. № 10, 185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
5. Докучаева Л. В., Старостенков А. С., Мельников Н. О. Исследование процессов ускоренного старения огнезащитных покрытий // Специальная химия, пожарная и промышленная безопасность. 2012. Т. 26, № 2 (131). С. 99–104.
6. ГОСТ Р 71618-2024. Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 сентября 2024 г. № 1256-ст : введен впервые : дата введения 2024-10-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1307419803> (дата обращения: 04.12.2024).
7. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1969 г. № 1394 : введен впервые : дата введения 1971-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 04.12.2024).
8. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 4 апреля 1999 г. № 113 : введен впервые : дата введения 2000-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005334> (дата обращения: 04.12.2024).
9. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 20 февраля 1996 г. № 67 : введен впервые : дата введения 1997-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005968> (дата обращения: 04.12.2024).
10. ГОСТ 28379-89. Шпатлевки ЭП-0010 и ЭП-0020. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 19 декабря 1989 г. № 3837 : введен впервые : дата введения 1991-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020609> (дата обращения: 04.12.2024).
11. ГОСТ 9.401-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 13 сентября 2018 г. № 603-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160589> (дата обращения: 04.12.2024).
12. ГОСТ Р 53293-99. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 69-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (дата обращения: 04.12.2024).
13. 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 : вве-

ден впервые : дата введения 2010-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913> (дата обращения: 04.12.2024).

14. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 июня 2015 г. № 618-ст : введен впервые : дата введения 2016-03-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121786> (дата обращения: 04.12.2024).

15. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Минстроя России от 23 марта 1995 г. № 18-26 : введен впервые : дата введения 1996-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121786> (дата обращения: 04.12.2024).

#### REFERENCES

1. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On requirements for fire safety and fire extinguishing equipment" (TR EAEU 043/2017). (rus).
2. Komarova M.A., Grishin I.A., Shabalin M.V., Melnikov N.O. Development of test methods for fire-resistant coatings of steel building structures during operation. Bulletin of the NIC Construction. 2024; 1 (40): 21–34. DOI 10.37538/2224-94-2024-1(40)-21-34. (rus).
3. Mohd Sabee M.M.S, Itam Z., Beddu S., Zahari N.M., Mohd Kamal N.L., Mohamad D., Zulkepli N.A., Shafiq M.D., Abdul Hamid Z.A. Flame Retardant Coatings: Additives, Binders, and Fillers. Polymers (Basel). 2022; 14. doi: 10.3390/polym14142911.
4. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. Buildings. 2020; 10: 185. DOI: 10.3390/buildings10100185
5. Dokuchaeva L.V., Starostenkov A.S., Melnikov N.O. Investigation of the processes of accelerated aging of fire-resistant coatings. Special chemistry, fire and industrial safety. 2012; 2(131): 99–104. (rus).
6. GOST R Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. (rus).
7. GOST 15150-69 Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, conditions of operation, storage and transportation in terms of exposure to climatic factors of the environment. (rus).
8. GOST 16523-97 Rolled thin-sheet carbon steel of high quality and ordinary quality for general purpose. Technical conditions. (rus).
9. GOST 9045-93 Cold-rolled thin sheets of low-carbon quality steel for cold forming. Technical conditions. (rus).
10. GOST 28379-89 Putties ЭП-0010 and ЭП-0020. Specifications. (rus).
11. GOST 9.401-2018 Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. General requirements and methods of accelerated tests on resistance to the influence of climatic factors. (rus).
12. GOST R 53293-99 Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. (rus).
13. GOST R 53295-2009 Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. (rus).
14. GOST 9.407-2015 Unified system of protection against corrosion and aging. Paint and varnish coatings. Method of evaluation of appearance. (rus).
15. GOST 30247.0-94 Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. (rus).

#### Информация об авторах

**Комарова Мария Александровна**, кандидат химических наук, руководитель научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Россия, 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; РИНЦ ID: 1253773;

#### Information about the authors

**Maria A. Komarova**, Cand. Sci. (Chem.), Bureau Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; ID RISC:

e-mail: [mariya.kom5@mail.ru](mailto:mariya.kom5@mail.ru)

**Мельников Никита Олегович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией исследований огнестойкости строительных конструкций научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Россия; 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; доцент кафедры техносферной безопасности, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1; РИНЦ ID: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: [no.melnikov@yandex.ru](mailto:no.melnikov@yandex.ru)

**Шалабин Михаил Валерьевич**, аспирант, заведующий лабораторией противопожарного нормирования в строительстве научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Россия, 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; РИНЦ ID: 1229206; e-mail: [shalabinm@mail.ru](mailto:shalabinm@mail.ru)

**Скоробогатов Виталий Александрович**, генеральный директор ООО «ТЕРРИТОРИЯ», Россия, 143430, Московская область, г. о. Красногорск, рп. Нахабино, ул. Вокзальная, д. 25Б, офис 6; e-mail: [skorobogatov.ntc@yandex.ru](mailto:skorobogatov.ntc@yandex.ru)

**Головина Екатерина Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: [ekaterinagolovina@yandex.ru](mailto:ekaterinagolovina@yandex.ru)

1253773;

e-mail: [mariya.kom5@mail.ru](mailto:mariya.kom5@mail.ru)

**Nikita O. Melnikov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction; 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; Associate Professor, Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, 125047, Moscow 9 Miuskaya Square, building 1, ID RISC: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: [no.melnikov@yandex.ru](mailto:no.melnikov@yandex.ru)

**Mikhail V. Shalabin**, Graduate Student, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; ID RISC: 1229206; e-mail: [shalabinm@mail.ru](mailto:shalabinm@mail.ru)

**Vitaly A. Skorobogatov** Deputy General Director LLC "TERRITORY", 143430, Moscow region, Krasnogorsk, Nakhabino district, 25B Vokzalnaya str., office 6; e-mail: [skorobogatov.ntc@yandex.ru](mailto:skorobogatov.ntc@yandex.ru)

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

УДК 621.396.98+614.8.084

## **АЛГОРИТМ КООРДИНАТНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

**Дмитриев Сергей Александрович**

Акционерное общество «РТ-Пожарная безопасность» Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех», г. Москва, Россия

### **АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена разработке математической модели для повышения точности координатного управления робототехническими комплексами в рамках пожарно-спасательных операций МЧС России. Применение разработанной модели позволит обеспечить точное и эффективное перемещение робототехнических комплексов даже в условиях ограниченной видимости или радиодоступности. Алгоритм управления включает сравнение фактических и запланированных траекторий движения, что позволяет своевременно корректировать отклонения и повышать точность соответствующих маневров. Предлагаемая модель основывается на распределении Рэлея для оценки вероятностных характеристик и корректировки погрешностей измерений. Это обеспечивает адаптивность управления и уменьшение риска при выполнении спасательных операций. Целью данного исследования является повышение точности координации при управлении робототехническими комплексами в рамках пожарно-спасательных операций. Практическая реализация предложенных методик направлена на поддержку управленческих решений, оптимизацию управления движения и снижение неблагоприятных воздействий внешней среды на результат работы роботов. Данные разработки важны для перехода от ручного управления к автономным системам, существенно улучшая качество выполнения аварийно-спасательных работ. Разработанная модель может быть применена в управлении существующими робототехническими комплексами, такими как РТС ЕЛЬ-4, МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС и другими отечественными разработками.

**Ключевые слова:** робототехнический комплекс, координатное управление, информационный ресурс управления, чрезвычайные ситуации, поддержка управленческих решений, точность управления, математическая модель

## **ALGORITHM OF COORDINATE CONTROL OF ROBOTIC COMPLEXES IN EMERGENCY SITUATIONS USING A MATHEMATICAL MODEL**

**Sergey A. Dmitriev**

Joint-Stock Company "RT-Fire Safety" of the State Corporation for assistance to the development, production and export of high-tech industrial products "Rostec", Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

The article is devoted to the development of a mathematical model for increasing the accuracy of coordinate control of robotic complexes within the framework of fire and rescue operations of EMERCOM of Russia. The application of the developed model will ensure precise and efficient movement of robotic complexes, even in conditions of limited visibility or radio accessibility. The control algorithm includes a comparison of actual and planned movement trajectories, that allows for timely correction of deviations and increases the accuracy of the corresponding maneuvers. The proposed model is based on the Rayleigh distribution for assessing probabilistic characteristics and correcting measurement errors. This ensures adaptability of control and risk reduction during rescue operations. The aim of this study is to increase the accuracy of coordination in the control of robotic complexes in fire and rescue operations. The practical implementation of the proposed methods is aimed at supporting management decisions, optimizing motion control, and reducing the adverse environmental impacts on the result of robots' performance. These developments are important for the transition from manual control to autonomous systems, significantly improving the quality of emergency rescue operations. The developed model can be applied in the control of existing robotic complexes, such as the RTS EL-4, MRUP-SP-G-TV-U-40-17KS, and other domestic developments.

**Keywords:** robotic complex, coordinate control, control information resource, emergency situations, management decision support, control accuracy, mathematical model

## Введение

Концепция развития робототехнических комплексов – (РТК) специального назначения в системе МЧС России до 2030 г. в настоящее время определяет необходимость проведения исследований, направленных на разработку систем управления группами робототехнических средств и переход от дистанционно управляемых к автономным комплексам [1].

Важность решения этих задач связана, с одной стороны, с развитием технологий создания РТК, прежде всего таких как: техническое зрение, малогабаритные источники энергии, MASH [2-6], с другой, – с новыми задачами, возлагаемыми на робототехнические подразделения МЧС России, которые прежде всего предполагают применение РТК вне зоны прямой видимости оператора, а в некоторых случаях – и вне зоны радиодоступности [7–9].

Одной из актуальных задач, необходимость решения которой определяется при переходе от ручного к автоматическому управлению, является разработка математической модели описания перемещения РТК в заданной системе координат. Необходимо отметить, что к настоящему времени опубликованы работы по управлению движением объектов [10–12]. Более того, в ряде национальных стандартов Российской Федерации содержатся положения, имеющие непосредственное отношение к рассматриваемой задаче [13–17]. В них определены и установлены:

- 1) перечень маневров, которые должно выполнять беспилотное воздушное судно;

- 2) системы координат для роботов, виды основных перемещений и их обозначения;

- 3) общие требования к беспилотным авиационным системам, используемым для пожаротушения, а также для прове-

дения аварийно-спасательных и других операций;

4) порядок согласования и стандартизированного подхода ко всем процедурам, связанным с гражданскими беспилотными авиационными системами;

5) понятийный аппарат в рассматриваемой области.

В общем случае управление РТК сводится к задаче придать им такое движение, какое необходимо в ходе проведения пожарно-спасательных работ, возникающих в чрезвычайных ситуациях. При этом процесс управления ими во многом сводится к сравнению действительного движения с навязываемым ему движением, а также к соответствующему реагированию корректировкой, если обнаруживается различие.

Исходя из этого, делается вывод, что математическая модель как информационный ресурс поддержки координатного управления движением РТК должна обладать следующими свойствами:

1) располагать информацией о заранее навязываемом движении РТК и информацией о действительном его движении;

2) сравнивать между собой эти движения для получения информации об их рассогласовании;

3) обрабатывать эту информацию для выработки воздействий на исполнительные механизмы РТК, чтобы устранять возникшее рассогласование.

Важной обобщенной характеристикой этого процесса можно считать точность управления. Алгоритм ее обоснования приведен, в частности, в [18], в предположении, что отклонение действительного расстояния РТК до центра заданной ограниченной круговой области, в которую он должен попасть при достижении заданной цели управления, распределено по усеченному справа распределению Рэля. Сравнение усеченной модели с классической моделью

распределения показало преимущество и целесообразность применения ее при обосновании требований к точности координатного управления РТК.

Однако, в исследовании [18], проведенном авторами Пицыком В.В. и Дмитриевым С.А., не изучено влияние погрешностей измерения фактического движения РТК на результаты координатного управления. Поэтому необходимо разработать усовершенствованную модель интеллектуальной поддержки координатного управления РТК, учитывающую влияние погрешности измерения фактического движения на результаты координатного управления, чтобы повысить точность управления РТК.

#### Постановка задачи

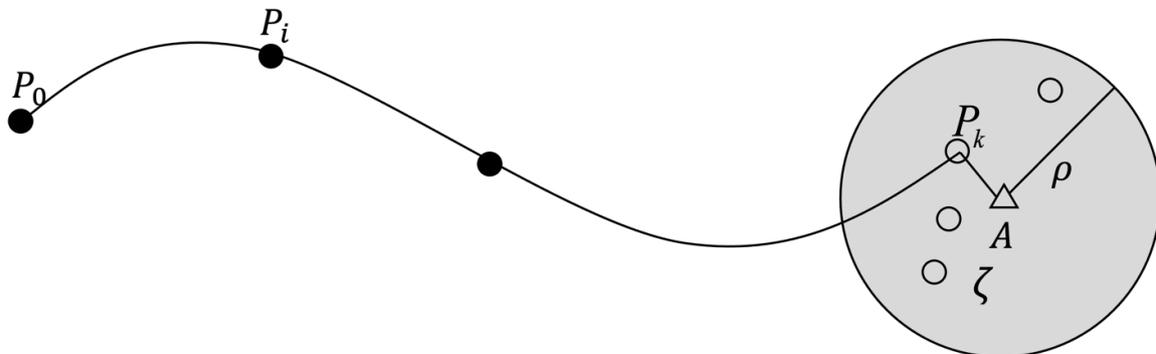
Основные исходные данные, необходимые для разработки алгоритма координатного управления РТК, представлены в виде требований и ограничений  $\Omega$ , касающихся системы координатного управления РТК, включая спецификации по маневрам и характеристикам системы, а также описания характеристик погрешностей измерений координат, таких как ошибки позиционирования и временные задержки, которые влияют на точность управления.

Ограничение 1 ( $\Omega_1$ ). Главная цель координатного управления РТК состоит в том, чтобы направить его в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режиме управления из начального положения  $P_0$  в заданную область  $\zeta$  пространства  $E_m$ , в которой им будут проводиться специальные работы в составе пожарно-спасательных подразделений. Задача будет рассматриваться в общем и упрощенном виде. Рассматриваемая область описывается окружностью радиуса  $r$  с центром в точке  $A$  (рис. 1). При этом цель управления считается достигнутой, если в конце своего движения объект окажется в

точке  $P_k \in \zeta$ , для которой выполняется следующее условие:

$$h_k = |AP_k| \leq \rho, \quad (1)$$

где  $h_k$  – расстояние до точки  $k$ ,  $m$ ;  $\rho$  – заданная положительная величина,  $m$ .



**Рис. 1.** Траектория движения РТК: точки  $P_0, \dots, P_i, \dots, P_k$  обозначают фиксированное положение РТК на траектории; точка  $A$  – центр (для наглядности, круговой) области, в которую перемещается РТК;  $\rho$  – радиус круговой области  $\zeta$

**Fig. 1.** The trajectory of movement of the RTC: points  $P_0, \dots, P_i, \dots, P_k$  indicate the fixed position of the RTC on the trajectory; point  $A$  is the center (for clarity, circular) of the area to which the RTC moves;  $\rho$  is the radius of the circular area  $\zeta$

Предполагается, что это условие достижимо для используемых РТК, которые, согласно своей стратегии управления, могут двигаться, совершая маневры в пределах доступного радиуса кривизны траектории.

Ограничение 2 ( $\Omega_2$ ). Во многих случаях условие достижения цели управления может оказаться недостаточным, чтобы процесс управления протекал «наилучшим образом». А это значит, что условие (1) необходимо дополнить условием, характеризующим качество управления. Смысл такого условия можно пояснить, в частности, на примере применения РТК в ситуации, когда требуется доставить его к месту назначения настолько быстро, насколько позволяют обстоятельства. Или, когда потребуется проникнуть как можно быстрее внутрь заданной области. Или наконец, если ему необходимо оказаться как можно ближе к центру области (при прямолинейном равномерном движении РТК на конечном участке пути эти условия можно считать в известном смысле эквивалентными).

Управление и, следовательно, движение РТК завершаются, когда расстояние  $h_k$  не превысит заданной положительной величины  $h_0$ . Это требование, как условие достижения цели управления, эквивалентно выполнению цепочки отношений:

$$h_1 \geq \dots \geq h_i \geq \dots \geq h_k \leq h_0. \quad (2)$$

Ограничение 3 ( $\Omega_3$ ). Траектория движения РТК в силу различных причин может отличаться от заданной заранее или выбираемой в процессе его управления траектории. Это связано с тем, что информация о состоянии РТК, как объекта координатного управления, а также сведения о внешней среде и реакциях элементов системы управления на входные воздействия является неполной. И к тому же подверженными различного вида возмущающими воздействиями  $\vec{\xi} = \vec{\xi}(t)$ , включающими в себя также погрешности измерения собственного положения РТК для реализации выбранной стратегии управления его движением.

Поэтому справедливо предположить, что точка  $P_k$  случайным образом

изменяет свое положение в пространстве  $E_m$ . И ее координаты можно рассматривать как независимые, нормально распределенные случайные величины, имеющие одинаковые средние квадратические отклонения  $\sigma$ , а радиус  $r$  точки  $P_k$  – как случайную величину, распределенную по закону Релея в координатной плоскости, перпендикулярной вектору движения РТК [19]:

$$f_R(r, \sigma) = \begin{cases} 0, & \text{если } r = 0, \\ \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } r > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Ограничение 4 ( $\Omega_4$ ). Предполагается, что требование к точности управления движением РТК количественно выражено заданным размером (радиусом  $R$ ) круговой области  $\zeta$  и заданной вероятностью  $P_0 = P(r < R, \sigma)$ , зависящей от параметра  $\sigma$  закона (3), с которой он должен достичь этой области по завершению процесса управления.

Ограничение 5 ( $\Omega_5$ ). При оценке параметров распределения случайных погрешностей измерения движения РТК будем считать, что результаты  $\tilde{R}_k$  косвенного измерения дальности  $R_k$ :

$$\tilde{R}_k = |AP_k| = R_k + \delta_R. \quad (4)$$

аддитивно связаны со случайными, не смещенными погрешностями измерения  $\delta_R$  и, следовательно, представляют собой случайные величины, которые, согласно закону больших чисел, распределены по нормальному закону с неизвестным заранее средним квадратическим отклонением  $\sigma_r$ :

$$\varphi(\delta_r; \sigma_r) = \frac{1}{\sigma_r \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta_r^2}{2\sigma_r^2}}. \quad (5)$$

Ограничение 6 ( $\Omega_6$ ). Установим границы диапазона  $S$  для случайной величины  $r$ :  $\alpha < r < \beta$ , для оценки выполнения требований к управлению движением РТК с заданной вероятностью  $P_0$ :

$$P_0 = P(\alpha < r < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(r; \sigma) dr. \quad (6)$$

Для оценки работы системы координатного управления выполняется условие  $\alpha < \tilde{r} < \beta$ , т. к.  $r$  неизвестным  $\tilde{r}$ .

Вероятность  $\tilde{P}_0 = P(\alpha < \tilde{r} < \beta)$  будет отличаться от заданной вероятности  $P_0$  в зависимости от разницы между  $\tilde{r}$  и  $r$ , вызванной погрешностью  $\delta_r$ .

Такое различие можно рассматривать как допустимый риск управления. Задача формулируется следующим образом: необходимо установить зависимость  $\tilde{P}_0 = P(\alpha < \tilde{r} < \beta)$  от параметров  $\sigma$  и  $\sigma_r$ , а также найти значения  $\sigma_r$ , при которых вероятность достижения заранее установленного  $\tilde{P}_0$  будет подтверждена.

$$\tilde{P}_0 = P(\alpha < \tilde{r} < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} \omega_{RN}(\tilde{r}; \sigma, \sigma_r) d\tilde{r}, \quad (7)$$

где  $\omega_{RN}(\tilde{r}; \sigma, \sigma_r)$  – функция плотности распределения величины  $\tilde{r}$  – результата измерения случайного расстояния  $r$ ,  $m$ ;  $\sigma_r$  – параметр, характеризующий точность измерения,  $m$ .

Для решения задачи установим зависимость вероятности (7) от параметров  $\sigma$  и  $\sigma_r$  в рамках ограничений  $\Omega_1 - \Omega_6$ .

Это позволит определить значения  $\sigma_r$ , обеспечивающие достижение заданной вероятности  $\tilde{P}_0$  при фиксированных  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\sigma$ .

Таким образом, создание точной модели требует детального анализа параметров. Установление взаимосвязей между указанными величинами поможет сформировать надежную основу для управления движением РТК, учитывая возможные погрешности и ограничения системы.

### Решение задачи

1. На первоначальном этапе определим выражение для функции плотности распределения случайной величины  $\tilde{r}$ , представляющей собой случайное расстояние случайного расстояния  $r$ . Данная функция будет задана как композиция законов распределения величин  $r$  и  $\delta_r$ :

$$\omega_{RN}(\tilde{r}; \sigma, \sigma_r) = f_R(r, \sigma) * \varphi(\delta_r, \sigma_r) = \frac{e^{v\tilde{r}}}{\sigma_r \sigma^2 \sqrt{2\pi}} \left( \frac{1}{2\mu} - \frac{v}{2\mu} \sqrt{\frac{\pi}{\mu}} e^{\frac{v^2}{\mu}} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{v}{\sqrt{\mu}} \right) \right) \right), \quad (8)$$

где  $\mu = \frac{\sigma_r^2 + \sigma^2}{2\sigma_r^2 \sigma^2}$ ;  $x = -\frac{\tilde{r}}{2\sigma_r^2}$ ;  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ .

2. В формуле (8) параметр  $\sigma$  является мерой точности для управления РТК при заданных параметрах  $P_0$  и  $\rho$  и задается как:  $\sigma = \frac{\rho}{\sqrt{1-2\ln(1-P_0)}}$ . Каждый экземпляр РТК имеет свою характеристику  $\sigma^*$ . Требуется определить соответствие этой характеристики стандарту  $\sigma$ . Для строгого контроля точности управления следует использовать методы доверительных интервалов, сравнивая  $\sigma$  с нижней границей случайной величины  $\sigma^*$  [19].

3. На следующем шаге задается зависимость вероятности (7) от параметра  $\sigma_r$ , при условии, что точки  $\alpha$  и  $\beta$  симметричны относительно центра рассеивания  $A$  (рис. 1).

Далее необходимо установить значение  $\sigma_r^*$ , для которого выполняется заданная вероятность  $P_0$ , используя соотношение, связывающее  $P_0$  с распределением случайной величины в зависимости от  $\sigma_r$  (9).

Это позволит реализовать более эффективное управление в условиях изменчивости параметров измерения.

$$\sigma_r^* = \operatorname{arg} \min_{\sigma_r} e \left( \tilde{P}_0(\sigma_r) - P(\sigma_r) \right), \quad (9)$$

где  $e \left( \tilde{P}_0(\sigma_r) - P(\sigma_r) \right)$  – мера близости значений вероятностей  $\tilde{P}_0$  и  $P_0$  на

множестве  $\Xi$  среди всех положительных значений переменной  $\sigma_r$ .

### Блок-схема алгоритма

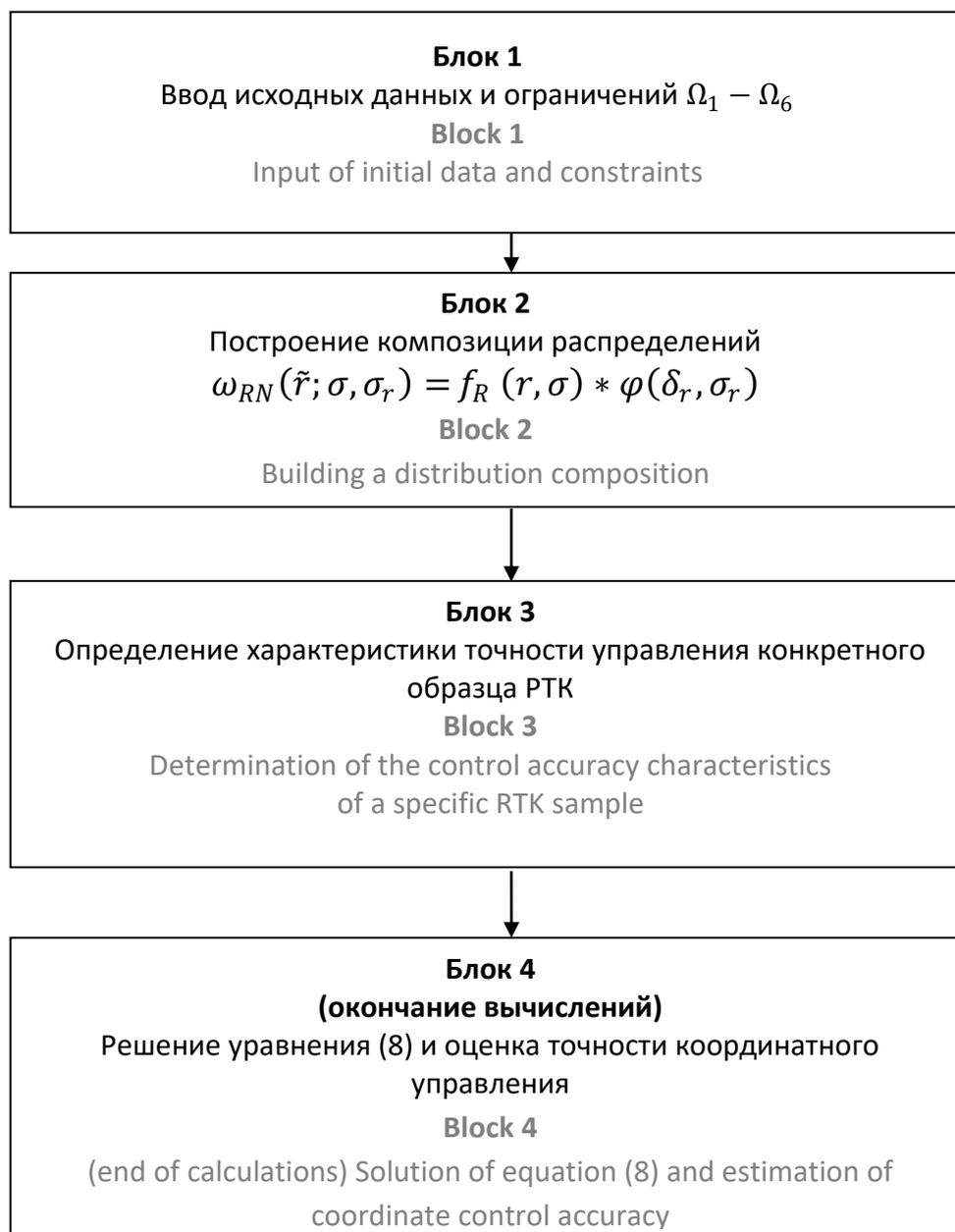
Алгоритм координатного управления структурно представлен на рис. 2 следующими функциональными блоками.

**Блок 1 исходных данных** представлен в требованиях и ограничениях  $\Omega_1 - \Omega_6$  к системе координатного управления РТК и в описании свойств погрешностей координатных измерений.

**Блок 2** содержит функциональную модель построения композиции законов распределения случайных величин  $r$  и  $\delta_r$  (8).

В **Блоке 3** для заданных значений величин  $P_0$  и  $\rho$  оценивается значение параметра  $\sigma^*$ , характеризующего точность управления для конкретного образца РТК. Найденное значение используется далее в качестве входного параметра последующего блока алгоритма.

В **Блоке 4** итерационным методом находится решение трансцендентного уравнения (8) для оценки среднего квадратического значения погрешности координатных измерений  $\sigma_r$ , достаточной для достижения цели координатного управления РТК.



**Рис. 2.** Блок-схема алгоритма координатного управления РТК

**Fig. 2.** Flowchart of coordinate control algorithm of RTK

Пример. Первоначальное условие – точность координатного движения РТК определяется законом распределения случайной величины дальности (3). Радиус  $R = 5$  м окружности должен находиться в области, где перемещается РТК, при этом измерительные погрешности подчиняются нормальному распределению (5). Для обеспечения заданной точности  $\sigma = 2$  м и вероятности выполнения условия

$P(\alpha < \tilde{r} < \beta) = \tilde{P}_0 = 0,9$  необходимо вычислить значение параметра  $\sigma_r$ . Используя формулу (9) для композиции законов и интегрируя (7), рассчитаем вероятность нахождения результатов измерений в круге радиуса  $R = 5$  м [20], результаты представлены в табл. 1.

Если в качестве меры близости значений вероятностей  $\tilde{P}_0$  и  $\tilde{P}$  выбрать их абсолютную разность, то, например, для

величины  $\sigma_r = 0,75$  м разность менее 0,6 %. На практике данное значение допустимо и позволяет сделать вывод, что значение  $\sigma_r = 0,75$  м удовлетворяет требованиям по точности измерений в системах

координатного управления для двигательной деятельности РТК как на поверхности, так и в водной среде или подземных сооружениях.

**Таблица 1**

Зависимость вероятности нахождения результатов координатных измерений в области, описываемой кругом радиуса  $R = 5$  м, от среднего квадратического значения погрешности измерения  $\sigma_r$  при фиксированном значении  $\sigma = 2$  м

**Table 1**

Dependence of the probability of finding the results of coordinate measurements in the area described by a circle of radius  $R = 5$  m on the mean square value of measurement error  $\sigma_r$  with a fixed value of  $\sigma = 2$  m

$P(\alpha < \tilde{r} < \beta)$	0,952	0,950	0,948	0,942	0,934	0,924	0,919	0,914	0,908
$\sigma_r, \text{ м}$	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75

### Заключение

В данной работе предложено решение важной задачи – создание научного задела для обеспечения технологического перехода от дистанционно управляемых систем к автономным робототехническим средствам, предназначенным для выполнения аварийно-спасательных операций и тушения пожаров. Разработанная математическая модель координатного управления позволяет эффективно управлять РТК при проведении специализированных ра-

бот в рамках функционирования подразделений МЧС России.

Практическое применение результатов исследования может быть рекомендовано для обоснования параметров координатного управления динамическими объектами в условиях чрезвычайных ситуаций, что в конечном итоге может способствовать более эффективному выполнению задач по обеспечению безопасности населения и предотвращению последствий аварийных ситуаций.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Concept for the development of special purpose robotic systems in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia until 2030 // Decision of the Board of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2016. № 16/III. 20 p. URL: <https://rg.ru/2016/08/15/mchs-priniala-koncepciiu-razvitiia-robototehniki.html> (date of application: 05.12.2024).
2. Мошков, В. Б., Баранник, А. Ю., Лагутина, А. В. Перспективы развития робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности // II Научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». 2022. С. 148–152. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50031805> (дата обращения: 05.12.2024).
3. Экспериментальные робототехнические платформы как практический инструмент разработки перспективных робототехнических комплексов / Е. А. Дудоров [и др.] // II Научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». 2022. С. 71–85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50031796> (дата обращения: 05.12.2024).
4. Баранник А. Ю., Краснова Л. В., Лагутина А. В. О новых правилах принятия на снабжение, вооружение, в эксплуатацию в системе МЧС России беспилотных авиационных систем и комплексов // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 4 (74). С. 70–73.
5. Медведев М. Ю., Костюков В. А., Пшихопов В. Х. Метод оптимизации траектории мобильного робота на плоскости с учетом критерия максимума вероятности ее прохождения в поле источников-репеллеров // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. № 3. С. 690–726.

6. Комиссина, И. Н. Современное состояние и перспективы развития робототехники в Китае // Проблемы национальной стратегии. 2020. № 1. С. 123–145. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42799704> (дата обращения: 05.12.2024).
7. Комплексные исследования в области создания и внедрения перспективных робототехнических средств, в том числе развитие учебной базы для подготовки операторов робототехнических комплексов, материально-технической базы для эксплуатации робототехнических комплексов и подходов к технико-экономическому обоснованию рациональности системы испытаний робототехнических комплексов в МЧС России : отчет о НИР (2 этап, заключительный) / ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) ; рук. А. Ю. Баранник ; исполн. А. И. Лагутина [и др.]. М., 2021. 192 с.
8. Комплексные исследования в области создания и внедрения перспективных робототехнических средств, в том числе развитие учебной базы для подготовки операторов робототехнических комплексов, материально-технической базы для эксплуатации робототехнических комплексов и подходов к технико-экономическому обоснованию рациональности системы испытаний робототехнических комплексов в МЧС России : отчет о НИР (1 этап, промежуточный) / ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) ; рук. А. Ю. Баранник ; исполн. С. П. Тодосейчук [и др.]. М., 2020. 71 с.
9. Проблемные вопросы группового применения робототехнических средств при решении задач МЧС России / С. П. Хрипунов [и др.] // III Научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». 2023. С. 205–211. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=apyamf&ysclid=m024iqdgo2550472973> (дата обращения: 05.12.2024).
10. Лутманов, С. В., Остапенко, Е. Н. Оптимальное управление динамическими объектами : учебное пособие. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2022. 163 с. Электрон. версия печ. изд. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Lutmanov-Ostapenko-Optimalnoe-upravlenie-dinamicheskimi-obektami.pdf> (дата обращения: 13.08.2024).
11. Княжский А. Ю., Небылов А. В., Небылов В. А. Оптимизация управления полетом экраноплана над взволнованным морем. Навигация и управление движением : сб. тез. докл. Междунар. Семинара. Самара : изд-во Самар. ун-та, 2020. С. 57–58.
12. Самохин, А. С., Самохина, М. А. Построение траекторий трехимпульсного подлета к Фобосу с выходом на сферу Хилла Марса на основе решения серии задач Ламберта // XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. 2020. С. 127–129. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43844883&pf=1> (дата обращения: 05.12.2024).
13. ГОСТ Р 60.0.0.3-2016/ ИСО 9787:2013. Роботы и робототехнические устройства. Системы координат и обозначение перемещений : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 8 ноября 2016 г. № 1623-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141083> (дата обращения: 04.12.2024).
14. ГОСТ Р 70802-2023. Беспилотные авиационные системы для обеспечения пожаротушения, аварийно-спасательных и других работ, выполняемых в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий. Общие требования : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 3 июля 2023 г. № 473-ст : введен впервые : дата введения 2023-12-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141083> (дата обращения: 04.12.2024).
15. ГОСТ Р 56122-2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 сентября 2014 г. № 1130-ст : введен впервые : дата введения 2015-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113342> (дата обращения: 04.12.2024).
16. ГОСТ Р 57258-2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 ноября 2016 г. № 1674 : введен впервые : дата введения 2017-06-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141433> (дата обращения: 04.12.2024).
17. ГОСТ Р 59519-2021. Беспилотные авиационные системы. Компоненты беспилотных авиационных систем. Спецификация и общие технические требования : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 27 мая 2021 г. № 474-ст : введен впервые : дата введения 2021-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179701> (дата обращения: 04.12.2024).

18. Пицык, В. В., Дмитриев, С. А. Обоснование точности измерений в системах координатного управления беспилотными летательными аппаратами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 3. С. 62–66. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-tochnosti-izmereniy-v-sistemah-koordinatnogo-upravleniya-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami-mchs> (дата обращения: 05.12.2024).
19. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М. : Наука, 1988. 480 с.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612419 Российской Федерация. Программа для интервальной оценки точности координатного управления беспилотными летательными аппаратами МЧС : № 2019667870 : заявл. 30.12.2019 : опубл. 21.02.2020 / В. В. Пицык, Л. В. Суховерхова, С. А. Дмитриев.

#### REFERENCES

1. Concept for the development of special purpose robotic systems in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia until 2030 // Decision of the Board of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2016. № 16/III. 20 p. URL: <https://rg.ru/2016/08/15/mchs-priniala-koncepciiu-razvitiia-robototekhniki.html> (date of application: 05.12.2024).
2. Moshkov V.B., Barannik A.Y., Lagutina A.V. Prospects for the development of robotics in the field of life safety // II Scientific and Practical Conference on the development of robotics in the field of life safety "RoboEmercom". 2022; 148–152. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50031805> (rus).
3. Dudorov E.A., Bogdanov A.A., Barannik A.Yu., Lagutina A.V., Sokolova E.A. Experimental robotic platforms as a practical tool for the development of advanced robotic complexes // II Scientific and Practical Conference on the development of robotics in the field of life safety "RoboEmercom". 2022; 71–85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50031796> (rus).
4. Barannik A.Yu., Krasnova L.V., Lagutina A.V. On the new rules of acceptance of unmanned aircraft systems and complexes for supply, arming, in operation in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti / Civil Security Technologies. 2022; 19:4(74):70–73 (rus).
5. Medvedev M.Yu., Kostyukov V.A., Pshikhopov V.Kh. Optimization method of the mobile robot trajectory on the plane taking into account the criterion of the maximum probability of its passage in the field of propeller sources. Informatika i avtomatizacija / Informatics and Automation. 2021; 20:3:690–726. DOI: 10.15622/ia.2021.3.7 (rus).
6. Komissina I.N. Current state and prospects of robotics development in China. Problemy nacional'noj strategii / Problems of national strategy. 2020; 1:123–145. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42799704> (rus).
7. Integrated research in the field of creation and implementation of advanced robotic means, including the development of educational base for training of robotic complex operators, material and technical base for the operation of robotic complexes and approaches to the feasibility study of the rationality of the system of testing robotic complexes in the Ministry of Emergency Situations of Russia: research report (2nd stage, final): FGBU VNII GOCHS (FC); supervised by A.Y. Barannik ; executed by A.I. Lagutina [et al]. A.Yu. Barannik; executed by: A.I. Lagutina [et al]. Moscow, 2021; 192. (rus).
8. Comprehensive research in the field of creation and implementation of advanced robotic means, including the development of educational base for training of robotic complex operators, material and technical base for the operation of robotic complexes and approaches to the feasibility study of the rationality of the system of testing robotic complexes in the Ministry of Emergency Situations of Russia: research report (1 stage, interim): FGBU VNII GOCHS (FC); manual. A.Yu. Barannik; executed by: S.P. Todoseichu, A.I. Lagutina [et al]. Moscow, 2020; 71. (rus).
9. Khripunov S.P., Mamchenko M.V., Barannik A.Y., Lagutina A.V. Problematic issues of group application of robotic means in solving the tasks of the Ministry of Emergency Situations of Russia // III Scientific and Practical Conference on the development of robotics in the field of life safety "RoboEmercom". 2023; 205–211. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=apyamf&ysclid=m024iqdqdqo2550472973> (rus).
10. Lutmanov S.V., Ostapenko E.N. Optimal control of dynamic objects [Electronic resource]. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Lutmanov-Ostapenko-Optimalnoe-upravlenie-dinamicheskimi-obektami.pdf> (data obrashhenija: 13.08.2024) (rus).
11. Knyazhskiy A.Yu., Nebylov A.V., Nebylov V.A. Optimization of control of the screen-plane flight over the agitated sea. Navigation and motion control : a collection of abstracts from the International Workshop. Seminar. Samara: Samara University Publ. 2020; 57–58 (rus).

12. Samokhin A.S., Samokhina M.A. Construction of trajectories of a three-pulse approach to Phobos with exit to the sphere of Mars Hill based on the solution of a series of Lambert problems // XXVII St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 2020; 127–129. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43844883&pf=1> (rus).
13. GOST P 60.0.0.3 - 2016/ ISO 9787:2013. Robots and robotic devices. Coordinate systems and designation of movements : approved by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from 08.11.2016 N 1623-st: date of introduction 2018-01-01. (rus).
14. GOST P 70802 - 2023. Unmanned aerial systems for firefighting, rescue and other works performed for the prevention of emergencies and elimination of their consequences. General requirements : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from 03.07.2023 N 473-st : date of introduction 2023-12-01. (rus).
15. GOST P 56122 - 2014. Air transportation. Unmanned aircraft systems. General requirements : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of September 18, 2014 N 1130-st : date of implementation 2015-07-01. (rus).
16. GOST P 57258 - 2016. Unmanned aircraft systems. Terms and definitions : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 10, 2016. N 1674: date of introduction 2017-06-01. (rus).
17. GOST P 59519 - 2021. Unmanned aircraft systems. Components of unmanned aircraft systems. Specification and general technical requirements : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 27, 2021 No 474-st: date of introduction 2021-07-01. (rus).
18. Pitsyk V.V., Dmitriev S.A. Justification of the measurement accuracy in the systems of coordinate control of unmanned aerial vehicles. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija / Fires and emergencies: prevention, liquidation. 2020: 3:62-66 (rus).
19. Ventzel E.S., Ovcharov L.A. Theory of probabilities and its engineering applications. Moscow: Nauka Publ., 1988. 480 p. (rus).
20. Certificate of state registration of computer program No. 2020612419 Russian Federation. Program for interval estimation of accuracy of coordinate control accuracy of unmanned aerial vehicles of the Ministry of Emergency

#### Информация об авторах

**Дмитриев Сергей Александрович**, соискатель ученой степени кандидата технических наук, Акционерное общество «РТ-Пожарная безопасность» государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех», г. Москва, Россия, 121357, г. Москва, Вере́йская улица, д. 11; e-mail: [s.a.dmitriev-01@rambler.ru](mailto:s.a.dmitriev-01@rambler.ru)

#### Information about the authors

**Sergey A. Dmitriev**, Cand. Sci. (Eng.), Joint-Stock Company "RT-Fire Safety" of the State Corporation for Assistance to the Development, Production and Export of High-Tech Industrial Products "Rostec", Vereiskaya str., 11, Moscow, 121357, Russian Federation; e-mail: [s.a.dmitriev-01@rambler.ru](mailto:s.a.dmitriev-01@rambler.ru)

УДК 614.841.415

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

**Двоенко Олег Викторович, Кучмасов Даниил Андреевич,  
Щербаков Николай Александрович, Захаров Анатолий Иванович**

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»,  
г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена высоким темпам внедрения литий-ионных аккумуляторных батарей в бытовую сферу и транспортную инфраструктуру. Рост электротранспорта поддерживается в РФ на законодательном уровне. Рассмотрены и проанализированы основные виды источников хранения энергии с точки зрения пожарной опасности. Рассмотрены некоторые пожары электротранспорта, показывающие склонность литий-ионных аккумуляторов к самовозгоранию. Наибольшую опасность для жизни и здоровья людей при горении данных видов аккумуляторов представляют выделяющиеся в результате термического разложения и горения химические вещества. Сложность процесса горения литий-ионных аккумуляторных батарей заключается в распространении теплового разгона по принципу цепной реакции между ячейками внутри аккумулятора, аккумуляторного модуля. Проведенные испытания отдельных ячеек аккумулятора показали высокую скорость протекания реакции теплового разгона с последующим воспламенением. Кроме аварийных ситуаций данные аккумуляторы склонны к старению и образованию внутри ячеек дендритов. Особенности пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей затрудняют, вносят ограничения, требуют выполнения ряда правил по их транспортировке и хранению. На данный момент отсутствуют экономически эффективные средства и способы тушения пожаров литий-ионных аккумуляторов, которые, в свою очередь, сопровождаются угрозой поражения электрическим током.

**Ключевые слова:** литий-ионные аккумуляторы, тепловой разгон, дендриты, электротранспорт, транспортировка аккумуляторов, фтористый водород

### THE MAIN PROVISIONS ON THE FIRE HAZARD OF LITHIUM-ION BATTERIES

**Oleg V. Dvoenko, Daniil A. Kuchmasov, Nikolay A. Shcherbakov, Anatoly I. Zakharov**

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

### ABSTRACT

The article is devoted to the high rates of implementation of lithium-ion batteries in the household sphere and transport infrastructure. The growth of electric transport is supported in the Russian Federation at the legislative level. The main types of energy

storage sources are considered and analyzed from the point of view of fire hazard. Some fires of electric transport are considered, showing the tendency of lithium-ion batteries to spontaneous combustion. The greatest danger to life and health of people during combustion of these types of batteries is the chemicals released as a result of thermal decomposition and combustion. The complexity of the combustion process of lithium-ion batteries lies in the spread of thermal runaway according to the principle of a chain reaction between the cells inside the battery, battery module. The tests of individual battery cells showed a high rate of thermal runaway reaction followed by ignition. In addition to emergency situations, these batteries are prone to aging and the formation of dendrites inside the cells. The fire hazard features of lithium-ion batteries complicate, impose restrictions, and require compliance with a number of rules for their transportation and storage. At the moment, there are no cost-effective means and methods for extinguishing lithium-ion battery fires, which in turn are accompanied by the threat of electric shock.

**Keywords:** lithium-ion batteries, thermal runaway, dendrites, electric transport, transportation of batteries, hydrogen fluoride.

### Введение

Освоение человеком электричества и теории электромагнетизма явилось основой для развития энергетической отрасли. Фундаментальные знания в данных областях позволили использовать возобновляемые источники энергии, которые занимают существенную роль в хранении, передаче и распределении электрического тока. Примером вышеизложенного могут послужить аккумуляторные батареи, ветряные турбины, тепло-гидроэлектростанции, солнечные батареи и др.

В результате научно-технического прогресса, развития электроники и применения ее повсеместно у общества появляется «зависимость» от источников энергии как от стационарных, так и мобильных (переносных). Приведенные факты дали значительный толчок для развития источников хранения энергии, которые с каждым годом совершенствуются, такие как аккумуляторная батарея.

Исторически аккумуляторная батарея является сравнительно новым изобретением, ее возникновение датируется концом XIX в., до этого момента подобных

устройств не существовало. Основная задача аккумуляторной батареи заключается в применении обратимой электрохимической реакции [1]. Другими словами, при подключении источника постоянного тока к контактам элемента, на его электродах начинается процесс накопления электрической энергии. При этом, когда к батарее подключается нагрузка, начинается ее использование.

Каждый раз, когда аккумулятор разряжается и затем восстанавливает свой заряд, происходит указанный выше процесс. Кроме того, литий-ионные аккумуляторы со временем теряют свою емкость, даже если они не использовались и не находились на хранении. Сам срок службы рассчитывается по количеству циклов полной разрядки и составляет в среднем от 3 000 до 1 000 полных циклов в зависимости от типа аккумулятора [2].

Аккумулятор считается пригодным для использования без вреда для устройства, если его емкость составляет 70–80 % от начальной. Если данный показатель меньше, то аккумулятор не рекомендуется использовать для дальнейшей эксплуатации, поскольку он не

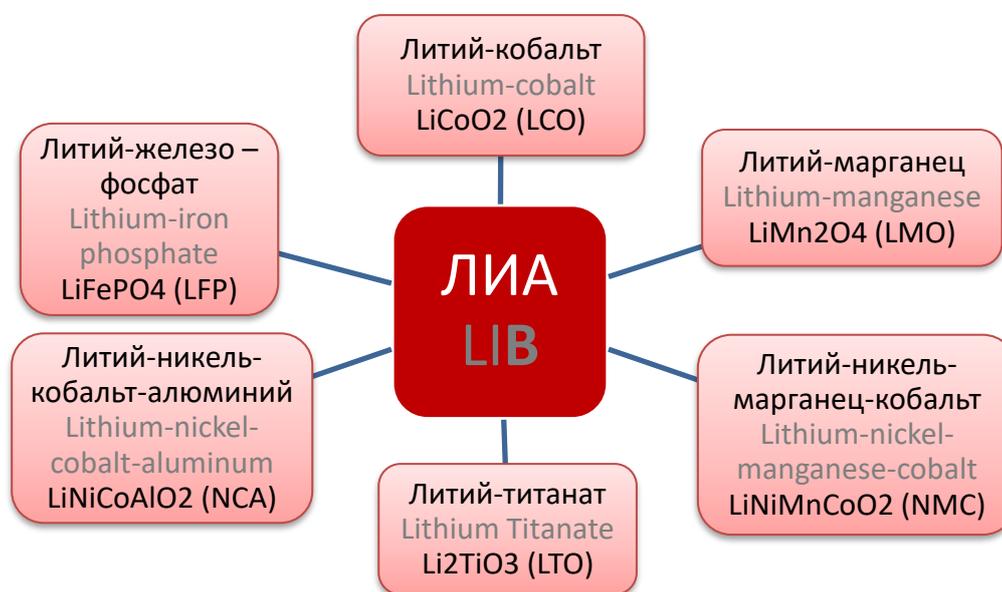
сможет выдавать необходимую автономность устройству [3].

### Виды и характеристики основных литий-ионных аккумуляторов

В зависимости от выбранного типа электродов и типа электролита существует широкий спектр аккумуляторных батарей: от свинцовых до никелькадмиевых, литий-ионных и прочих, каждая из которых обладает уникальными характеристиками и конструктивными особенностями.

Литий-ионные аккумуляторные батареи стали самыми востребованными источниками хранения и накопления электрической энергии XXI в., благодаря своим выдающимся характеристикам: высокой плотности энергии, длительному сроку службы, быстрой зарядке и относительно низкой стоимости.

В свою очередь, литий-ионные аккумуляторы делятся на различные виды, в зависимости от использующих электродов (рис. 1).



**Рис. 1.** Основные виды литиевых аккумуляторов

**Fig. 1.** The main types of lithium batteries

Каждый тип аккумуляторной батареи функционирует по одинаковому принципу и имеет стандартную структуру. Согласно пункту 3.6 стандарта ГОСТ Р МЭК 62660-1-2014 «Аккумуляторы литий-ионные для электрических дорожных транспортных средств», литий-ионный аккумулятор определяется как устройство, в котором при зарядке ионы лития переходят от катода к аноду, а при разряде возвращаются обратно. В процессе производства источника питания положительный и отрицательный электроды

находятся в равновесии. Эти электроды помещены в специальное средство — электролит, который выполняет роль ионного канала благодаря своей способности к диссоциации.

Практичность литий-ионных аккумуляторов продолжает расти, в первую очередь это связано с повышением безопасности их использования. Также не остаются без внимания такие показатели, как: возможность использования данных аккумуляторов при различных температурах, себестоимость, увеличение энерго-

емкости и циклов перезаряда. Данные изменения являются результатами увеличения объема производства литий-ионных аккумуляторов. Каждая из пред-

ставленных на рис. 1 батарей обладает рядом характеристик, от которых зависит область их применения (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики основных видов литий-ионных аккумуляторных батарей

Table 1

Characteristics of the main types of lithium-ion batteries

Характеристики Characteristics	LiCoO <sub>2</sub> (LCO)	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (LMO)	LiFePO <sub>4</sub> (LFP)	LiNiCoAlO <sub>2</sub> (NCA)	LiNiMnCoO <sub>2</sub> (NMC)	Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub> (LTO)
Удельная энергоемкость Specific energy bone	150–200 Вт*ч/кг Wh/kg	100–150 Вт*ч/кг Wh/kg	90–120 Вт*ч/кг Wh/kg	200–260 Вт*ч/кг Wh/kg	150–220 Вт*ч/кг Wh/kg	70–80 Вт*ч/кг Wh/kg
Количество циклов заряд/разряд Number of charge/discharge cycles	500–1 000	500–1000	1000–2000	500–1000	1000–2000	3000–20000
Область применения Scope of application	Портативная электроника Portable electronics	Электроинструмент и электромобили Electro tools and electric vehicles	Стационарные системы хранения энергии и электромобили Stationary energy storage systems and electric vehicles	Высокопроизводительные электромобили, такие как Tesla. high-performance electric vehicles such as Tesla	Электромобили и стационарные системы хранения энергии. Electric vehicles and stationary energy storage systems	Специальные транспортные средства и промышленные приложения Special vehicles and industrial applications
Недостатки Flaws	Сравнительно короткий срок службы и высокая стоимость	Сравнительно низкая удельная емкость Relatively low specif-	Низкая удельная емкость по сравнению с LCO Low specific ca-	Более высокая стоимость и низкая безопасность по сравнению	Трудности в обеспечении стабильных поставок компонентов Difficulties in	Низкая удельная емкость и высокая стоимость Low specific capacity

	кобальта Relatively short service life and high cost of cobalt	ic capacity	capacity compared to LCO	с LFP Higher cost and less safety than LFP	ensuring stable supplies of components	and high cost
--	---	-------------	--------------------------	---	--	---------------

Учитывая эти характеристики каждая из батарей нашла свое широкое применение, начиная от использования в современных мобильных устройствах и гаджетах заканчивая транспортным сегментом.

Технология использования накопленной энергии в ЛИА стремительно обгоняет многие традиционные системы преобразования энергии для движения транспортных средств. Хранение значительного количества электрической энергии в ограниченном пространстве способствует высокому проценту внедрения их в электротранспорт, начиная от электроса-

мокатов и заканчивая общественным, представленным электробусами.

Согласно анализу статистики, с каждым годом растет число автотранспортных средств с электросиловыми тяговыми установками. Так, за 2023 г. парк автотранспортных средств, использующих электротягу, в России, по сравнению с 2022 г., вырос на 19 278 единиц, что составляет 48 %. Этот показатель включает учет автотранспорта индивидуального пользования, которые официально зарегистрированы в ГИБДД (рис. 2) [5].

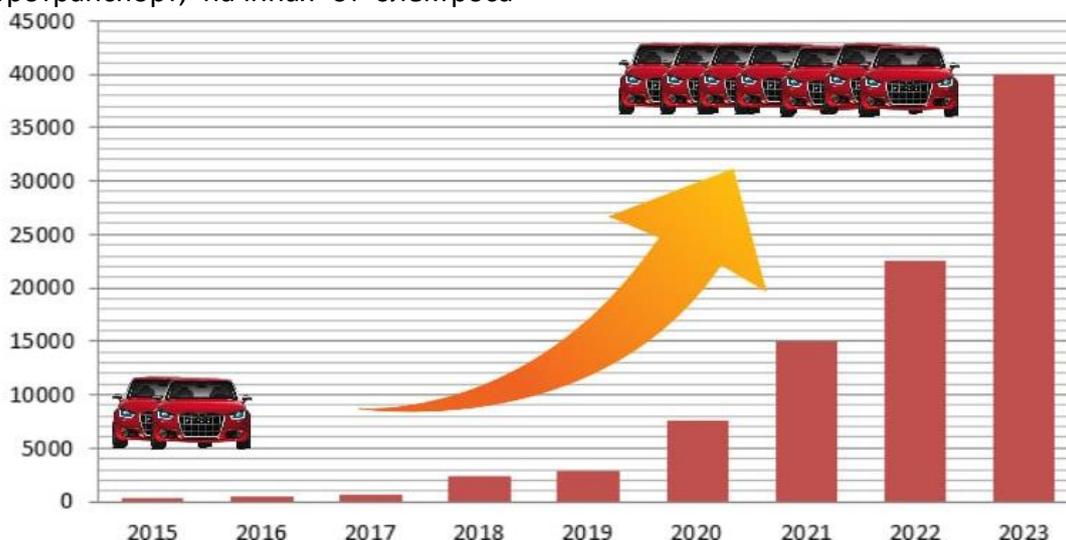


Рис. 2. Количество легковых электромобилей в России на конец 2023 года

Fig. 2. The number of passenger electric vehicles in Russia at the end of 2023

**Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов**

Компания EV FireSafe из Австралии следит за случаями возгорания батарей в электромобилях по всему миру. С 2010 по 2023 г. в их базе данных было зафиксировано 393 инцидента. При

этом на дорогах курсирует около 30 млн электромобилей [6].

При этом в Австралии за 13 лет произошло всего 4 случая горения электромобилей. Один из них был поджогом, а остальные произошли в закрытых помещениях, где начались пожары, не связанные с автомобилями [6].

На первый взгляд данный факт говорит о безопасности электромобилей по сравнению с автомобилями, оснащенными двигателями внутреннего сгорания.

Но стоит учесть, что данные пожары произошли в достаточно «свежих» автомобилях, в которых аккумуляторная батарея не истощила свой срок службы (рис. 3).



**Рис. 3.** Самовозгорание электрокара Tesla Model S

**Fig. 3.** Spontaneous combustion of a Tesla Model S electric car

Тушение пожаров на электротранспорте по сравнению с пожарами на автомобилях с двигателями внутреннего сгорания имеет ряд отличительных особенностей, которое следует учитывать пожарно-спасательным подразделениям при проведении аварийно-спасательных работ, связанных с тушением и ликвидацией данных пожаров.

Следует отметить, что случаев возгорания электросамокатов по сравнению с

электромобилями гораздо больше, при этом часто данные возгорания происходят во время зарядки или хранения в жилых помещениях, в следствии чего наносится крупный косвенный материальный ущерб (рис. 4). По данным EV FireSafe, в первой половине 2023 г. в мире произошло более 500 возгораний самокатов и велосипедов. У электромобилей за этот период – 44 инцидента [6].



**Рис. 4.** Возгорание электросамокатов в жилых помещениях

**Fig. 4.** Ignition of electric scooters in residential premises

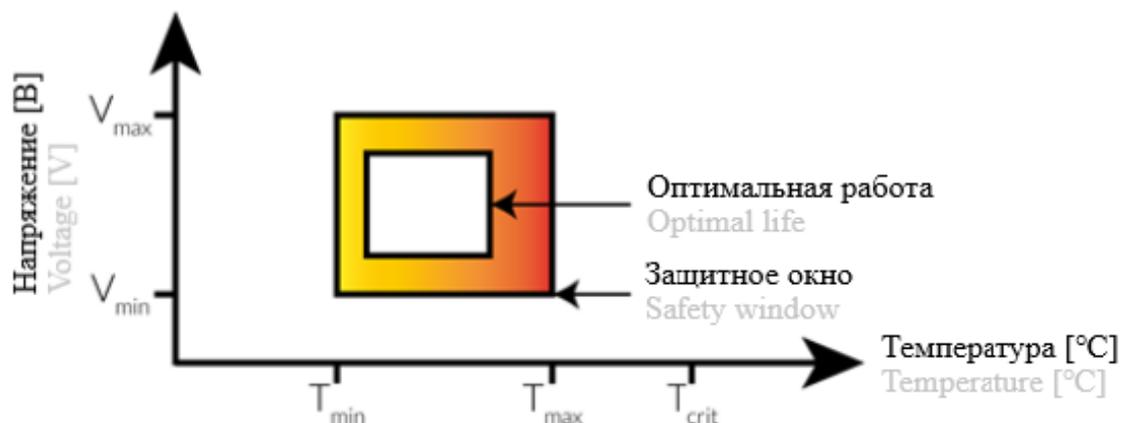
Основная причина отличий в надежности аккумуляторов электротранспорта, такого как электросамокаты и электровелосипеды, кроется в низком качестве изготовления и проектирования их батарей. Влияние также оказывает применение зарядных устройств без сертификации и низкого качества.

В сфере электромобилей используются схожие технологии для изготовления батарей, однако здесь конструкция более усовершенствована. Охлаждающие системы обеспечивают контроль температуры аккумуляторов, что повышает их безопасность и эффективность в процессе ежедневного использования и зарядки. Однако даже существующим системам не всегда удается справиться или оповестить своевременно о неисправности, возникшей в литий-ионной аккумуляторной батарее.

Если говорить о причинах возникновения пожаров литий-ионных аккумуляторных батарей, то основная причина связана с тем, что батареи обладают высокой энергетической емкостью, которая хра-

нится в герметичном малом объеме. При механическом повреждении оболочки или неправильном использовании аккумуляторной батареи, модуля или ячейки происходит внутреннее короткое замыкание электродов, которое, в свою очередь, запускает цепную реакцию между ячейками, так называемый тепловой разгон или термический разгон.

Условия неправильной эксплуатации встречаются, когда безопасное рабочее окно не соблюдается (рис. 5). При превышении предельных значений напряжения или температуры батареи внутри батареи могут запуститься определенные химические реакции [7]. Данные реакции способствуют тому, что внутри аккумуляторного модуля выделяется большое количество тепла и продуктов термического разложения электролита (горючего газа), которые не могут самостоятельно разбавиться с воздухом до безопасных концентраций из-за компактной и герметичной конструкции батареи, что, в свою очередь, может привести к воспламенению или взрыву.



**Рис. 5.** Иллюстрация ограниченного окна работы ячейки ЛИА

**Fig. 5.** Illustration of the limited window of operation for a LIB cell

Необходимо иметь в виду: во избежание ухудшения качества и заложенных заводом изготовителем характеристик литий-ионных аккумуляторных батарей, следует выполнять все требования, касающиеся технологии производства. Осо-

бый контроль на этапе производства служит гарантией эффективного протекания физико-химических процессов [8].

Кроме выше указанных причин возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей следует отметить, что при эксплу-

атации на стенках сепаратора внутри ячейки возможно образование «пробоев». Причиной могут послужить окислительно-восстановительные реакции, протекающие внутри них без остановки, и, соответственно, образование дендритов [9].

Безопасность литиевых аккумуляторов является серьезной проблемой, поскольку при определенных условиях они могут перегреться, загореться или даже взорваться. Возникновение неисправностей может быть вызвано различными факторами: повреждение в результате аварии, производственный дефект, нарушение правил обслуживания и пожарной безопасности.

Перегрев может произойти по разным причинам, в том числе из-за работы аккумулятора при неподходящей температуре; из-за повреждения аккумулятора в результате прокалывания, разбивания или падения; из-за чрезмерной зарядки или разряда аккумулятора быстро или слишком сильно; или производственный дефект [10], [11].

В то время как при возгорании литиевой батареи выделяется значительное количество тепла, дым от пожара представляет высокую опасность и при некоторых обстоятельствах может представлять более серьезную угрозу, чем тепло, особенно для людей, находящихся в замкнутых пространствах, таких как помещения зданий [12].

Список возможных химических веществ, выделяемых при пожаре, может быть обширным. Некоторые примеры включают фосфорилфторид, фтористый водород, метилкарбонат, диэтилкарбонат, этиленкарбонат, монооксид углерода и карбонилсульфид [13], [14].

Для примера, при достаточной концентрации в воздухе и воздействии на него фтористый водород является очень агрессивным и токсичным газом, вызывающим серьезные повреждения дыхательной системы: оксиды фосфора сильно

раздражают глаза, нос, горло и легкие. В дополнение, когда концентрация азидов в атмосфере достаточно высока, его воспламеняемость может привести к гемолизу, почечной дисфункции и в крайних случаях к летальному исходу. То же самое касается монооксида углерода, который, будучи бесцветным и без запаха, становится токсичным при повышенной концентрации в воздухе, который может вызвать головную боль, тошноту, головокружение и смерть [15].

Особую опасность также составляет и перевозка литий-ионных аккумуляторов, поскольку их начали относить к опасным грузам. На фоне этого многие авиакомпании вносят ограничения по объему и энергоемкости транспортируемых аккумуляторов. Основанием для этого является нормативный правовой акт [16].

Рассмотренная в статье [17] пожарная опасность литиевых батарей, а именно склонность к самовозгоранию, подтверждается реальными фактами пожаров с их участием при транспортировке. В результате аварий был нанесен серьезный урон экологии и понесен крупный материальный ущерб. Данные факты подтверждают целесообразность повышенного контроля безопасности и ряда ограничений при транспортировке данных источников хранения энергии.

Согласно требованиям транспортировки в багаже или ручной кладью литий-ионных аккумуляторных батарей, необходимо соблюдать ограничения по энергоемкости и в случае, если это возможно, извлечь из устройства и защитить от внешних воздействий специальными чехлами или поместить в транспортировочные кейсы. Однако даже выполнение этих требований не всегда позволяет транспортировать аккумуляторы с высокой емкостью.

Для транспортировки литиевых батарей самолетом необходимо знать емкость аккумулятора в размерности:

Вт·ч/Wh. Это необходимо для того, чтобы сравнить с допустимыми значениями. Часто на этикетках аккумуляторов отсутствует информация о мощности Вт·ч. Однако для расчета этой важной характеристики достаточно произвести простую математическую операцию: перемножить показатель напряжения аккумулятора в Вт на его емкость, выраженную в Ач. Эти показатели могут быть указаны в документации, на корпусе или на сайте производителя устройства, аккумулятора.

Для примера, возьмем повербанк емкость 20 000 мАч с напряжением в 6 Вт и проведем для него расчет:

– для начала переведем мАч в Ач:

$$20000 \text{ мАч} = 20 \text{ Ач}$$

– из этого получаем:

$$20 * 6 = 120 \text{ Вт} * \text{ч.}$$

Согласно [16], лимит устанавливается в 100 Вт\*ч, отсюда следует, что данный аккумулятор взять с собой не удастся.

В случае возгорания литиевых аккумуляторов происходит их воспламенение при экстремально высоких температурах, что может продолжаться несколько дней и приводить к значительным материальным и экологическим убыткам. Нередко они возобновляют горение, даже когда пожар уже, кажется, ликвидирован. Горящие аккумуляторы также могут выделять в течение многих часов высокотоксичные газы и химические вещества, которые легко воспламеняются при наличии источника возгорания поблизости.

Пожар литий-ионных аккумуляторов сопровождается выделением высоких температур на всех этапах горения. В дополнение, данные пожары могут гореть несколько дней и наносить значительные материальные и экологические ущербы. В результате протекания цепной реакции теплового разгона имеются риски повторного возгорания ликвидированного пожара. Аккумуляторы, которые подвержены перегреву в течение продолжительного времени, могут также выделять опасные

газы и химические соединения, которые легко воспламеняются при наличии источника зажигания поблизости.

Пожарно-спасательные подразделения не имеют единого плана действий, методических указаний, а также соответствующего опыта в ликвидации пожаров электротранспорта. Каждое подразделение проводит действия по тушению, отталкиваясь от возможности своего пожарно-технического вооружения и профессионализма личного состава. Особую сложность представляет большое разнообразие конструктивных решений при производстве электротранспорта, которое заключается в различном расположении батарей, высоковольтных кабелей и затрудненном доступе к ним в широком сегменте автопроизводителей.

Это говорит о том, что ВВБ, установленная в электротранспорте, подвергает опасности поражения электрическим током не только водителя и пассажиров, но и лиц, участвующих в ликвидации аварий, связанных с данным типом транспорта.

В настоящее время электромобили потребляют до 650 Вт постоянного тока, в то время как другие транспортные средства работают при 12/24 Вт постоянного тока. Случайный контакт с напряжением выше 110 Вт постоянного тока может привести к летальному исходу [18].

Вода всегда была и остается основным огнетушащим веществом. На данный момент ее используют также и для тушения пожаров электротранспорта, но в большом количестве. В связи с этим в Нидерландах разработали контейнер для тушения пожаров электрокаров. Принцип действия следующий. На место аварии доставляют водонаполненный контейнер подходящего размера для поврежденного электромобиля. При помощи манипулятора электромобиль независимо от степени повреждения помещают в контейнер и оставляют в нем на сутки. За это время

вода в контейнере загрязняется и становится токсичной в результате попадания в нее химически опасных веществ. Это

приводит к тому, что воду приходится утилизировать, соблюдая экологические нормы [19].



**Рис. 6.** Тушение электромобиля в водонаполненном контейнере

**Fig. 6.** Extinguishing an electric car in a water-filled container

### Заключение

При реагировании на ДТП и тушении пожаров на электротранспорте пожарно-спасательным подразделениям следует учитывать определенные особенности, влияющие на безопасность личного состава. Безопасное расстояние при этом также зависит от вида выполняемой операции и особенностей горения. Если высоковольтное оборудование отключено, то, как утверждают производители электрокаров, возможно проводить тушение обычными методами, учитывая тепловые потоки и размер пламени при выборе безопасного расстояния. Если электрооборудование не отключено, то выбор безопасного расстояния будет зависеть от типа применяемого огнетушащего вещества и особенностей его подачи.

Однако натурные испытания показали, что опасность также представляет угроза поражения электрическим током.

В связи с этим участникам тушения пожаров следует относиться к пожарам электротранспорта так же, как и к любым другим пожарам электроустановок, соблюдая все правила и рекомендации по тушению оборудования под напряжением.

Выброс опасных химических веществ при горении литий-ионных аккумуляторных батарей может значительно затруднить ликвидацию горения из-за склонности ко взрыву и самовозгоранию. Герметичность модуля аккумуляторной батареи электротранспорта и расположение его в нижней части автомобиля (в большинстве случаев). Таким образом, значительно затрудняется тушение пожара внутри батареи, поскольку ячейки аккумулятора, находящиеся внутри, способны гореть без доступа окислителя, т. к. кислород самостоятельно выделяется при их нагреве.

На основании изложенных данных в статье представляется возможность сде-

лать заключение о важности проведения дополнительных натурных испытаний по определению опасных факторов пожара при горении литий-ионных аккумулятор-

ных батарей, а также по выявлению наиболее эффективного средства и способа тушения.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зезюлинская А. В. Типы аккумуляторных батарей для электромобилей // Форум молодых ученых. 2019. № 6 (34). С. 500–504.
2. Как ухаживать за литий-ионными аккумуляторами / А. И. Забудский [и др.] // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК : сборник III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 10 февраля 2022 года. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2022. С. 234–240.
3. Тимонин И. Сравнение аккумуляторных батарей различного типа. ОАО «ВНИИР» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 2 (23). С. 78–80.
4. Кулова Т. Л., Скундин А. М. Проблемы развития литий-ионных аккумуляторов в мире и России // Электрохимическая энергетика. 2023. Т. 23, № 3. С. 111–120.
5. Информационно-аналитический портал «Зелёная точка старта» : офиц. сайт. URL: <https://greenstartpoint.ru/tochnye-czifyr-skolko-v-rossii-zaregistrovano-elektromobilej-na-nachalo-2024-goda> (дата обращения: 24.07.2024).
6. EV FireSafe Data : website. URL: <https://www.evfiresafe.com/> (date of application: 01.08.2024).
7. Larsson F. Lithium-ion Battery Safety: Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation. Gothenburg : Chalmers University of Technology, 2017. С. 53-57.
8. Кудряшкин Д. А. Пожары и возгорания литий-ионных аккумуляторов: потенциальные причины, риски и методы предотвращения // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23 ноября 2023 года. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 500–507.
9. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles / R. Bisschop et al. // RISE Fire Research. Sweden, 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336640117\\_Fire\\_Safety\\_of\\_LithiumIon\\_Batteries\\_in\\_Road\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/336640117_Fire_Safety_of_LithiumIon_Batteries_in_Road_Vehicles) (date of application: 05.12.2024).
10. Rao A. Lithium-ion battery fires are a growing publicsafety concern // Here’s how to reduce the risk. The Conversation. 2023. URL: <https://theconversation.com/lithium-ion-battery-fires-are-a-growing-public-safety-concern-heres-how-to-reduce-the-risk-209359> (date of application: 05.12.2024).
11. Battery Energy Storage Hazards and Failure Modes [Электронный ресурс]: Национальная ассоциация противопожарной защиты (NFPA). – URL: <https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/blogs/2021/12/03/battery-energy-storage-hazards-and-failure-modes> (дата обращения: 05.12.2024).
12. Jo, Mi and Kim, Hoi and Kim, Boowook and Pleus, Richard and Faustman, Elaine and Yu, Il Je.//Exposure Assessment Study on Lithium-Ion Battery Fire in Explosion Test Room in Battery Testing Facility (2023). Safety and Health at Work. doi: 10.1016/j.shaw.2023.11.007. URL: [https://www.researchgate.net/publication/376555317\\_Exposure\\_Assessment\\_Study\\_on\\_Lithium-Ion\\_Battery\\_Fire\\_in\\_Explosion\\_Test\\_Room\\_in\\_Battery\\_Testing\\_Facility](https://www.researchgate.net/publication/376555317_Exposure_Assessment_Study_on_Lithium-Ion_Battery_Fire_in_Explosion_Test_Room_in_Battery_Testing_Facility) (date of application: 05.12.2024).
13. Орлов, О. И. пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов / О. И. Орлов, В. А. Комельков, Д. В. Сорокин // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4(49). – С. 177-189. – EDN DGRGQQ.
14. Nedjalkov A, Meyer J, Köhring M, Doering A, Angelmahr M, Dahle S, et al. Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries—Analysis and Safety Enhancement Solution.// Batteries. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/297657770\\_Toxic\\_Gas\\_Emissions\\_from\\_Damaged\\_Lithium\\_Ion\\_Batteries-Analysis\\_and\\_Safety\\_Enhancement\\_Solution?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7ImZpcnN0UGFnZSI6InNlYXJjaCIsInBhZ2UiOiJZWFYy2giLCJwb3NpdGlvbil6InBhZ2VIZWFkZXIifX0](https://www.researchgate.net/publication/297657770_Toxic_Gas_Emissions_from_Damaged_Lithium_Ion_Batteries-Analysis_and_Safety_Enhancement_Solution?_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7ImZpcnN0UGFnZSI6InNlYXJjaCIsInBhZ2UiOiJZWFYy2giLCJwb3NpdGlvbil6InBhZ2VIZWFkZXIifX0) (date of application: 05.12.2024).
15. Lithium-Ion Battery Safety [Электронный ресурс]: Национальная ассоциация противопожарной защиты (NFPA). – URL: <https://www.nfpa.org/education-and-research/home-fire-safety/lithium-ion-batteries> (дата обращения: 05.12.2024).
16. Transport of Lithium Metal and Lithium Ion Batteries Revised for the 2020 Regulations [Электронный ресурс]: IATA. - URL: <https://www.iata.org/contentassets/05e6d8742b0047259bf3a700bc9d42b9/lithium-battery-guidance-document-2020.pdf> (date of application: 05.12.2024).

17. Предварительное исследование пожароопасных свойств литий-ионных аккумуляторов / Д. И. Терентьев [и др.] // Техносферная безопасность. 2024. № 3 (44). С. 25–34.
18. Никольский О. К. Халина Т. М., Куликова Л. В. Системы техногенной безопасности электроустановок до 1000 В. М. : Директ-Медиа, 2023. 324 с.
19. Венжик А. В., Мнускина Ю. В., Мнускин Ю. В. Возгорание электромобиля: проблемы при тушении // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 1 (8). С. 77–80.

## REFERENCES

1. Zezulinskaya A. V. Types of batteries for electric vehicles // Forum of young scientists. 2019; 6 (34): 500–504 (rus).
2. Zabudskiy A. I., Kine T. A., Serdalin M. K., Bardola A. S. How to care for lithium-ion batteries // The role of research work of students in the development of the agro-industrial complex: Collection of the III All-Russian (national) scientific and practical conference. FSBEI HE Omsk SAU: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2022; 234–240 (rus).
3. Timonin I. Comparison of different types of storage batteries. JSC "VNIIR" // Electric power. Transmission and distribution. 2014; 2(23): 78–80 (rus).
4. Kulova T. L., Skundin A. M. Problems of development of lithium-ion batteries in the world and Russia // Electrochemical power engineering. 2023; 23(3): 111–120. DOI 10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120 (rus).
5. Information and analytical portal "Green Starting Point". URL:<https://greenstartpoint.ru/tochnye-czifry-skolko-v-rossii-zaregistrovano-elektromobilej-na-nachalo-2024-goda> (date of access: 24.07.2024) (rus).
6. EV FireSafe Data // EV FireSafe URL: <https://www.evfiresafe.com/> (accessed: 01.08.2024) (rus).
7. Larsson F. Lithium-ion Battery Safety: Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation, Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2017. 53-57.
8. Kudryashkin D. A. Fires and ignitions of lithium-ion batteries: potential causes, risks and methods of prevention // Fire and emergency safety: collection of materials of the XVIII International scientific and practical conference. Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters", 2023; 500–507 (rus).
9. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles [Electronic resource] / Roeland Bisschop, Ola Willstrand, Francine Amon, Max Rosengren // RISE Fire Research. Sweden, 2019. Access mode:[https://www.researchgate.net/publication/336640117\\_Fire\\_Safety\\_of\\_Lithiumlon\\_Batteries\\_in\\_Road\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/336640117_Fire_Safety_of_Lithiumlon_Batteries_in_Road_Vehicles).)
10. Rao A., Lu B., Parekh M., Sabet M. Lithium-ion battery fires are a growing public safety concern. Here's how to reduce the risk. The Conversation. [cited in Sep27, 2023] Available from: <https://theconversation.com/lithium-ion-battery-fires-are-a-growing-public-safety-concern-heres-how-to-reduce-the-risk-209359>.
11. Battery Energy Storage Hazards and Failure Modes [Electronic resource]: the National Fire Protection Association (NFPA). – URL: <https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/blogs/2021/12/03/battery-energy-storage-hazards-and-failure-modes> (дата обращения: 05.12.2024).
12. Jo, Mi and Kim, Hoi and Kim, Boowook and Pleus, Richard and Faustman, Elaine and Yu, Il Je.//Exposure Assessment Study on Lithium-Ion Battery Fire in Explosion Test Room in Battery Testing Facility (2023). Safety and Health at Work. doi: 10.1016/j.shaw.2023.11.007. URL: [https://www.researchgate.net/publication/376555317\\_Exposure\\_Assessment\\_Study\\_on\\_Lithium-Ion\\_Battery\\_Fire\\_in\\_Explosion\\_Test\\_Room\\_in\\_Battery\\_Testing\\_Facility](https://www.researchgate.net/publication/376555317_Exposure_Assessment_Study_on_Lithium-Ion_Battery_Fire_in_Explosion_Test_Room_in_Battery_Testing_Facility) (date of application: 05.12.2024).
13. Orlov, O. I. fire hazard of lithium-ion batteries / O. I. Orlov, V. A. Komelkov, D. V. Sorokin // Modern problems of civil protection. – 2023. – № 4(49). – Pp. 177-189. – EDN DGRGQQ.
14. Nedjalkov A, Meyer J, Köhring M, Doering A, Angelmahr M, Dahle S, et al. Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries—Analysis and Safety Enhancement Solution.// Batteries. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/297657770\\_Toxic\\_Gas\\_Emissions\\_from\\_Damaged\\_Lithium\\_Ion\\_Batteries-Analysis\\_and\\_Safety\\_Enhancement\\_Solution?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InNlYXJjaCIsInBhZ2UiOiJzZWZyY2giLCJwb3NpdGlvbil6InBhZ2VIZWZkZXl1fX0](https://www.researchgate.net/publication/297657770_Toxic_Gas_Emissions_from_Damaged_Lithium_Ion_Batteries-Analysis_and_Safety_Enhancement_Solution?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InNlYXJjaCIsInBhZ2UiOiJzZWZyY2giLCJwb3NpdGlvbil6InBhZ2VIZWZkZXl1fX0) (date of application: 05.12.2024).
15. NFPA, [Internet] Lithium-ion battery safety information and resources, [cited Jun 21, 2023] Available from: <https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Lithium-Ion-Battery-Safety> accessed at 6/20/2023.

16. Transport of Lithium Metal and Lithium Ion Batteries Revised for the 2020 Regulations [Electronic resource]: IATA. - URL: <https://www.iata.org/contentassets/05e6d8742b0047259bf3a700bc9d42b9/lithium-battery-guidance-document-2020.pdf> (date of application: 05.12.2024).

17. Terentyev D. I., Tishkina I. V., Kurochkin A. R., Satyukov R. S. Preliminary study of the fire-hazardous properties of lithium-ion batteries // Technosphere safety. 2024; № 3(44): 25–34 (rus).

18. Nikolsky O. K., Khalina T. M., Kulikova L. V., Nikolsky O. K. Systems of technogenic safety of electrical installations up to 1000 V. Moscow: OOO Direct-Media, 2023; 324 (rus).

19. Venzhik A. V., Mnuskina Yu. V., Mnuskina Yu. V. Electric vehicle fire: fire extinguishing problems // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. 2021; 1 (8): 77–80 (rus).

#### Информация об авторах

**Двоенко Олег Викторович**, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника УНК, начальник кафедры пожарной техники (в составе УНК ПиАСТ) ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 772016; ORCID: 0000-0002-0436-4974; e-mail: [O.Dvoenko@academygps.ru](mailto:O.Dvoenko@academygps.ru)

**Кучмасов Даниил Андреевич**, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 1234635; SPIN: 1368-7946; e-mail: [daniilkuchmasov@yandex.ru](mailto:daniilkuchmasov@yandex.ru)

**Щербаков Николай Александрович**, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 1142294; SPIN: 9274-4971; e-mail: [snikolais@bk.ru](mailto:snikolais@bk.ru)

**Захаров Анатолий Иванович**, старший преподаватель кафедры пожарной техники (в составе УНК ПиАСТ) ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 1021604; SPIN: 1432-2824;

#### Information about the authors

**Oleg V. Dvoenko**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy chief of the scientific-research complex - chief of the department of fire and emergency rescue appliances (as part of the SRC of fire and emergency rescue appliances) of the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; Author ID: 772016; In ORCID: 0000-0002-0436-4974; email: [O.Dvoenko@academygps.ru](mailto:O.Dvoenko@academygps.ru)

**Daniil A. Kuchmasov**, post graduate student of State Fire Academy of the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; Author ID: 1234635; SPIN: 1368-7946; e-mail: [daniilkuchmasov@yandex.ru](mailto:daniilkuchmasov@yandex.ru)

**Shcherbakov N. Alexandrovich**, post graduate student of the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; Author ID: 1142294; SPIN: 9274-4971; e-mail: [snikolais@bk.ru](mailto:snikolais@bk.ru)

**Zakharov A. Ivanovich**, Senior Lecturer, Department of Fire Engineering (as part of the SRC of fire and emergency rescue appliances) of the the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation;

e-mail: [A.Zaharov@academygps.ru](mailto:A.Zaharov@academygps.ru)

Author ID: 1021604; SPIN: 1432-2824;

e-mail: [A.Zaharov@academygps.ru](mailto:A.Zaharov@academygps.ru)

УДК 699.812.2

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КРАСОК НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Тухбатулин Максим Наильевич, Барбин Николай Михайлович,  
Елфимова Марина Владимировна, Хабибуллина Наталия Валерьевна

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

### АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор современных методов исследования огнезащитных красок на водной основе, применяемых для защиты металлических конструкций. Актуальность темы обусловлена широким использованием таких красок в строительной отрасли и необходимостью всесторонней оценки их свойств и эксплуатационных характеристик.

Цель работы — систематизация и анализ методов, позволяющих комплексно исследовать огнезащитные покрытия в соответствии с требованиями нормативной документации.

В статье приведена классификация методов, включающая пять основных групп: методы оценки огнезащитной эффективности, физико-механических и термических свойств, долговечности и стойкости покрытий к внешним воздействиям, методы анализа химического состава.

Рассмотрены стандартизованные методики испытаний огнезащитной эффективности путем проведения огневых испытаний и оценки коэффициента вспучивания. Проанализированы методы исследования таких важных эксплуатационных характеристик, как адгезионная прочность, стойкость к удару и изгибу, твердость, термостойкость, теплопроводность. Приведены методы ускоренных климатических испытаний и испытаний покрытий в условиях агрессивных сред. Описаны современные инструментальные методы идентификации и количественного определения компонентов покрытий: спектральные, термоаналитические, хроматографические.

Показано, что методы исследований регламентируются государственными (ГОСТ) и международными (ISO) стандартами. Сделан вывод, что только комплексное использование различных методов позволяет всесторонне оценить свойства и характеристики огнезащитных красок и научно обосновать область их применения для защиты металлоконструкций.

Статья представляет интерес для специалистов, занимающихся разработкой, исследованиями и практическим применением современных огнезащитных лакокрасочных материалов.

**Ключевые слова:** огнезащитные краски, водоразбавляемые краски, методы исследования, огнезащитная эффективность, физико-механические свойства, термический анализ, климатические испытания, долговечность покрытий, спектральный анализ, хроматография

## RESEARCH METHODS OF MODERN WATER-BASED FLAME RETARDANT PAINTS FOR THE PROTECTION OF METAL STRUCTURES

Maxim N. Tukhbatulin, Nikolai M. Barbin, Marina V. Elfimova, Natalia V. Khabibullina

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

### ABSTRACT

The article provides an overview of modern research methods for water-based flame retardant paints used to protect metal structures. The relevance of the topic is due to the widespread use of such paints in the construction industry and the need for a comprehensive assessment of their properties and performance characteristics.

The purpose of the work is to systematize and analyze methods that allow a comprehensive study of flame retardant coatings in accordance with the requirements of regulatory documentation.

The article presents a classification of methods that includes five main groups: methods for evaluating flame retardant effectiveness, physical, mechanical and thermal properties, durability and resistance of coatings to external influences, methods for analyzing chemical composition.

Standardized methods for testing flame retardant effectiveness by conducting fire tests and evaluating the swelling coefficient are considered. The methods of studying such important performance characteristics as adhesive strength, resistance to impact and bending, hardness, heat resistance, thermal conductivity are analyzed. The methods of accelerated climatic tests and coating tests in aggressive environments are presented. Modern instrumental methods of identification and quantitative determination of coating components - spectral, thermoanalytical, chromatographic - are described.

It is shown that the research methods are regulated by the state (GOST) and international (ISO) standards. It is concluded that only the integrated use of various methods makes it possible to comprehensively assess the properties and characteristics of flame retardant paints and scientifically substantiate the scope of their application for the protection of metal structures.

The article is of interest to specialists involved in the development, research and practical application of modern flame retardant paints and varnishes.

**Keywords:** flame retardant paints, water-based paints, research methods, flame retardant efficiency, physical and mechanical properties, thermal analysis, climatic tests, durability of coatings, spectral analysis, chromatography

### Введение

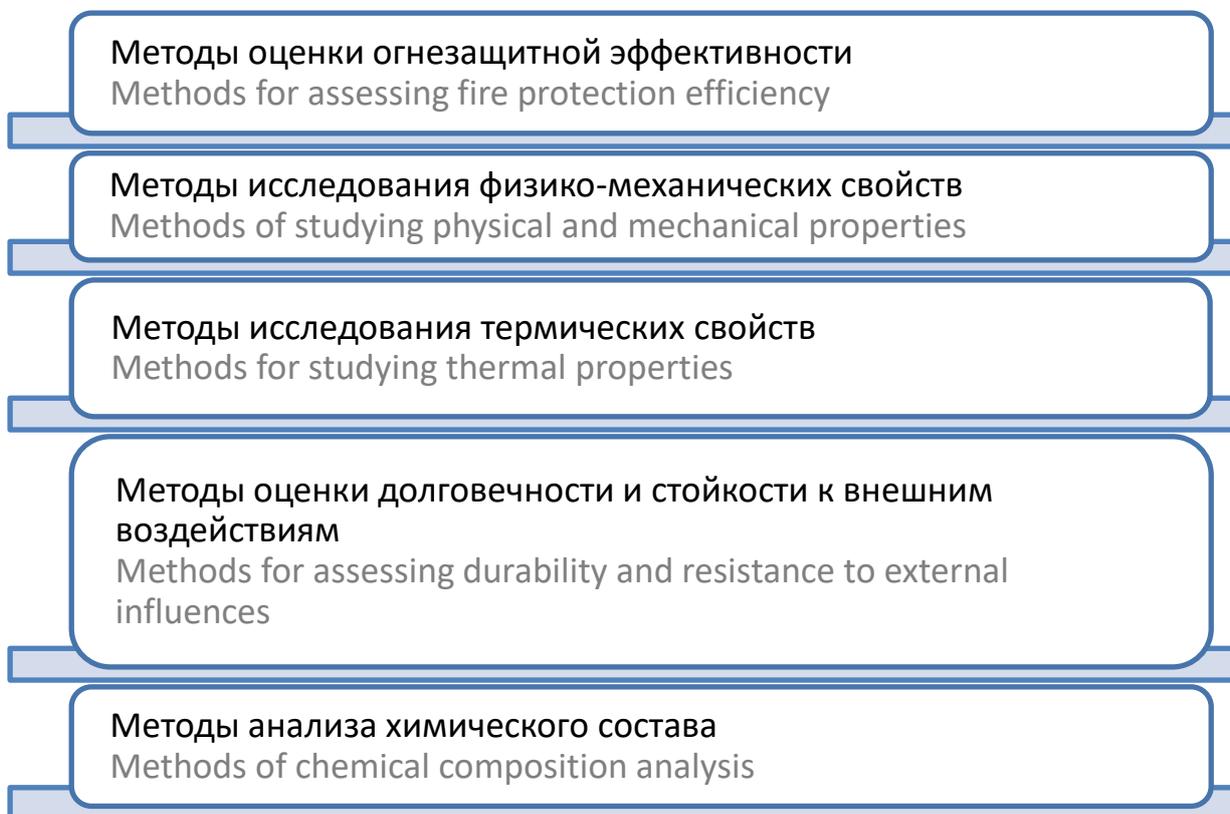
Огнезащитные краски на водной основе являются важным элементом в обеспечении пожарной безопасности металлических конструкций. Они создают защитный слой на поверхности металла,

который при воздействии высоких температур вспучивается и образует теплоизолирующий барьер, препятствующий нагреву и разрушению конструкции [1]. Ниже рассматриваются современные методы исследования и испытания огнезащитных красок на водной основе, приме-

няемых для защиты металлических конструкций.

**Методы исследования современных огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций**

Методы исследования огнезащитных красок на водной основе можно разделить на несколько групп, (рис. 1.)



**Рис. 1.** Методы исследования огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций

**Fig. 1.** Research methods of water-based flame retardant paints for the protection of metal structures

Рассмотрим каждую группу методов более подробно.

1. Методы оценки огнезащитной эффективности.

Основным показателем эффективности огнезащитной краски является ее способность обеспечивать требуемый предел огнестойкости защищаемой металлической конструкции. Для оценки этого показателя проводятся огневые испытания по ГОСТ Р 53295—2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности» [2].

Суть метода заключается в нагреве образцов металлических конструкций с нанесенным огнезащитным покрытием в специальных печах по стандартному температурному режиму, соответствующему развитию реального пожара. В процессе испытаний фиксируется время от начала теплового воздействия до достижения критической температуры стали (обычно 500 °C), при которой конструкция теряет несущую способность. Это время и является пределом огнестойкости.

Для классификации средств огнезащиты по пределам огнестойкости применяется ГОСТ Р 53295—2009. Согласно

этому стандарту, огнезащитные покрытия делятся на следующие группы:

- 1 группа — не менее 150 мин;
- 2 группа — от 120 до 150 мин;
- 3 группа — от 90 до 120 мин;
- 4 группа — от 60 до 90 мин;
- 5 группа — от 45 до 60 мин;
- 6 группа — от 30 до 45 мин [2].

Кроме того, важной характеристикой является способность огнезащитных покрытий к вспучиванию и образованию теплоизолирующего слоя пены при нагреве.

2. Методы исследования физико-механических свойств.

К физико-механическим свойствам огнезащитных покрытий относятся:

- адгезия к защищаемой поверхности;
- прочность покрытия при ударе;
- эластичность;
- стойкость к растрескиванию;
- твердость [3].

Нормативные документы, регламентирующие методы испытаний приведены в табл. 2.

Адгезию определяют методом решетчатых надрезов по ГОСТ 31149–2014 или методом отрыва по ГОСТ 32299–2013. Прочность при ударе исследуют по ГОСТ 4765–73, эластичность при изгибе — по ГОСТ 6806–73, стойкость к растрескиванию - по ГОСТ 29317–92, твердость — по ГОСТ 5233–89.

3. Методы исследования термических свойств.

К термическим свойствам относятся термостойкость, устойчивость к резким перепадам температур, температура размягчения, коэффициент теплопроводности [10].

Термостойкость и теплопроводность покрытий исследуют по ГОСТ 23630.2-79 термогравиметрическим методом. Температуру размягчения определяют по ГОСТ 32618.2–2014.

4. Методы оценки долговечности и стойкости к внешним воздействиям.

Долговечность огнезащитных покрытий и их стойкость к воздействию атмосферных факторов, агрессивных сред, УФ-излучения и других внешних воздействий оценивают с помощью ускоренных климатических испытаний.

Для имитации атмосферных воздействий применяют климатические камеры по ГОСТ Р 9.401–2018, где образцы покрытий подвергают многократным циклическим воздействиям переменных температур, влажности и солнечного излучения.

Стойкость к агрессивным средам, например к солевому туману, определяют по ГОСТ Р 52763–2007. Устойчивость к химическим реагентам исследуют по методикам ГОСТ 12020–72.

Для прогнозирования долговечности покрытий в натуральных условиях проводят испытания на атмосферных стендах в различных климатических зонах.

5. Методы анализа химического состава.

Для идентификации и определения количественного содержания компонентов огнезащитных покрытий применяют современные инструментальные методы химического анализа:

- инфракрасную спектроскопию;
- рентгенофлуоресцентный анализ;
- термогравиметрический анализ совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией и масс-спектрометрией;
- атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой;
- газовую и жидкостную хроматографию [4].

Эти методы позволяют контролировать состав огнезащитных материалов, наличие и содержание функциональных добавок, пигментов, наполнителей и других ингредиентов.

#### Результаты и их обсуждение

На сегодняшний день существует обширный арсенал методов и средств исследования, которые позволяют всесторонне охарактеризовать свойства и эксплуатационные характеристики современных огнезащитных красок на водной основе.

Ключевым методом оценки является испытание на огнезащитную эффективность, которое проводится на образцах

металлических конструкций в условиях моделирующих реальный пожар [5]. Метод позволяет определить предел огнестойкости покрытия и классифицировать его согласно нормативным требованиям.

Основные группы методов исследования огнезащитных красок приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

Основные группы методов исследования огнезащитных красок

**Table 1**

The main groups of research methods of flame retardant paints

Группа методов Group of methods	Назначение Purpose	Основные методы Basic methods
Оценка огнезащитной эффективности Evaluation of fire protection efficiency	Определение предела огнестойкости защищенных конструкций, коэффициента вспучивания Determination of the fire resistance limit of protected structures, the swelling coefficient	Огневые испытания по ГОСТ Р 53295, измерение толщины до и после нагрева по ГОСТ Р 53293 Fire tests according to GOST R 53295, thickness measurement before and after heating according to GOST R 53293
Исследование физико-механических свойств Study of physical and mechanical properties	Оценка адгезии, прочности, эластичности, твердости покрытия Evaluation of adhesion, strength, elasticity, hardness of the coating	Методы решетчатых надрезов и отрыва по ГОСТу, испытания на удар, изгиб, твердость Methods of lattice cuts and tearing according to GOST, impact, bending, hardness tests
Исследование термических свойств Thermal properties study	Определение термостойкости, теплопроводности, температуры размягчения Determination of heat resistance, thermal conductivity, softening temperature	Термогравиметрический анализ, измерения по ГОСТу Thermogravimetric analysis, measurements according to GOST
Оценка долговечности и стойкости Durability and resistance assessment	Прогнозирование срока службы в различных условиях Predicting service life under different conditions	Ускоренные климатические испытания, испытания в агрессивных средах Accelerated climatic tests, tests in aggressive environments
Анализ химического состава Chemical composition analysis	Идентификация компонентов, контроль рецептур Identification of components, control of recipes	Спектральные, термоаналитические, хроматографические методы Spectral, thermoanalytical, chromatographic methods

**Таблица 2**  
 Нормативные документы, регламентирующие методы испытаний  
**Table 2**  
 Regulatory documents regulating test methods

Свойство/характеристика Property/Characteristic	Документ Document
Огнезащитная эффективность Fire protection efficiency	ГОСТ Р 53295 GOST R 53295
Коэффициент вспучивания Swelling coefficient	ГОСТ Р 53293 GOST R 53293
Адгезия Adhesion	ГОСТ 31149, ГОСТ 32299, ISO 16276 GOST 31149, GOST 32299, ISO 16276
Физико-механические свойства Physical and mechanical properties	ГОСТ 4765, 6806, 29317, 5233 GOST 4765, 6806, 29317, 5233
Термические свойства Thermal properties	ГОСТ 23630.2, 32618.2 GOST 23630.2, 32618.2
Стойкость к климатическим воздействиям Resistance to climatic influences	ГОСТ 9.401 GOST 9.401
Стойкость к агрессивным средам Resistance to aggressive environments	ГОСТ 12020 GOST 9.401

Не менее важную роль играют методы исследования физико-механических свойств — адгезии, прочности, эластичности, твердости. Они характеризуют способность покрытия противостоять эксплуатационным нагрузкам и воздействиям без разрушения и отслаивания.

Термические свойства, такие как термостойкость, теплопроводность, температура размягчения, обуславливают работоспособность огнезащитного покрытия в условиях реального пожара [6].

Долговечность и стойкость к внешним воздействиям, оцениваемые с помощью ускоренных климатических испытаний, позволяют спрогнозировать срок службы покрытий в реальной эксплуатации [7–14].

Современные методы позволяют всесторонне исследовать и оценить свойства и эксплуатационные характеристики огнезащитных красок на водной основе. Испытания проводятся по целому ряду государственных и международных стан-

дартов. Современные краски на водной основе сочетают высокую огнезащитную эффективность до 120 минут (табл. 3), технологичность нанесения, экологичность и безопасность [15]. Методы химического анализа дают возможность контролировать состав покрытий, оптимизировать рецептуры, исследовать механизмы огнезащитного действия.

Современные методы позволяют всесторонне исследовать и оценить свойства и эксплуатационные характеристики огнезащитных красок на водной основе. Испытания проводятся по целому ряду государственных и международных стандартов. Современные краски на водной основе сочетают высокую огнезащитную эффективность до 120 минут, технологичность нанесения, экологичность и безопасность [15]. Методы химического анализа дают возможность контролировать состав покрытий, оптимизировать рецептуры, исследовать механизмы огнезащитного действия.

Таблица 3

Основные современные огнезащитные краски на водной основе

Table 3

The main modern water-based flame retardant paints

Марка Brand	Основные компоненты Main components	Преимущества Advantages	Предел огнестойкости, мин Fire resistance limit, min
ОСМ-1 «Гефест» OSM-1 "Gefest"	Мелкодисперсный состав на водной основе Finely dispersed water-based composition	Нанесение распылением, экологичность Spray application, eco-friendliness	До 90 Up to 90
NEO ВД-АК-502ОВ NEO VD-АК-502ОВ	Антипирены, акриловые полимеры, функциональные добавки Flame retardants, acrylic polymers, functional additives	Антикоррозионные свойства, колеровка Anticorrosive properties, tinting	До 120 Up to 120
PIREX-METAL Plus	Вспучивающаяся композиция на основе водных дисперсий полимеров Intumescent composition based on aqueous polymer dispersions	Сертифицирован, однокомпонентный, колеровка Certified, one-component, tinting	До 120 Up to 120
ПЛАМКОР-1 PLAMKOR-1	Акриловая дисперсия, газо- и пенообразующие наполнители Acrylic dispersion, gas and foam-forming fillers	Пожаровзрывобезопасность, экологичность Fire and explosion safety, eco-friendliness	До 90 Up to 90
Феникс СТВ Phoenix STV	Терморасширяющийся состав на водной основе Water-based thermally expanding compound	Пожаробезопасность, нетоксичность Fire safety, non-toxicity	До 90 Up to 90
Огнезащитная краска КНТ-1 Fire-retardant paint KNT-1	Полимерное связующее (эпоксидные или акриловые смолы), антипирены (фосфорсодержащие и галогенсодержащие соединения) Polymer binder (epoxy or acrylic resins), fire retardants (phosphorus-containing and halogen-containing compounds)	Высокая адгезия к различным типам поверхностей, образует прочное огнезащитное покрытие, устойчивость к атмосферным воздействиям High adhesion to various types of surfaces, forms a durable fire-protective coating, resistant to atmospheric influences	До 90 Up to 90

Лабораторный комплекс для исследований лакокрасочных покрытий (ЛКП), в соответствии с отечественными (ГОСТ) и международными (ISO) стандартами, должен включать следующее оборудование и инструменты.

1. Приборы для оценки внешнего вида покрытий (ГОСТ 9.407, ГОСТ 25706, ГОСТ 7048): бинокль, лупы (5–10-кратного увеличения), инспекционные поворотные зеркала.

2. Толщиномеры покрытий для измерения толщины ЛКП на металлических подложках (ГОСТ 31993, ISO 2808): магнитные толщиномеры типа Salu Tron D4/D5, ультразвуковые толщиномеры, микрометры.

3. Приборы для измерения температуры и влажности воздуха: ртутные термометры, термогигрометры.

4. Инструменты для измерения размеров дефектов покрытия (ГОСТ 166, ТУ 3936-214-54769955): штангенциркули с ценой деления 0,1 мм.

5. Оборудование для термического анализа образцов ЛКП (ГОСТ Р 53293): термоанализатор синхронный модификации STA 449 F5 Jupiter STA для проведения термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), дифференциального термического анализа (ДТА).

6. Устройства для отбора проб покрытий: скальпели, строительные ножи.

7. Приборы для исследования физико-механических свойств ЛКП:

- адгезиметры для измерения адгезии методами решетчатых надрезов и отрыва (ГОСТ 15140, ГОСТ 31149, ISO 2409, ISO 16276).

- приборы для определения прочности покрытий при ударе (ГОСТ 4765).

- Шкала гибкости для оценки эластичности покрытия при изгибе (ГОСТ 6806).

- твердомеры для измерения твердости ЛКП (ГОСТ 5233).

8. Камеры и установки для ускоренных климатических испытаний покрытий (ГОСТ 9.401).

9. Камеры соляного тумана для испытания стойкости ЛКП к воздействию агрессивных сред (ГОСТ 52763).

10. Аналитическое оборудование для исследования химического состава ЛКП:

- ик-фурье спектрометры.
- рентгенофлуоресцентные спектрометры.

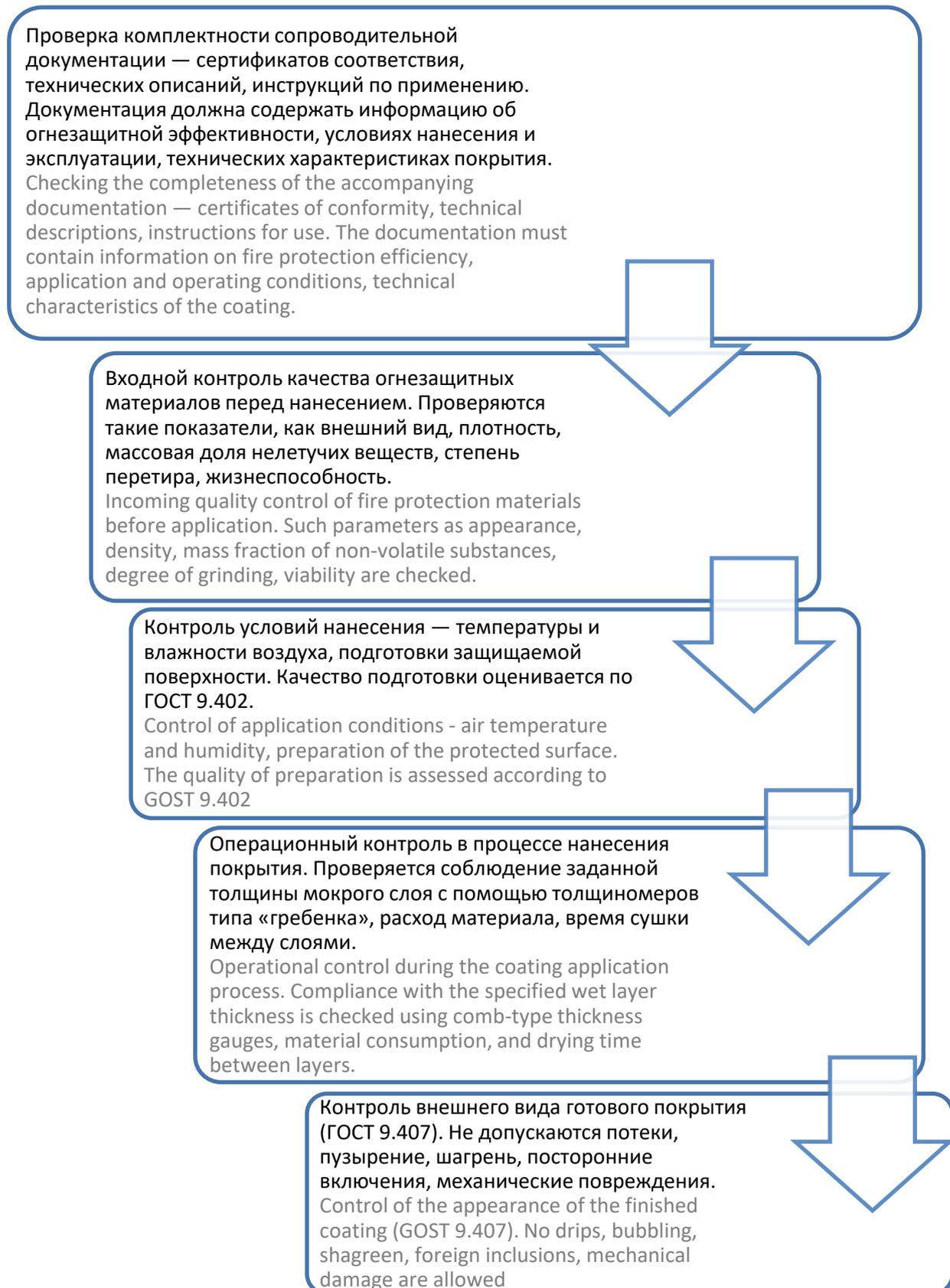
- приборы термического анализа с масс-спектрометрическими детекторами.

- атомно-эмиссионные спектрометры с индуктивно-связанной плазмой.

- газовые и жидкостные хроматографы [16].

Лабораторный комплекс должен обеспечивать контролируемые условия по температуре и влажности воздуха. Исследования проводят по стандартным методикам с обработкой результатов методами математической статистики. Комплексное использование перечисленного оборудования позволяет всесторонне исследовать и оценить свойства лакокрасочных покрытий в соответствии с требованиями отечественной и международной нормативной документации [11].

Контроль качества огнезащитных покрытий на основе красок на водной основе, применяемых для защиты металлических конструкций, проводится в соответствии с требованиями нормативных документов (ГОСТ Р 53295, НПБ 236 и др.) и включает следующие методы (рис.2).



**Рис. 2.** Контроль качества огнезащитных покрытий

**Fig. 2.** Quality control of flame retardant coatings

Периодичность контроля и объем испытаний устанавливаются в зависимости от вида и объемов выполняемых работ [17]. При необходимости могут привлекаться специализированные организации, аккредитованные в области испытаний средств огнезащиты. Результаты контроля качества фиксируются в журналах производства работ, актах на скрытые работы, протоколах испытаний и являются основанием для оценки соответствия выполненной огнезащитной обработки проектным требованиям и нормам.

### Выводы

Методы исследования современных огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций охватывают оценку огнезащитной эффективности, физико-механических и термических свойств покрытий, их долговечности и стойкости к внешним воздействиям, а также анализ химического состава.

Испытания проводятся в соответствии с государственными стандартами и сводами правил. основополагающим является ГОСТ Р 53295–2009, регламентиру-

ющий метод определения огнезащитной эффективности на стандартных образцах металлических конструкций в условиях специальных огневых печей. По результатам испытаний покрытия классифицируются на группы огнезащитной эффективности.

Физико-механические характеристики исследуют по стандартным методикам, включающим определение адгезии, прочности при ударе, эластичности, твердости, трещиностойкости.

Термические свойства оценивают с помощью термогравиметрических измерений, долговечность — ускоренными климатическими испытаниями.

Для контроля химического состава применяют современные спектральные, хроматографические, термоаналитические методы.

Комплексное применение обсужденных методов позволяет получить достоверную и полную информацию о свойствах и характеристиках современных огнезащитных покрытий на водной основе и научно обосновать область их применения для защиты металлических конструкций.

### СПИСОК ИСТОЧНИК

1. Абдикаримов М. Н., Жубанов Б. А. Изучение процессов пиролиза и горючести красок на основе сополимеров винилацетата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 8 (145). С. 237–244.
2. 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> (дата обращения: 04.12.2024).
3. Мартынов А. В., Греков В. В., Попова О. В. Огнестойкость строительного элемента с интумесцентной огнезащитой: стандартная оценка и экспресс-анализ // Безопасность техногенных и природных систем. 2023. Т. 7, № 2. С. 38–46.
4. Уткин С. В., Семенова Н. В. Изучение огнезащитных свойств вспенивающихся составов по металлическим конструкциям при их эксплуатации // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2015. № 3. С. 43–46.
5. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта / А. В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 5. С. 39–50.
6. Разработка методов испытаний огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации / М. А. Комарова [и др.] // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 21–34.

7. Aqlibous A., Tretsiakova-McNally S., Fateh T. Waterborne intumescent coatings containing industrial and bio-fillers for fire protection of timber materials // *Polymers*. 2020. T. 12, № 4. С. 757.
8. Kumar S., Kumar S., Namburi E. P. *Functional Paints and Coatings // Novel Defence Functional and Engineering Materials (NDFEM)*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2024. T. 1: Functional Materials for Defence Applications. С. 219–246.
9. Waterborne Intumescent Fire-Retardant Polymer Composite Coatings: a review / Y. Li et al. // *Polymers*. 2024. T. 16, № 16. С. 2353.
10. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: a review // *Journal of fire sciences*. 2016. T. 34, № 2. С. 120–163.
11. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review / M. Yasir et al. // *Surface Engineering*. 2020. T. 36, № 4. С. 334–363.
12. Uslu B., Toğay Ş. M. E., Dilsiz N. Improvement on flame retarding performance: Preparation and characterization of water-based indoor paints with addition of boric acid // *Journal of Boron*. 2021. T. 6, № 2. С. 309–315.
13. Improving the fire-retardant performance of industrial reactive coatings for steel building structures / L. Vakhitova et al. // *Heliyon*. 2024. T. 10, № 14.
14. Wang K., Le H. The development of cement-based, intumescent and geopolymer fire-retardation coatings for metal structures: a review // *Coatings*. 2023. T. 13, № 3. С. 495.
15. Оценка совместимости огнезащитных составов по металлу с грунтовочными покрытиями для достижения максимальной эффективности средств огнезащиты / Ю. В. Кривцов [и др.] // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 38 (3). С. 7–19.
16. Моделирование номограмм прогрева стальных конструкций с огнезащитными покрытиями различной толщины (на воде) / Д. А. Корольченко [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2022. Т. 31, № 6. С. 30–46.
17. Степанова А. Н. Исследование изменений поверхности огнезащитной краски после облучения бета-частицами методом атомно-силовой микроскопии // *Биотехнологии и безопасность в техносфере : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции 11-12 апреля 2023 года*. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 12–14.

#### REFERENCES

1. Abdikarimov M.N., Zhubanov B.A. Study of pyrolysis and flammability of paints based on vinyl acetate copolymers // *News of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2013; 8 (145): 237–244 (rus).
2. GOST R 53295-2009 "Fire protection products for steel structures. General requirements. Method for determining flame retardant effectiveness". 2015. (rus).
3. Martynov A.V., Grekov V.V., Popova O.V. Fire resistance of a building element with intumescent fire protection: standard assessment and express analysis // *Safety of technogenic and natural systems*. 2023; 7(2): 38–46. (rus).
4. Utkin S.V., Semenova N.V. The study of flame retardant properties of foaming compounds for metal structures during their operation // *Supervisory activity and forensic examination in the security system*. 2015; 3: 43–46. (rus).
5. Ivanov A.V., Boeva A.A., Dementiev F.A., Ryabov A.A. Modification of thin-layer flame retardant coatings with multilayer carbon nanotubes: physical and technological principles and methods of application for pipeline transport facilities // *Fire and explosion safety*. 2019; 28(5): 39–50. (rus).
6. Komarova M.A., Grishin I.A., Shalabin M.V., Melnikov N.O. Development of test methods for fire-resistant coatings of steel building structures during operation // *Bulletin of SIC Construction*. 2024; 1 (40): 21–34. (rus).
7. Aqlibous A., Tretsiakova-McNally S., Fateh T. Waterborne intumescent coatings containing industrial and bio-fillers for fire protection of timber materials // *Polymers*. 2020; 12(4): 757.
8. Kumar S., Kumar S., Namburi E. P. *Functional Paints and Coatings // Novel Defence Functional and Engineering Materials (NDFEM) Volume 1: Functional Materials for Defence Applications*. – Singapore : Springer Nature Singapore. 2024; 219–246.
9. Li Y. et al. Waterborne Intumescent Fire-Retardant Polymer Composite Coatings: A Review // *Polymers*. 2024; 16 (16): 2353.
10. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review // *Journal of fire sciences*. 2016; 34 (2): 120–163.
11. Yasir M. et al. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review // *Surface Engineering*. 2020; 36 (4): 334–363.

12. Uslu B., Toğay Ş. M. E., Dilsiz N. Improvement on flame retarding performance: Preparation and characterization of water-based indoor paints with addition of boric acid // *Journal of Boron*. 2021; 6(2): 309–315.
13. Vakhitova L. et al. Improving the fire-retardant performance of industrial reactive coatings for steel building structures // *Heliyon*. 2024; 10 (14). (rus).
14. Wang K., Le H. The development of cement-based, intumescent and geopolymer fire-retardation coatings for metal structures: a review // *Coatings*. 2023; 13(3): 495.
15. Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Komarova M.A., Khaidarov A.U., Eremina G.P., Groshev Yu.M. Assessment of compatibility of flame retardants for metal with primer coatings to achieve maximum effectiveness of fire protection products. *Bulletin of the SIC "Construction"*. 2023; 38(3):7–19. (rus).
16. Korolchenko D.A., Eremina T.Yu., Puzach S.V., Portnov F.A. Modeling of nomograms for heating steel structures with fire-resistant coatings of various thicknesses (on water) // *Fire and explosion safety*. 2022; 31 (6): 30–46. (rus).
17. Stepanova A.N. Investigation of changes in the surface of flame retardant paint after irradiation with beta particles by atomic force microscopy // In the collection: *Biotechnology and safety in the technosphere. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. conferences on April 11-12, 2023*. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS; 12–14. (rus).

#### Информация об авторах

**Тухбатулин Максим Наильевич**, адъюнкт, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, улица Мира, д. 22, SPIN-код: 8215-9288, AuthorID: 1254387, ORCID: 0009-0004-4586-1143; e-mail: [tuchbatulin93@mail.ru](mailto:tuchbatulin93@mail.ru)

**Барбин Николай Михайлович**, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, SPIN-код: 9179-6428, AuthorID: 31647, ORCID: 0000-0002-6709-4334; e-mail: [nmbarbin@mail.ru](mailto:nmbarbin@mail.ru)

**Елфимова Марина Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника института по научной работе, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 818459

**Хабидулина Наталия Валерьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Уральский

#### Information about the authors

**Maxim N. Tuchbatulin**, adjunct, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira str., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, SPIN-код: 8215-9288, AuthorID: 1254387, ORCID: 0009-0004-4586-1143 e-mail: [tuchbatulin93@mail.ru](mailto:tuchbatulin93@mail.ru)

**Nikolai M. Barbin**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Department of the Educational and Scientific Complex of Fire Extinguishing and Emergency Rescue Operations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira str., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, SPIN-код: 9179-6428, AuthorID: 31647, ORCID: 0000-0002-6709-4334 e-mail: [nmbarbin@mail.ru](mailto:nmbarbin@mail.ru)

**Marina V. Elfimova**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy Head of the Institute for Scientific Work, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 818459

**Natalia V. Khabibullina**, Cand. Sci. (Agricultural), Senior Researcher of the Research Department, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira

институт ГПС МЧС России, Россия, 620062,  
г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author  
ID: 759109; ORCID ID: 0009-0008-4435-  
4202

St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian  
Federation; Author ID: 759109;  
ORCID ID: 0009-0008-4435-4202

УДК 614.841.123.24

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ В ПРИБОРАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

**Ганеев Руслан Альбертович, Хафизов Ильдар Фанилевич,  
Павлова Зухра Хасановна, Алексеев Дмитрий Леонидович**

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

### **АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрены процессы создания жидкостных потоков в пожарных стволах, влияющие на эффективность тушения пожаров. Основной задачей при решении данных вопросов является модернизация имеющихся на вооружении пожарных стволов. С каждым днем увеличивается пожарная нагрузка используемых строительных материалов, сопровождающееся выделением большого количества отравляющих веществ с большой концентрацией, при этом резко увеличивается воздействие опасных факторов пожара на участников тушения пожаров. Это указывает на необходимость совершенствования уже имеющихся пожарных стволов, находящихся на вооружении пожарных подразделений. Максимальная универсализация и повышенная эффективность пожарных стволов позволит решить большое количество поставленных задач при тушении пожаров, тем самым снизить количество привлекаемых сил и средств, увеличивающуюся нагрузку на участников тушения пожара, а также уменьшить временные показатели локализации и ликвидации пожаров. Для объектов нефтепереработки данная тема так же важна, так как они включают в себя отдельно стоящие резервуары, резервуарные парки, насосные, наливные железнодорожные и автомобильные эстакады, продуктопроводы и другие различного рода технологические сооружения, эксплуатация которых носит особый характер. Она связана с серьезными рисками возникновения аварийных ситуаций. Технологические процессы объектов нефтепереработки оказывают значительное влияние на пожарную опасность и количество связанных с ними пожаров.

**Ключевые слова:** вихревые потоки, ликвидация пожара, пожарный ствол, завихритель, движение жидкости

### **INVESTIGATION OF SWIRLERS IN FIRE EXTINGUISHING DEVICES TO IMPROVE FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY**

**Ruslan A. Ganeev, Ildar F. Hafizov, Zuhra H. Pavlova, Dmitry L. Alekseev**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

## ABSTRACT

The article discusses the processes of creating liquid flows in fire barrels that affect the effectiveness of fire extinguishing. The main task in solving these issues is to modernize the fire barrels in service. The fire load of building materials used in construction increases every day, accompanied by the release of a large amount of toxic substances and with a high concentration of it, while the impact of fire hazards on participants in extinguishing fires increases dramatically. This indicates the need to improve the existing fire barrels in service with fire departments. Maximum universalization and increased efficiency of fire barrels will allow solving a large number of tasks in extinguishing fires, thereby reducing the number of forces and means involved, increasing the burden on participants in extinguishing a fire, as well as reducing the time indicators of localization and elimination of fires. Oil refining facilities include free-standing reservoirs, tank farms, pumping, bulk railway and automobile overpasses, product pipelines and other various technological structures, the operation of which is of a special nature and is associated with serious risks in case of emergency situations. The technological processes of oil refining facilities have a significant impact on the fire hazard and the number of fires associated with them.

**Keywords:** vortex flows, fire elimination, fire barrel, swirler, fluid movement

## Введение

При ликвидации крупных пожаров невозможно обойтись без использования большого количества участников тушения пожара, пожарной техники и пожарнотехнического вооружения.

Пожарнотехническое вооружение, комплектующее пожарные подразделения, отстает от быстроразвивающихся современных технологий и не всегда удовлетворяет возникающим потребностям. В результате этого становятся открытыми такие проблемные вопросы, как укомплектованность дежурных караулов, превышение сроков эксплуатации техники, морально устаревшие средства пожаротушения. Это демонстрирует то, что для повышения эффективности действий личного состава пожарной охраны требуются дополнительные силы и средства, снижающие возможность их использования на других направлениях.

В мире постоянно ведутся разработки абсолютно новых образцов приборов пожаротушения и достигаются вполне весомые результаты.

Создание и применение современных образцов пожарного оборудования не обходится без исследований мировой науки [1].

Основными видами пожарного оборудования, применяемого при ликвидации пожаров, являются ручные и лафетные пожарные стволы.

В науке проведено большое количество теоретических и экспериментальных исследований по изучению вихрей, а также исследований различных видов движения жидкостей с замкнутыми или почти замкнутыми линиями тока и ненулевой завихренностью в ограниченном пространстве.

Интерес, возникший к изучению таких движений жидкости, проявляется следующими аспектами, такие формы течений имеют большую распространенность в природных условиях, при этом можно увидеть широкий диапазон изменения их значений. На поверхности земли образуются вихри, исчисляемые километрами, в атмосфере они представляют собой спиральные облачные системы и их различные формы – тайфуны и ураганы, в

океанах и морях такие проявления представляют собой мезомасштабные вихри и кольцевые течения [2].

Различные исследования показали, что запас кинетической энергии в вихрях достигает больших значений, компактные вихри в атмосфере, например торнадо, могут наносить большой экономический и экологический урон, а также привести к гибели людей [3].

Для стабилизации физико-химических процессов горения, в промышленности используют вихревые потоки, за счет разделения компонентов, изъятием твердых и жидких механических включений [4].

### **Результаты и их обсуждение**

Для продолжения изучения исследуемых процессов, необходимо рассмотреть принцип работы стрелкового оружия. В стрелковом оружии основным элементом является ствольная часть. В ней создаются условия для создания зарядом энергии, сгорание которой происходит в камере заряда и передает пуле поступательное движение, придавая ей скорость и способность следовать в нужную цель.

Внутренний канал ствола визуально представляет собой трубу. В целом каналы всех стволов обычно конструктивно одинаковы, отличительной чертой служит количество, форма и вид нарезов.

Конструктивные особенности стрелкового оружия можно по аналогии перенести и на приборы пожаротушения. При этом в качестве патрона вы-

ступают огнетушащие вещества, которые могут отличаться друг от друга, однако схожи по своим функциональным направлениям.

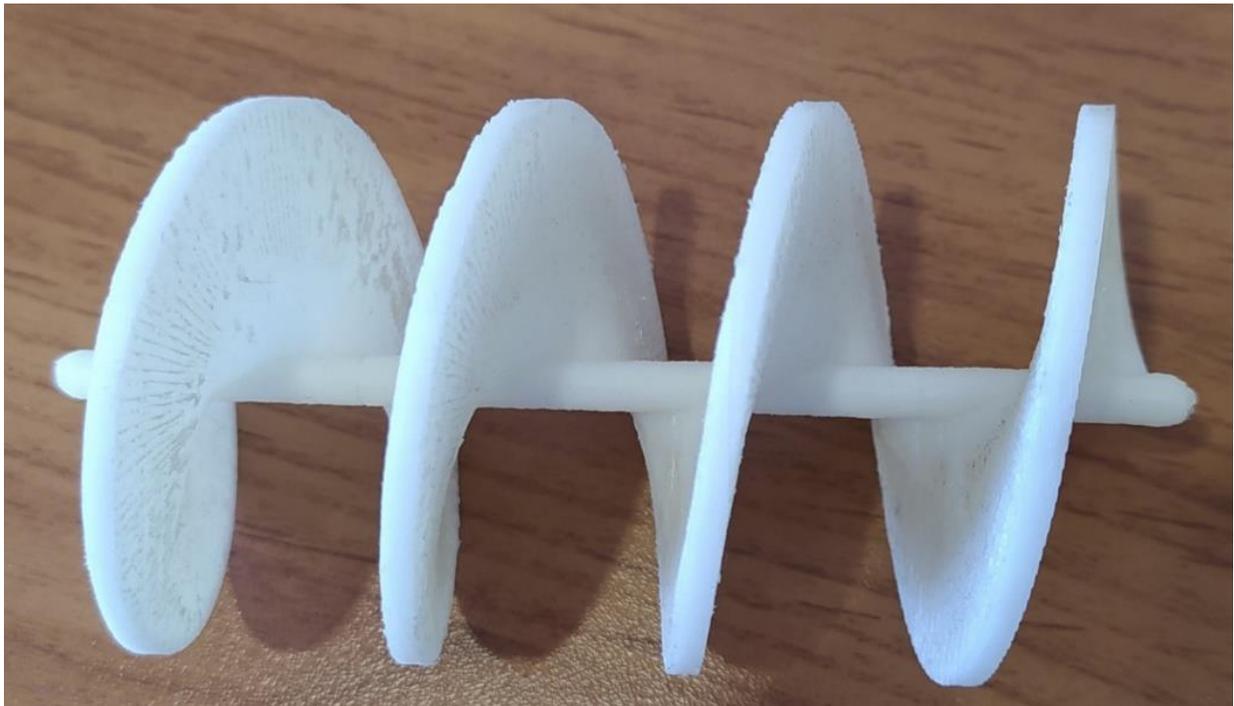
Сопоставив работу нарезного оружия и внесение подобных условий для совершенствования элементов конструкции устройств пожаротушения, создающих вихревые потоки, получим необходимый нам закрученный поток жидкости.

Предлагаемый способ создания вихревых потоков (с помощью использования завихрителя) работает следующим образом [5–13]: подаваемое огнетушащее вещество проходит через завихритель (рис. 1), вмонтированный в трубу (рис. 2). Исходя из полученных исследовательских данных, определены оптимальные значения завихрителя (шаг, количество витков) и длина трубной части.

Для проведения эксперимента взята завихритель с шагом 25 мм, длиной 100 мм, а также труба, диаметр которой позволяет накрутить на нее соединительную головку с условным проходом 51 мм.

При изготовлении опытных образцов использовался пластик с использованием 3D-принтера.

Опытный образец, представленный на рис. 3, представляет собой трубу, в полость которой помещен завихритель с необходимыми параметрами шага, а также общей длины. Данное изделие предназначено для осуществления завихрения жидкости.



**Рис. 1.** Завихритель длиной 100 мм, количеством витков 4 и с шагом 25 мм

**Fig. 1.** A swirler with a length of 100 mm, a number of turns of 4 and a pitch of 25 mm



**Рис. 2.** Труба длиной 100 мм

**Fig.2.** The pipe is 100 mm long



**Рис. 3.** Опытный образец завихрителя

**Fig. 3.** A prototype swirler



**Рис. 4.** Опытная сборка завихрителя

**Fig. 4.** Pilot assembly of the swirler

На дальность подачи огнетушащего вещества влияют такие параметры, как угол подачи огнетушащего вещества, вид

подаваемого огнетушащего вещества, форма струи, конструктивные особенности пожарных стволов и т. д.

Испытание заключалось в том, что сначала определялась дальность подачи воды пожарных стволов, подсоединенных с помощью пожарного рукава к насосу пожарной автоцистерны. Затем между пожарными стволами и пожарным рукавом присоединялся опытный образец, представленный на рис. 4. Апробация опытного образца проводилась с учетом оптимального угла подачи огнетушащего вещества, которое составляет 30° к горизонту. Используемый пожарный насос является самым распространенным. Соблюдение данных условий необходимо для

обеспечения результатов, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации различного рода приборов пожаротушения. Для проведения эксперимента берутся разные ручные пожарные стволы с одинаковым условным проходом. В испытуемые образцы уже внедрены различного рода конструктивные изменения, поэтому одной из основных задач при испытании завихрителя будет сравнение работы пожарных стволов в сочетании с вихревыми движениями жидкостей.

**Таблица 1**

Результаты исследования показателей дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола РСКУ-50А

**Table 1**

Results of the study of the parameters of the range of fire extinguishing agent supply from the RSKU-50A manual fire barrel

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа The pressure of the extinguishing agent in front of the manual fire barrel, MPa	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м The range of fire extinguishing agent supply without a sample, m	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м The range of supply of fire extinguishing agent with a sample, m
0,4	35	43
0,5	38	47
0,6	41	51

**Таблица 2**

Результаты исследования показателей дальности подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола РСК-50

**Table 2**

The results of the study of the indicators of the range of fire extinguishing agent supply from the RSK-50 hand-held fire barrel

Давление огнетушащего вещества перед ручным пожарным стволом, МПа The pressure of the extinguishing agent in front of the manual fire barrel, MPa	Дальность подачи огнетушащего вещества без образца, м The range of fire extinguishing agent supply without a sample, m	Дальность подачи огнетушащего вещества с образцом, м The range of supply of fire extinguishing agent with a sample, m
0,4	30	38
0,5	32	40
0,6	34	43

В ходе теоретических исследований получено выражение, позволяющее осуществить количественную оценку изменения скорости потока в зависимости от шага завихрителя и его радиуса, которое представляется в следующем виде:

$$V_h = \frac{8\nu}{R} h^{-0,0044}, \quad (1)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$R$  – радиус завихрителя,  $\text{м}$ ;

$V_h$  – скорость движения жидкости при удельном шаге завихрителя,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$h$  – удельный шаг завихрителя.

$$h = \frac{L}{R}, \quad (2)$$

$L$  – шаг завихрителя,  $\text{м}$ ;

$R$  – радиус завихрителя,  $\text{м}$

### Выводы

При проведении теоретических исследований получена математическая модель формирования критерия, позво-

ляющая осуществить количественную оценку изменения скорости потока в зависимости от шага закручивающего устройства и его радиуса. Проведены исследования по определению необходимых параметров для получения максимальных числовых значений скорости движения жидкости. В ходе исследования получены данные по оптимальному количеству витков в закручивающем устройстве, шаге и общей его длины для проведения экспериментальных исследований. В ходе проведения экспериментальных исследований и испытаний существующих пожарных стволов с использованием опытных образцов, во внутреннюю часть устройства которых вмонтированы завихрители, была определена возможность увеличения дальности подачи огнетушащих веществ при использовании вихревых потоков в пожарных стволах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кошмаров Ю. А., Решетар Я., Лимонов В. Г. Экспериментальные исследования теплового воздействия пламени // Противопожарная защита объектов народного хозяйства. М. : ВИПТШ, 1979. С. 82–87.
2. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Л. : Наука, 1969. 487 с.
3. Океанология. Физика океана: в 2-х т. / под ред. А. С. Мониной, В. М. Каменковича. М. : Наука, 1978. Т. 1. Гидрофизика океана. 466 с.
4. Алексеенко С. В., Куйбин П. А., Окулов В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 2003. 503 с.
5. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 15.11.1991 № 1743 : введен впервые : дата введения 1993-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001409> (дата обращения: 23.12.2024).
6. Стволы пожарные ручные универсальные с регулируемым расходом КУРС-8 : паспорт и руководство по эксплуатации. Воронеж : Орт, 2015. 8 с.
7. Ганеев Р. А. Использование вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения // Сборник материалов конференции «73-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». Уфа, УГНТУ, 2022. С. 125.
8. ГОСТ Р 51115-97. Техника пожарная. Стволы пожарные лафетные. Общие технические требования. Методы испытаний : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 декабря 1997 г. № 425 : введен впервые : дата введения 1999-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011368> (дата обращения: 23.12.2024).
9. Ганеев Р. А., Хафизов И. Ф. Совершенствование элементов конструкции приборов пожаротушения для создания вихревых потоков // Нефтегазовое дело. 2021. № 4. С. 22–31.

10. Вероятностный подход к решению задачи SLAM в трехмерном пространстве / Казьмин В. Н. [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 2. С. 49–51.
11. Ганеев Р. А., Хафизов И. Ф. Использование вихревых потоков в приборах пожаротушения // Техносферная безопасность. 2021. № 2. С. 82–86.
12. Ганеев Р. А. Исследование изучения вихревых потоков жидкости в приборах пожаротушения // Сборник материалов конференции «69-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ». Уфа : УГНТУ, 2018. С. 291.
13. Хафизов Ф. Ш., Кудрявцев А. А., Шевченко Д. И. Определение структуры и параметров регуляторов для задач моделирования процессов в компьютерных тренажерах при ограниченном информационном обеспечении // Нефтегазовое дело. 2011. № 1. С. 336–349.

## REFERENCES

1. Koshmarov Yu.A. Experimental studies of the thermal effects of flame / Yu.A. Koshmarov, Ya. Reshetar, V.G. Limonov // Fire protection of objects of the national economy. Moscow, VIPTSH, 1979; 82–87. (rus).
2. Nalivkin D.V. Hurricanes, storms and tornadoes. Leningrad, Nauka, 1969; 487. (rus).
3. Oceanology. Physics of the ocean. T. I. Hydrophysics of the ocean. Ed. Monina A.S. and Kamenskovich V.M. Moscow, Nauka, 1978; 466. (rus).
4. Alekseenko S.V., Kuibin P.A., Okulov V.L. Introduction to the theory of concentrated vortices. S.S. Kutateladze Institute of Thermophysics. Novosibirsk: Institute of Thermophysics SB RAS. 2003; 503. (rus).
5. GOST 10704-91. Interstate standard. Straight-seam electric-welded steel pipes. Assortment. (rus).
6. Passport and instruction manual. Hand-held universal fire barrels with adjustable flow rate KURS-8. Voronezh, NPO Ort LLC, 2015; 8. (rus).
7. Ganeev R.A. The use of vortex fluid flows in fire extinguishing devices // Collection of materials of the conference "73rd scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists of USNTU". Ufa, USPTU, 2022; 125. (rus).
8. GOST R 51115-97. Fire fighting equipment. Fire carriage barrels. General technical requirements. Test methods. 1999; 15. (rus).
9. Ganeev R.A., Khafizov I.F. Improvement of the design elements of fire extinguishing devices for the construction of vortex flows // Online publication "Oil and Gas business". 2021; 4: 22–31. (rus).
10. Kazmin V.N. et al. A probabilistic approach to solving the SLAM problem in three-dimensional space // Izvestiya SFU. Technical sciences. 2017; 2: 49–51. (rus).
11. Ganeev R.A., Khafizov I.F. The use of vortex flows in fire extinguishing devices // Technosphere Security online publication. 2021; 2: 82–86. (rus).
12. Ganeev R.A. A study of vortex fluid flows in fire extinguishing devices // Collection of materials of the conference "69th scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists of USNTU". Ufa, USPTU, 2018; 291. (rus).
13. Hafizov F.Sh., Kudryavtsev A.A., Shevchenko D.I. Determination of the structure and parameters of regulators for process modeling tasks in computer simulators with limited information support // Electronic scientific journal "Oil and gas business". 2011; 1: 336–349. (rus).

## Информация об авторах

**Ганеев Руслан Альбертович**, соискатель ученой степени кандидата технических наук кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1  
e-mail: [ganeev.ra@mail.ru](mailto:ganeev.ra@mail.ru)

**Хафизов Ильдар Фанилевич**, доктор технических наук, профессор кафедры по-

## Information about the authors

**Ruslan A. Ganeev**, Candidate of Scientific Degree of Candidate of Technical Sciences, Department of Fire and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation;  
e-mail: [ganeev.ra@mail.ru](mailto:ganeev.ra@mail.ru)

**Ildar F. Hafizov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fire

жарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Павлова Зухра Хасановна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехники и оборудования предприятий», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Алексеев Дмитрий Леонидович**, соискатель ученой степени кандидата технических наук кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

**Zukhra K. Pavlova**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

**Dmitry L. Alekseev**, Candidate of Scientific Degree of Candidate of Technical Sciences, Department of Fire and Industrial Safety, Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

УДК 614.841.332

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Леменков Михаил Дмитриевич, Шархун Сергей Владимирович,  
Штерензон Вера Анатольевна

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема термической деструкции теплоизоляционных строительных материалов при воздействии теплового потока, а также влияние последнего на теплотехнические характеристики. Авторы предлагают новый подход к оценке этого влияния с помощью специального прибора и проводят математический анализ принятой модели, что позволяет лучше понять процессы, происходящие в материалах при нагревании. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов в области строительства и теплоизоляции. Контекст статьи охватывает результаты анализа фасадных систем, которые были сгруппированы в четыре основные категории, встречающиеся в гражданском строительстве России. Исследуется, что наибольшее распространение получают негорючие строительные материалы, поскольку вопросы безопасности становятся приоритетными в современных строительных проектах. Тем не менее, в статье также подчеркивается проблема соотношения горючих и негорючих материалов, что подтверждает сложность выбора, стоящего перед архитекторами и строителями. Структура статьи включает введение в тему фасадных решений, их классификацию и последующее обсуждение их применения в современных условиях. В заключение можно отметить, что, рассматривая фасадные системы как одно из ведущих направлений в современном строительстве, автор подчеркивает, что создание гармоничного и безопасного архитектурного образа должно стать основополагающей целью в работе над будущими проектами.

**Ключевые слова:** устойчивость системы теплоснабжения, воздействие повышенных температур, фасадные системы, тепловой поток

## STUDY OF THE INFLUENCE OF HEAT FLOW ON THE THERMAL PROPERTIES OF THERMAL INSULATION BUILDING MATERIALS UNDER THE INFLUENCE OF ELEVATED TEMPERATURES USING MATHEMATICAL ANALYSIS

Mikhail D. Lemenkov, Sergey V. Sharkhun, Vera A. Shterenzon

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

## ABSTRACT

The article deals with the problem of thermal destruction of thermal insulation building materials under the influence of heat flow, as well as the influence of the latter on thermal engineering characteristics. The authors propose a new approach to assessing this effect using a special device and conduct a mathematical analysis of the adopted model, which allows for a better understanding of the processes occurring in materials during heating. The results of the study may be useful for specialists in the field of construction and thermal insulation. The context of the article covers the results of the analysis of facade systems, which were grouped into four main categories found in civil engineering in Russia. It is investigated that non-combustible building materials are becoming the most widespread, since safety issues are becoming a priority in modern construction projects. However, the article also highlights the problem of the ratio of combustible and non-combustible materials, which confirms the complexity of the choice facing architects and builders. The structure of the article includes an introduction to the topic of facade solutions, their classification and subsequent discussion of their application in modern conditions. In conclusion, it can be noted that, considering facade systems as one of the leading trends in modern construction, the author emphasizes that creating a harmonious and safe architectural image should be a fundamental goal in working on future projects.

**Keywords:** stability of the heat supply system, exposure to elevated temperatures, facade systems, heat flow

## Введение

В современном мире архитектуры существует тенденция создавать объекты, которые отличаются уникальным внешним видом. Для достижения этой цели все чаще используются различные фасадные системы. Анализ характеристик фасадной системы позволяет выделить четыре основные группы, наиболее часто используемые в гражданском строительстве на территории Российской Федерации. Чаще всего для теплоизоляции фасадной системы используются негорючие строительные материалы. Однако соотношение горючих материалов по-прежнему велико. Эта тема подробно обсуждается в работе [1].

Обнаружение дефектов в теплоизоляционном слое фасадной системы, вызванных возможным тепловым потоком источника огня, является проблемным местом при реализации закона «Об энергосбережении и повышении энер-

гоэффективности». В настоящее время особенно важно оценить влияние теплового потока источников возгорания на теплоизоляционный слой горючих материалов. Оценка состава фасадной системы с применением внешнего штукатурного слоя проводится с целью соответствия требованиям действующих нормативных документов. Анализ воздействия повышенной температуры проводится также для установления потенциальных скрытых повреждений от пожара, что актуально, учитывая плотность современной застройки [2].

В процессе производства строительные материалы фасадной системы проходят обязательные испытания по различным показателям. В работе [3] представлена классификация строительных, текстильных и кожаных материалов по пожароопасности. Эта классификация основана на свойствах материала и его способности представлять опасность возгорания. Показатели пожарной опасности

строительных материалов определяются по методу [3]. В зависимости от параметров испытаний учитываются воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, токсичность продуктов горения и способность образовывать дым [3–6]. Испытаниям на пожарную опасность особое внимание уделяется не только в России, но и за рубежом [7–15]. Так, например, методы тестирования строительных материалов европейских стран более подробно описан в [16].

Исследования в области пожарной безопасности в строительной отрасли продолжают развиваться и совершенствоваться. Некоторые из пожароопасных факторов, включая воспламеняемость, токсичность, распространение поверхностного пламени и образование дыма, определяются с использованием стандартных методов испытаний, описанных в [17].

Современные приборы и испытательное оборудование предназначены только для проведения испытаний в соответствии с утвержденными методами, подробно описанными в [4–5, 17, 18]. Характеристики регистрирующих элементов данных методик не позволяют оценить степень воздействия теплового потока на утеплитель, находящийся в фасадной системе, тем самым ограничивая возможность комплексной оценки безопасности, надежности и эксплуатационной устойчивости всего объекта.

Целью следующих испытаний является определение степени влияния материала на динамику развития горения (пожара) [4, 7, 9, 17, 19]. Методы на оценку распространения пламени описаны в нормативных документах [5,8,10,14]. Испытания негативного воздействия на людей опасных факторов пожара освещены в работах [12, 13, 15, 18, 20]. Существующие российские и зарубежные методы контроля [4, 5, 17, 18, 19]. Однако роль

теплового потока и степень воздействия на содержащуюся в фасадной системе изоляцию не оценивались. На практике даже если требования правил пожарной безопасности выполняются в соответствии с относительным расположением объекта с точки зрения расстояния тушения между ними это указывает на то, что воздействие высоких температур может повлиять на материал теплозащитного слоя, не причиняя видимых повреждений внешнему (декоративному) слою.

Это ограничивает возможность всесторонней оценки безопасности, надежности и эксплуатационной стабильности всего объекта. В связи с этим был предложен новый метод оценки степени влияния теплового потока на строительные материалы, подробно описанный в [16].

Методика контроля и оценки степени влияния теплового потока на изоляционные строительные материалы основана на экспериментальном определении величины плотности теплового потока, отрицательно влияющей на теплоизоляционные свойства строительных материалов. Перед проведением испытания эталонное значение плотности теплового потока используемого устройства должно быть определено экспериментально. Метод определения показан на рис. 1. Для определения интенсивности теплового потока на заданном расстоянии к мультиметру в режиме измерения напряжения подключается контрольный датчик. Рабочая поверхность приемника ориентирована перпендикулярно вектору теплового потока. Его площадь составляет  $0,02 \text{ м}^2$ .

По результатам определения плотности теплового потока прибора строится график зависимости теплового потока от расстояния, на котором располагается образец. График этой зависимости представлен на рис. 2.



**Рис. 1.** Методика экспериментального определения эталонной величины плотности теплового потока прибора

**Fig. 1.** The method of experimental determination of the reference value of the heat flux density of the device

Таблица 1

Результаты определения плотности теплового потока

Table 1

The results of determining the heat flux density

Расстояние, м Distance, m	Показания мультиметра в режиме вольтметра, мкВ Multimeter reading in voltmeter mode, mV	Плотность теплового потока на заданных расстояниях, кВт/м <sup>2</sup> Heat flux density at specified distances, kW/m <sup>2</sup>
0,5	0,9	11,25
0,75	0,4	5
1	0,2	2,5
1,25	0,15	1,875
1,5	0,1	1,25

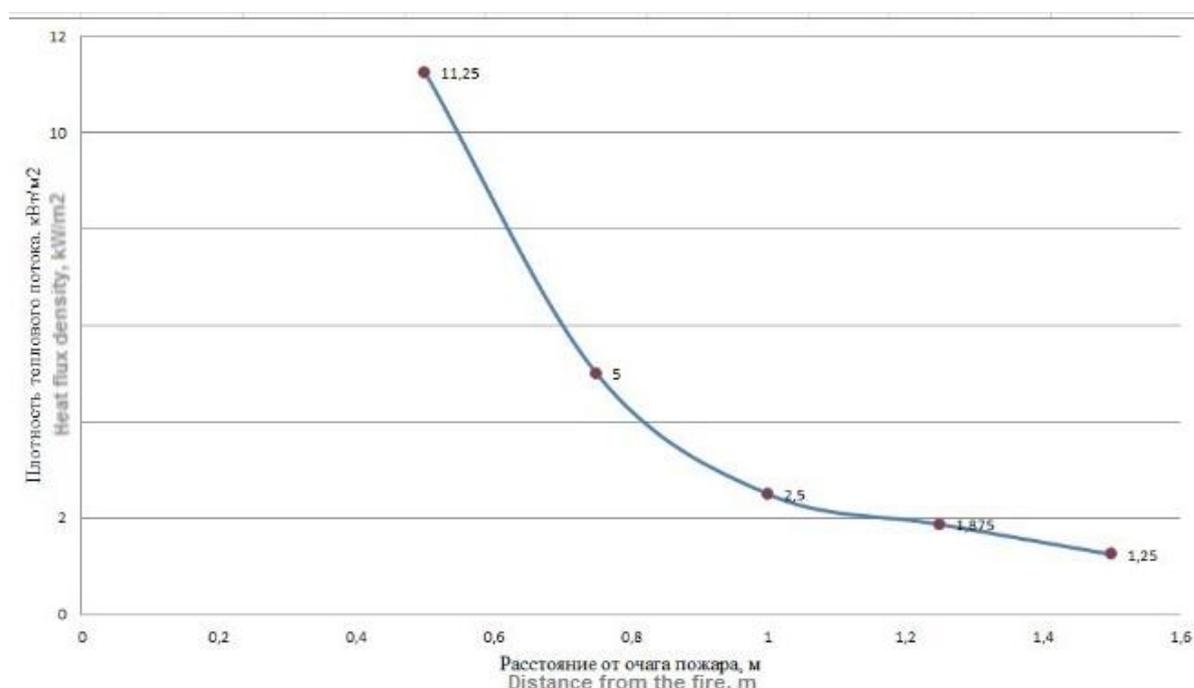


Рис. 2. График зависимости теплового потока от расстояния

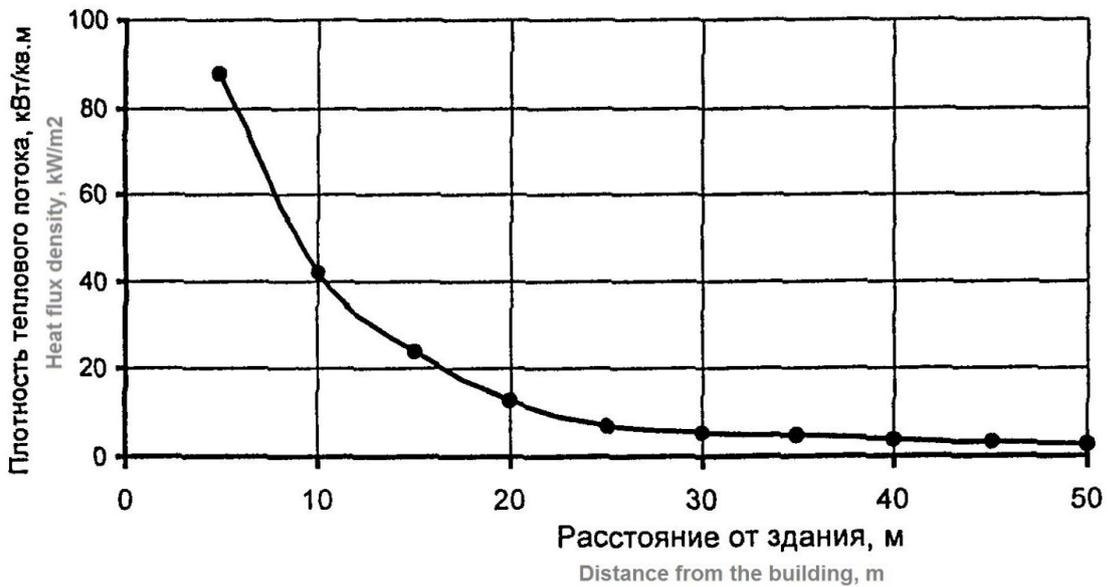
Fig. 2. A graph of the dependence of heat flow on distance

Исследователи в области поведения полимерных материалов А. И. Сечин и О. С. Кырмакова определили зависимость плотности теплового потока от расстояния между зданиями в случае возгорания огнеупорных конструкций I–III степени огнестойкости [21]. Показан график, показанный на рис. 3. На рисунке показано, что мощность на расстоянии 5 м составляет 90 кВт/м<sup>2</sup>. На расстоянии 10 м мощность составит 42 кВт/м<sup>2</sup>, а на расстоянии 15 метров – 25 кВт/м<sup>2</sup> между зданиями. Значи-

тельное снижение огневой мощности происходит на дистанции 20 м – до 13 кВт/м<sup>2</sup>. То есть, если расстояние между сооружениями составляет 25 м, мощность составит 7 кВт/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение дистанции не приведет к существенному изменению мощности. То есть на дистанции 30, 35, 40, 45 и 50 м мощность составляет 6,5, 4, 3, 2 кВт/м<sup>2</sup> соответственно.

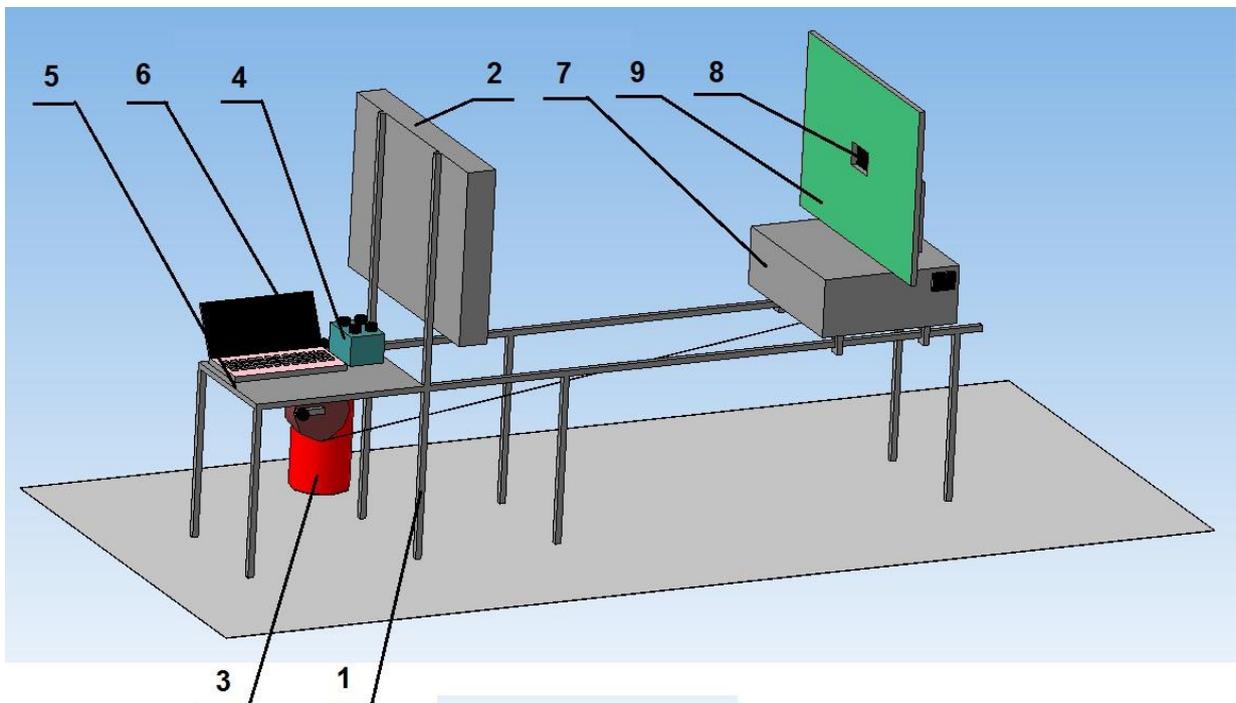
Для решения практической задачи определения степени воздействия теплового потока на изоляционные строитель-

ные материалы было разработано экспериментальное оборудование, показанное на рис. 4.



**Рис. 3.** Графическая зависимость теплового потока на расстоянии от источника теплового излучения

**Fig. 3.** Graphical dependence of the heat flux at a distance from the source of thermal radiation



**Рис. 4.** Прибор по определению степени влияния теплового потока

**Fig. 4.** A device for determining the degree of influence of heat flow

С помощью этого прибора был проведен ряд экспериментов для определения различных зависимостей тепловых свойств строительных материалов под

воздействием высоких температур. Оценка полученных результатов производится по алгоритму. На первом этапе собираются и систематизируются данные, полученные в ходе испытаний: результаты измерений, наблюдения, фотографии и видеозапись процесса. На этапе сравнения данные анализируются для определения основных характеристик горения: времени теплового воздействия, потери массы и изменения длины образца, а также определения горения пламени. Затем сравниваются полученные результаты с критериями оценки, установленными этим методом тестирования. В результате создается отчет об испытаниях, в котором отображаются все полученные данные и заключение о соответствии/несоответствии материала критериям оценки этого метода.

С целью выявления закономерностей, улучшения качества данных и прогнозирования результаты серии эксперимента подверглись математической обработке. В ходе математического анализа были предложены и исследованы различные математические модели.

#### **Математический анализ**

Математическая обработка и анализ данных экспериментов проводятся с несколькими целями.

1. Выявление закономерностей.
2. Статистическая значимость.
3. Прогнозирование.
4. Оптимизация.
5. Сравнение результатов.
6. Проверка гипотез
7. Улучшение качества данных

Математические методы позволяют обнаружить закономерности в данных, которые могут быть незаметны при простом визуальном анализе. Это помогает лучше понять исследуемое явление. Также с помощью математических методов можно определить, являются ли полученные результаты статистически значимыми, что позволяет сделать выводы о том,

насколько вероятно, что результаты эксперимента обусловлены случайными факторами. Математический анализ прогнозирует поведение системы или процесса на основе полученных данных, что является положительным моментом в данном научном исследовании, где необходимо прогнозировать будущие события или тенденции. Математическая обработка позволяет сравнивать результаты разных экспериментов и выявлять различия между ними. Это важно для определения эффективности различных подходов и методов исследования. Математические модели могут использоваться для оптимизации процессов и систем. Например, они могут помочь найти оптимальные условия для проведения эксперимента или выбрать наиболее эффективные методы исследования. Методы математического анализа используются для проверки гипотез, сформулированных на основе предварительных наблюдений или теорий. Данный подход позволяет оценить вероятность того, что гипотеза верна, на основе собранных данных. Проводимые с помощью аналитических формул математические процедуры могут помочь выявить и исправить ошибки в данных, а также улучшить их качество, что повышает точность и надежность результатов эксперимента.

Процесс построения любой математической модели можно представить последовательностью этапов.

1. Обследование объекта моделирования и формулировка технического задания на разработку модели (содержательная постановка задачи).
2. Концептуальная и математическая постановка задачи.
3. Качественный анализ и проверка корректности модели.
4. Выбор и обоснование выбора методов решения задачи.
5. Поиск решения.

6. Разработка алгоритма решения и исследование его свойств, реализация алгоритма в виде программ.

7. Проверка адекватности модели.

8. Практическое использование построенной модели.

На этапе обследования объекта моделирования определено, что модель должна удовлетворять следующим требованиям/принципам/концепциям: иметь практическую значимость, отражать свойства образца материала, верно интерпретировать динамику изменения показателей (характеристик).

В данном случае математическая модель позволяет прогнозировать поведение термически устойчивого материала к воздействию повышенных температур.

После исследования объекта выполнялось математическое моделирование результатов эксперимента влияния теплового потока на теплоизоляционный материал фасадной системы. В качестве теплоизоляционного материала был использован пенополистирол с толщиной

защитного штукатурного слоя 3, 6, 9 мм на расстояниях 0,5, 0,75, 1 м от источника теплового излучения.

Исследование парной корреляции температуры и времени показывает следующие результаты. Модель принята адекватной, коэффициент корреляции при этом:

На рис. 5 отображена динамика увеличения температуры от времени по зависимости:

$$T = \exp(3,35821 + 0,00208741 \times \text{tau}).$$

Что же касается парной корреляции температур и расстояния, то картина неоднозначна. Коэффициент корреляции составляет

Средняя положительная корреляция модели свидетельствует о нецелесообразности дальнейшего моделирования. Сама модель (рис. 6) при этом адекватна и в полной мере отражает зависимость влияния расстояния на температуру:

$$T = 210,902 - 155,452 \times L.$$

Plot of Fitted Model

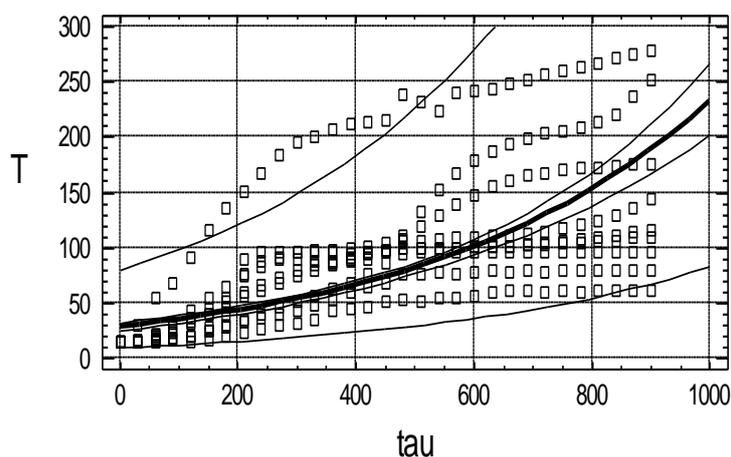
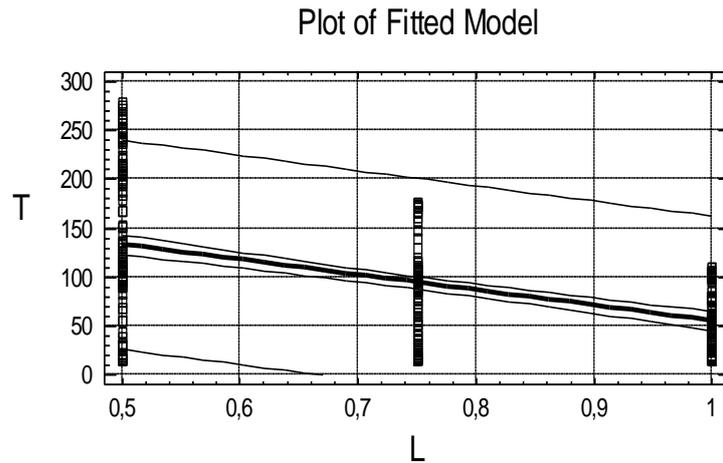


Рис. 5. Парная корреляция температуры и времени эксперимента

Fig. 5. Paired correlation of temperature and experiment time

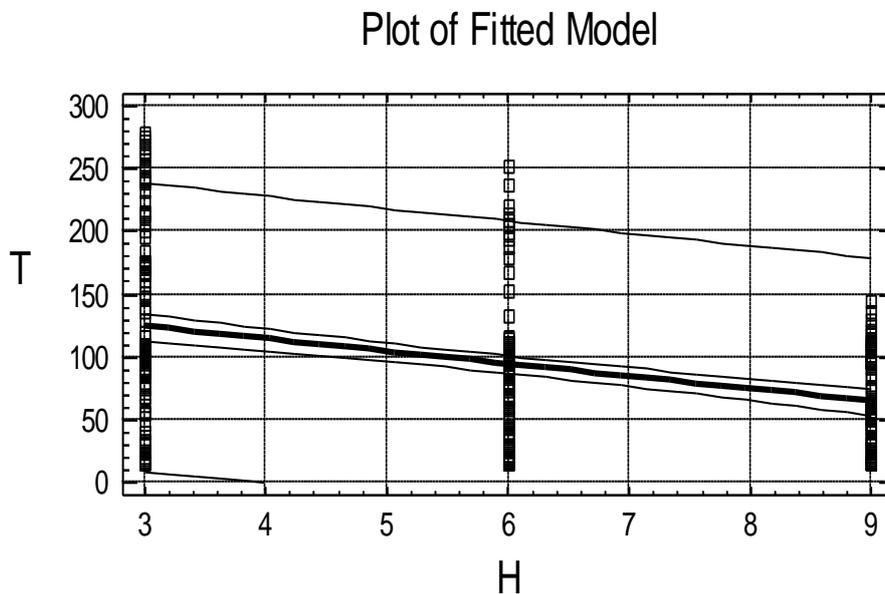


**Рис. 6.** Парная корреляция температуры и расстояния до источника теплового излучения  
**Fig. 6.** Paired correlation of temperature and distance to the source of thermal radiation

При исследовании парной корреляции толщины теплозащитного строительного материала и температуры были получены следующие результаты. Полученная математическая модель адекватна, однако коэффициент корреляции низкий. График зависимости, приведенной ниже, изображен на рис. 7.

$$T = 153,631 - 9,8862 \times H.$$

При исследовании множественной регрессии наиболее известных моделей были получены следующие результаты (табл. 2).



**Рис. 7.** Парная корреляция толщины пенополистирола и температуры  
**Fig. 7.** Paired correlation of polystyrene foam thickness and temperature

Таблица 2

Математические модели, полученные при исследовании множественной регрессии влияния толщины слоя теплозащитного материала на температуру образца

Table 2

Mathematical models obtained in the study of multiple regression of the effect of the thickness of the layer of heat-protective material on the temperature of the sample

Модель Model	R-квадрат R-square	Адекватность Adequacy
<p>Линейная модель Linear model</p> $T = 204,658 - 9,8862 \times H - 155,452 \times L + 0,145681 \times \tau$	R-squared = 79,7553 percent	Адекватная Adequate
<p>Экспоненциальная модель Exponential model</p> $T = \exp(5,0702 - 0,0966066 \times H - 1,5098 \times L + 0,00208741 \times \tau)$	R-squared = 80,334 percent	Адекватная Adequate
<p>Степенная модель The power model</p> $T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}$	R-squared = 80,9595 percent	Адекватная Adequate
<p>Обратная модель The reverse model</p> $\frac{1}{T} = 0,0150168 + 0,00141608 \times H + 0,0206623 \times L - 0,0000452218 \times \tau$	R-squared = 62,2626 percent	Адекватная Adequate
<p>Сумма обратных The sum of the reverses</p> $T = -67,6676 + 259,82 \times \frac{1}{H} + 77,6982 \times \frac{1}{L} - 86,8793 \times \frac{1}{\tau}$	R-squared = 48,0251 percent	Адекватная Adequate
<p>Полином 2-й степени A polynomial of the 2nd degree</p> $T = 263,21 - 17,6664 \times H - 422,073 \times L + 0,344341 \times \tau + 1,07736 \times H^2 + 205,204 \times L^2 - 0,000144432 \times \tau^2 - 0,0152527 \times H \times L \times \tau$	R-squared = 85,9175 percent	Адекватная Adequate
<p>Полином 3-й степени A polynomial of the 3rd degree</p> $T = 174,685 - 2,32802 \times H^2 - 390,982 \times L^2 + 0,000676789 \times \tau^2 + 0,189188 \times H^3 + 264,972 \times L^3 - 5,60564E - 7 \times \tau^3 - 0,0121025 \times H \times L \times \tau$	R-squared = 83,1396 percent	Адекватная Adequate

Качественный анализ полученных моделей показал, что наиболее привлекательно выглядит степенная модель. Зависимость параметров выглядит следующим образом:

$$T = \exp(2,42505) \times (H^{-0,528345}) \times (L^{-1,08523}) \times (\tau^{0,423479}).$$

Стоит отметить, что все рассматриваемые модели оказались адекватны.

Промежуточный вывод: краткий анализ подходящих математических моделей показал, что целесообразно принять степенную модель с зависимостью:

$$T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}.$$

Наиболее высокий коэффициент корреляции при исследовании парной корреляции (Correlation Coefficient = 0,736392) показан в отношении температуры образца от времени эксперимента, что подтверждается адекватностью выбранной математической модели. В результате целесообразно дальнейшее исследование выбранной модели для по-

вышения достоверности результатов эксперимента.

### Влияние исследуемых факторов на динамику температуры образца

На следующем этапе было проведено исследование поверхностей отклика для степенной модели.

Степенная модель:

$$T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}.$$

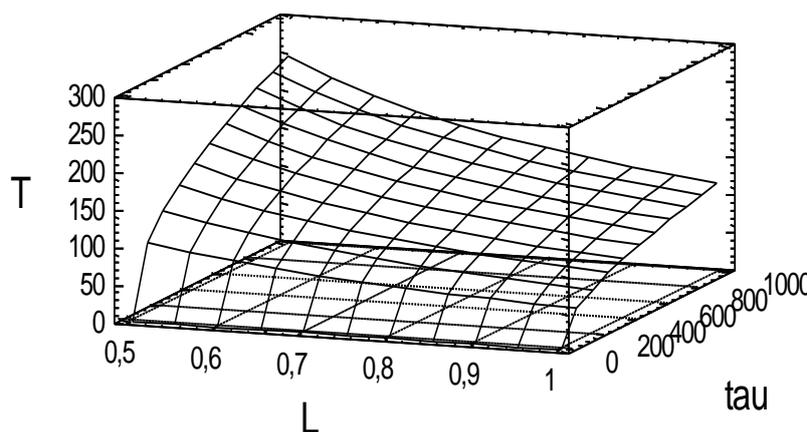
Анализ моделирования влияния расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры показал следующие результаты. Моделирование проводилось для трех различных толщин теплоизоляционного материала.

При толщине теплозащитного материала  $H = 3$  мм зависимость представлена на рис. 8.

При толщине теплозащитного материала  $H = 6$  мм зависимость представлена на рис. 9.

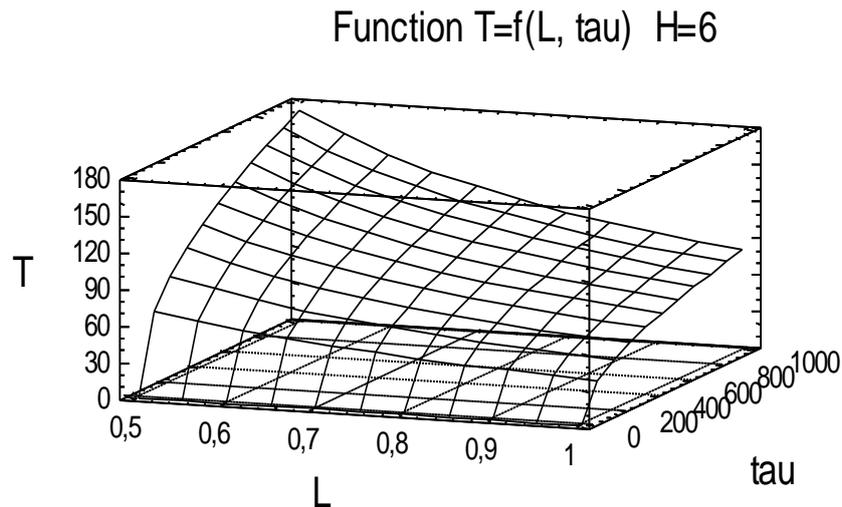
При толщине теплозащитного материала  $H = 9$  мм зависимость представлена на рис. 10.

Function  $T=f(L, \tau)$   $H=3$



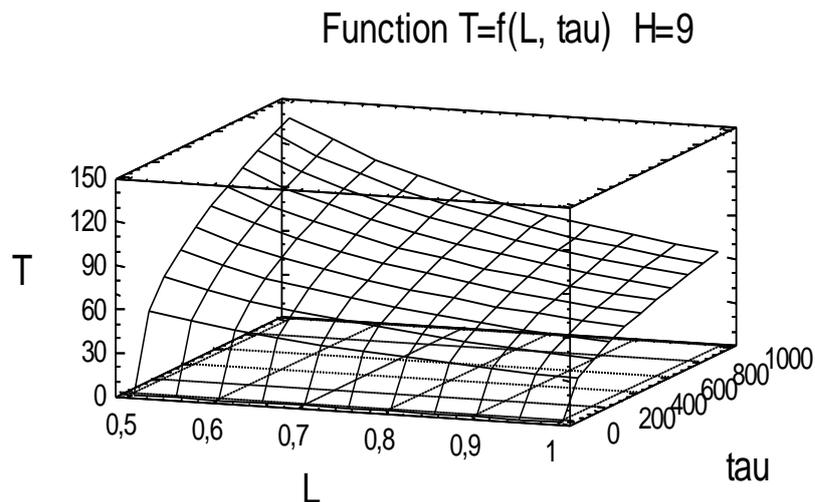
**Рис. 8.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 8.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time



**Рис. 9.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 9.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time



**Рис. 10.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 10.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time

Вывод: анализ поверхностей отклика степенной модели позволяет сделать закономерный вывод, что с увеличением времени воздействия температура образца возрастает нелинейно; при увеличении расстояния от источника теплового излучения температура образца снижается.

Следующим шагом был проведен анализ поверхностей отклика степенной модели на предмет зависимости температуры образца от расстояния между образцом и источником тепла и времени экспе-

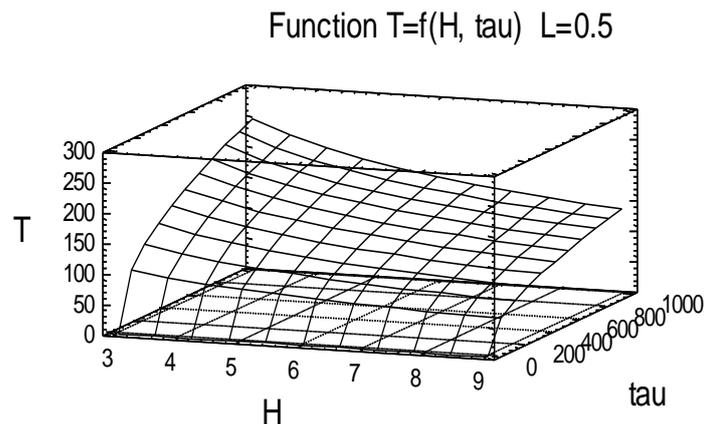
римента. Моделирование проводилось на трех расстояниях от источника теплового излучения, имитирующего расстояния 21, 30, 40 между зданиями 1-й степени огнестойкости. Анализ моделирования влияния толщины пенополистирола и времени эксперимента на динамику температуры образца показал следующие результаты.

На расстоянии 0,5 м от источника теплового излучения, что соответствует 21 м. между объектами, график зависимости

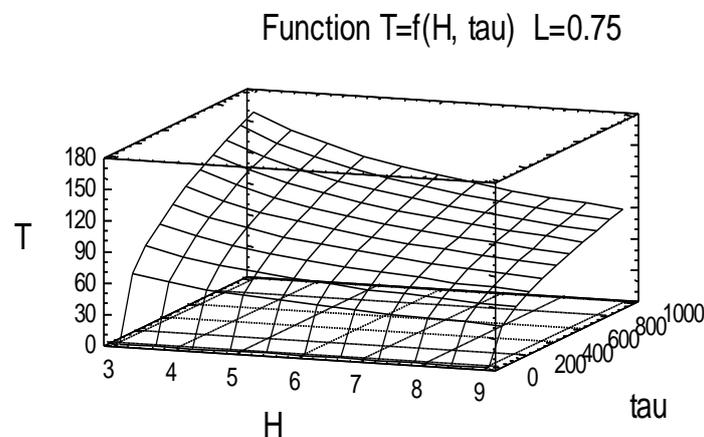
температуры образца от времени представлен на рис. 11.

График исследования функции температуры в зависимости от толщины теплоизоляционного материала с течением времени проведения эксперимента на расстоянии 0,75 м от источника теплового излучения, что соответствует 30 м между сооружениями, представлен на рис. 12.

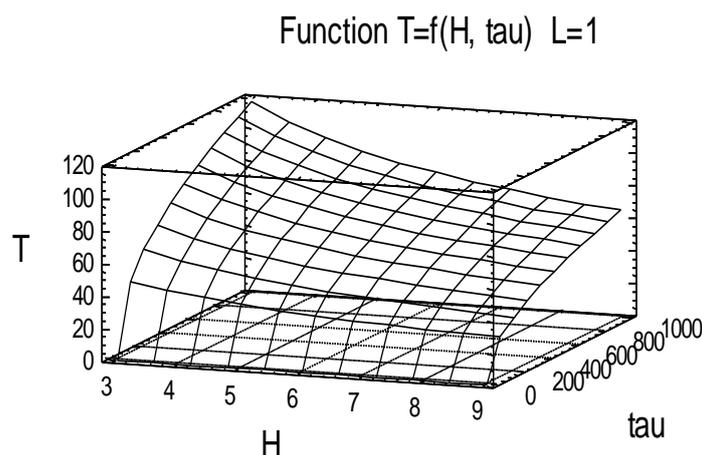
Анализ степенной модели зависимости температуры образца от толщины защитного слоя пенополистирола и времени на расстоянии 1 м от источника теплового излучения, что соответствует 40 м между зданиями, позволил определить следующую зависимость, представленную на рис. 13.



**Рис. 11.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 0,5 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 11.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 0.5 m between the sample and the heat source



**Рис. 12.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 0,75 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 12.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 0.75 m between the sample and the heat source



**Рис. 13.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 1 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 13.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 1 m between the sample and the heat source

Промежуточный вывод: на основе проведенного анализа поверхностей отклика степенной адекватной модели можно говорить о следующих подтвержденных закономерностях. С течением времени эксперимента температура образца возрастает перманентно, что свидетельствует о поглощении энергии испытуемым материалом. При увеличении толщины защитного слоя теплоизоляционного материала происходит снижение скорости нарастания температуры образца. При каждом увеличении расстояния от источника теплового излучения происходит снижение максимальной достигнутой температуры в 1,58 раз. Также при увеличении толщины теплозащитного слоя от 3 до 9 мм наблюдается снижение температуры образца примерно в 2 раза. Важно отметить, что влияние более низкой толщины защитного слоя ( $H = 3$  мм) имеет большее влияние на динамику темпера-

туры при меньшем расстоянии от источника теплового излучения (0,5 м).

#### Вывод

С точки зрения математического анализа серия экспериментов демонстрирует адекватность и согласованность данных. Это подтверждается статистической значимостью результатов и отсутствием противоречий в полученных измерениях.

Для дальнейшего развития исследования и подтверждения результатов целесообразно применить методы компьютерного полевого моделирования. Компьютерное моделирование позволит расширить понимание исследуемого явления, уточнить и проверить гипотезы, а также выявить новые закономерности. Такой подход обеспечит более глубокое и всестороннее изучение объекта исследования, повысит точность и надежность выводов, а также откроет новые перспективы для будущих исследований.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Леменков М. Д., Шархун С. В. Анализ существующих методов контроля строительных материалов, применяемых в фасадных системах [Текст] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 4. С. 92–97.
2. Леменков М. Д., Шархун С. В., Пономарев А. В. Формирование скрытого ущерба посредством влияния теплового потока очага пожара на фасадные системы с наружным штукатурным слоем // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы Междунар. XXXIV научн.-практ. конф., посвященной 85-летию образования ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 23–24 августа 2022 года. Москва: Все-

российский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС, 2022. С. 336–342.

3. Михайлов Б. В., Николаева А. Г., Иванов А. В. Анализ колебания несущих элементов фасадной системы от динамической нагрузки // Вестник науки. 2022. № 6. С. 198–207.

4. Методы испытания воспламеняемости материалов / Р. Ш. Еналеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 13. С. 73–77.

5. Перова А. И., Капранов А. В., Аносова Е. Б. Исследование токсической и пожарной опасности синтетических строительных материалов // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 8. С. 34–36.

6. Трушкин Д. В. Проблемы экспериментального определения горючести пенополистирола // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 4. С. 12–16.

7. NFPA 285. Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components. Quincy, MA: National Fire Protection Association. 2021.

8. Lepir II, Personal communication from Dr. Eric Guillaume, Efectis, France. 2019.

9. DIN 4102 Part 20. Fire Behaviour of Building Materials and Building Components – Part 20, Complementary Verification for the Assessment of the Fire Behaviour of Exterior Wall Claddings. Berlin, Germany: DIN— German Institute for Standardization. 2017.

10. SP Fire 105. External wall assemblies and facade claddings—Reaction to fire. Borås, Sweden: SP Technical Research Institute of Sweden. November, 2013.

11. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

12. EN 13823. Reaction to Fire Tests for Building Products—Building Products Excluding Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization. 2020.

13. ISO 13785-2. Reaction-to-Fire Tests for Façades—Part 2: Large-Scale Test. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2002

14. ISO 13874-1. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel building Systems—Part 1: Test Method for Small Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2014.

15. ISO 13874-2. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel Building systems—Part 2: Test Method for Large Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2020.

16. Леменков М. Д., Шархун С. В. Метод контроля и оценки степени влияния теплового потока на теплоизоляционные строительные материалы // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 5 (57). С. 115–122. DOI: 10.25699/SSSB.2024.57.5.018.

17. Сулейманов И. Р. Обзор пожарной опасности промышленных теплоизоляционных материалов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 8. С. 91–94.

18. Мамонтов С. А. Киселева О. А. Тепловое старение пенопластов, применяемых в ограждающих конструкциях // Construction materials. 2011. № 8. С. 60–61.

19. ГОСТ Р 56025–2014. Материалы строительные. Метод определения теплоты сгорания : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2014 г. № 445-ст : введен впервые : дата введения 2014-09-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110770> (дата обращения: 23.12.2024).

20. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

21. Сечин А. И. Кырмакова О. С. Пожаровзрывозащита : учебное пособие. Томск : изд-во Томского политехнического университета, 2015. 248 с.

## REFERENCES

1. Lemenkov M.D., Sharkhun S.V. Analysis of existing methods of control of building materials used in facade systems // South Siberian Scientific Bulletin. 2024; 4: 92–97. (rus).

2. Lemenkov M. D., Sharkhun S. V., Ponomarev A.V. Formation of hidden damage through the influence of the heat flow of the fire source on facade systems with an external plaster layer // Actual problems of fire safety: materials of the XXIV International Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the formation of the Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of

Russia, Balashikha, August 23-24, 2022. Moscow: All-Russian Order of the Badge of Honor Scientific Research Institute of Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Response, 2022; 336–342. (rus).

3. Mikhailov B.V., Nikolaeva A.G., Ivanov A.V. Analysis of vibrations of the bearing elements of the facade system from dynamic load // Bulletin of Science. 2022; 6: 198–207. (rus).

4. Methods of testing the flammability of materials / R.S. Enaleev [et al.] // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013; 13: 73–77. (rus).

5. Perova A.I., Kapranov A.V., Anosova E.B. Investigation of toxic and fire hazards of synthetic building materials // Successes in chemistry and chemical technology. 2016; 8: 34–36. (rus).

6. Trushkin D. V. Problems of experimental determination of the flammability of expanded polystyrene // Fire and explosion safety. 2005; 4: 12–16. (rus).

7. NFPA 285. A standard fire resistance test method for evaluating the characteristics of fire propagation in external load-bearing wall structures containing combustible components. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2021.

8. Lepir II, personal message from Dr. Eric Guillaume, Efectis, France. 2019.

9. DIN 4102, part 20. Fire resistance of building materials and building components – Part 20, An additional test to assess the fire resistance of exterior wall cladding. Berlin, Germany: DIN – German Institute for Standardization. 2017.

10. SP Fire 105. Installation of exterior walls and facade cladding – reaction to fire. Boros, Sweden: SP Technical Research Institute in Sweden. November, 2013.

11. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

12. EN 13823. Reaction to Fire Tests for Building Products—Building Products Excluding Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization. 2020.

13. ISO 13785-2. Reaction-to-Fire Tests for Façades—Part 2: Large-Scale Test. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2002

14. ISO 13874-1. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel building Systems—Part 1: Test Method for Small Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2014.

15. ISO 13874-2. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel Building systems—Part 2: Test Method for Large Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2020.

16. Lemenkov M. D., Sharkhun S. V. Method of control and assessment of the degree of influence of heat flow on thermal insulation building materials // South Siberian scientific Bulletin. 2024; № 5(57): 115–122. DOI 10.25699/SSSB.2024.57.5.018. (rus).

17. Suleymanov I.R. Review of fire hazard of industrial thermal insulation materials // Fire safety: problems and prospects. 2017; 8: 91–94. (rus).

18. Mamontov S.A., Kiseleva O.A. Thermal aging of foams used in enclosing structures. // Construction materials. 2011; 8: 60–61. (rus).

19. GOST R 56025-2014. Construction materials. Method for determining the heat of combustion. Moscow, Standartinform; 2019: 14. (rus).

20. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

21. Sechin A.I., Kyrmakova O.S. Fire and explosion protection. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2015; 248. (rus).

### Информация об авторах

**Леменков Михаил Дмитриевич**, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 1131113; SPIN-код:

### Information about the authors

**Mikhail D. Lemenkov**, Leading Researcher, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 1131113; SPIN-code: 5035-5595; e-mail: [lemenkov@internet.ru](mailto:lemenkov@internet.ru)

5035-5595;

e-mail: [lemenkov@internet.ru](mailto:lemenkov@internet.ru)

**Шархун Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 795609; SPIN-код: 6300-8576;

e-mail: [s\\_sharkhun@mail.ru](mailto:s_sharkhun@mail.ru)

**Штерензон Вера Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математики и информатики, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 660374; SPIN-код: 6778-0890;

e-mail: [V.A.Shterenzon@urfu.ru](mailto:V.A.Shterenzon@urfu.ru)

**Sergey V. Sharkhun**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, deputy head of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 795609; SPIN-code: 6300-8576

e-mail: [s\\_sharkhun@mail.ru](mailto:s_sharkhun@mail.ru)

**Vera A. Shterenzon**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 660374; SPIN code: 6778-0890;

e-mail: [V.A.Shterenzon@urfu.ru](mailto:V.A.Shterenzon@urfu.ru)

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS**

УДК 004; 519

**СИСТЕМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ****Синещук Юрий Иванович<sup>1</sup>, Терёхин Сергей Николаевич<sup>1</sup>,  
Шидловский Григорий Леонидович<sup>1</sup>, Ожегов Эдуард Александрович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия**АННОТАЦИЯ**

Окружающая человека естественная природная среда достаточно быстро, по историческим меркам, эволюционировала от биосферы к ноосфере и приобрела конкретное материалистическое воплощение в техносфере. Отличительной особенностью современного уровня развития техносферы является широкое использование киберфизических и социотехнических информационных систем, функционирование которых предполагает формирование определенной информационной среды (пространства, сферы). Проявляющийся при этом симбиоз техники, природы и человека характеризуется применением разнообразных технологий, которые сопровождаются появлением новых угроз и опасностей, актуализирующих проблему осмысления понятия «безопасность».

Необходимость независимого, суверенного существования любой страны обуславливает особое внимание вопросам национальной безопасности. Обеспечение национальной безопасности, помимо очевидной задачи – отражения военной угрозы, включает в себя достаточно широкую совокупность других задач. Благополучие населения часто зависит от безопасной работы критически важных инфраструктурных систем: от транспортных сетей до систем энергоснабжения, телекоммуникационных систем и автоматизированных информационных систем управления. Такого рода системы настолько жизненно важны для страны, что их выведение из строя или разрушение оказало бы пагубное воздействие на национальную безопасность. Наблюдаемая сегодня интеграция инновационных по форме и информационных по содержанию технологий в операции по обеспечению национальной безопасности привела к существенным достижениям, созданию более безопасных сообществ и более эффективных механизмов реагирования на чрезвычайные ситуации. При этом угрозы, создаваемые технологиями информационного века, потребовали обобщения и конкретизации понятий, употребляемых в сфере безопасности на системном уровне, уточнения состава базовых системообразующих видов национальной безопасности Российской Федерации и связей между ними. При исследовании рассматриваемых вопросов в качестве методологической базы выбраны системный, историко-ретроспективный, кибернетический подходы. В предлагаемой концепции системы национальной безопасности, позволяющей интегрировать усилия по обеспечению различных видов национальной безопасности в единый комплекс, системообразующей ос-

новой в реалиях современного информационного мира позиционируется информационная безопасность, обосновывается ее значимость и возрастающая роль в обеспечении всей совокупности видов национальной безопасности.

**Ключевые слова:** безопасность, техносфера, информационная безопасность, система национальной безопасности

## SYSTEMIC FEATURES OF ENSURING NATIONAL SECURITY IN THE CONTEXT OF GLOBAL DIGITALIZATION

Yury I. Sineshchuk<sup>1</sup>, Sergey N. Terehin<sup>1</sup>, Grigory L. Shidlovsky<sup>1</sup>, Eduard A. Ozhegov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

### ABSTRACT

By historical standards, the natural environment surrounding humans has rapidly evolved from the biosphere to the noosphere and has become materialistically embodied in the technosphere. A distinctive feature of the modern level of technosphere development is the wide use of cyberphysical and socio-technical information systems, the functioning of which implies the formation of a certain information environment (space, sphere). The emerging symbiosis of technology, nature and man is characterised by the application of various technologies, which are accompanied by the emergence of new threats and dangers that actualise the problem of understanding the concept of 'security'.

The need for any country to exist independently places special emphasis on national security. National security, in addition to repelling military threats, includes a fairly wide range of other tasks. The well-being of the population depends on the safe operation of critical infrastructure systems such as transport networks, energy supply systems, telecommunications systems and automated information management systems. These types of systems are so vital to a country that disabling or destroying them would have a fatal impact on national security. The observed integration of innovative in form and informational in content into the national security operations has resulted in significant advances, safer communities and more effective emergency response mechanisms. At the same time, the threats posed by the technologies of the information age required the specification of the concepts used in the field of security at the system level, clarification of the composition of the basic system-forming types of national security of the Russian Federation and the links between them. Systemic, historical-retrospective, cybernetic approaches have become the methodological basis for the study of issues. In the proposed concept of the national security system, which allows integrating the efforts to ensure various types of national security into a single complex, the system-forming basis in the realities of the modern information world is positioned information security, its importance and increasing role in ensuring the totality of types of national security is substantiated.

**Keywords:** security, technosphere, information security, national security system

### Введение

Глобальные динамические перемены политического, технологического, биосферного характера, которые определяют интенсивность и приоритеты развития человечества на современном этапе, порождают и новые аспекты безопасности, меняют роль и значимость ее отдельных видов. XXI в. обострил проблемы безопасности, усложнил механизмы ее обеспечения, поставил вопрос о системной интеграции используемых средств, методов, технологий защиты от различных угроз.

В 1943 г. американский психолог Абрахам Маслоу предложил иерархию потребностей человека, в качестве которых он указал пять главных: физиологические, потребность в безопасности, социальные потребности, уважение или признание, самореализация [1].

В этой иерархии возникновение одной потребности обычно зависит от удовлетворения другой, более мощной. Потребность человека в безопасности занимает здесь важнейшее место, уступая только реализации жизненно необходимых основных физиологических желаний (еда, питье, кров, одежда, тепло, сон, секс), без которых человек вообще не

может существовать. Предложенная теория в дальнейшем получила свою наглядную и наиболее известную графическую интерпретацию в виде пирамиды Маслоу (Maslow) [2] (рис. 1).

История человечества изобилует многочисленными катаклизмами: от войн, природных и техногенных катастроф до социальных и индивидуальных трагедий, которые в большей или меньшей степени затрагивают вопросы безопасности. По мере развития цивилизации перечень и формы проявления угроз безопасности постоянно расширяются, ущербы от их реализации становятся все более существенными. В работе Ковалева А. А. [3] на основе компаративистского подхода, историко-логического, конкретно-исторического, культурологического и политологического методов анализа исследуется историография безопасности, обосновывается тезис о том, что современный турбулентный (бурный, хаотичный, неустойчивый) мир существенным образом изменяет взгляды и подходы к обеспечению безопасности, требует системного мультидисциплинарного взгляда на эту проблему.



**Рис. 1.** Безопасность в иерархии потребностей человека (пирамида Маслоу)

**Fig. 1.** Security in the hierarchy of human needs (Maslow's pyramid)

Попытки адекватно описать ключевые особенности текущего состояния цивилизации привели к переходу от концепций в 1985 г. VUCA-мира (Volatility — изменчивость, Uncertainty — неопределенность, Complexity — сложность, Ambiguity — двусмысленность) к в 2016 г. BANI-миру (Brittle — хрупкий, Anxious — тревожный, Nonlinear — нелинейный, Incomprehensible — непостижимый) и в 2022 г. SHIVA-мира (Split — расщепленный, Horrible — ужасный, Inconceivable — невообразимый, Vicious — беспощадный, Arising — возрождающийся) [4].

Российский академик Владимир Иванович Вернадский еще в начале XX в. писал, что человек, вооруженный новыми знаниями, кардинальным образом воздействует на окружающую его среду, преобразуя ее в своих интересах, что позволяет говорить о формировании в рамках биосферы новой среды обитания — ноосферы [5]. Ноосфера («сфера разума») может быть охарактеризована как пространство, где проявляется синергетический эффект целенаправленного воздействия на природу со стороны человека (общества) на основе накопленных знаний и применяемых технологических средств. Ноосфера является высшей стадией развития биосферы, связанной с возникновением и становлением в ней цивилизованного общества, когда разумная деятельность человека становится главным фактором развития на Земле. По сути, ноосфера — это биосфера, разумно управляемая человеком [6].

Современный этап развития человечества характеризуется дальнейшим стиранием граней между физической, цифровой и биологической сферами. Подчеркивая технологичность, технократизм взаимодействия человека и природы, на смену достаточно философскому, теоретическому понятию «ноосфера» пришло понятие «техносфера», определяемое как часть биосферы, где современ-

ный человек в процессе жизнедеятельности меняет среду вокруг себя, используя различные технические средства, системы и технологии [7]. В целом это весь окружающий нас мир, который используется, изучается, трансформируется человеком в своих интересах, разрабатывая, строя и применяя все более сложные системы, что позволяет рассматривать техносферу как материализацию идей и знаний, формирующих ноосферу.

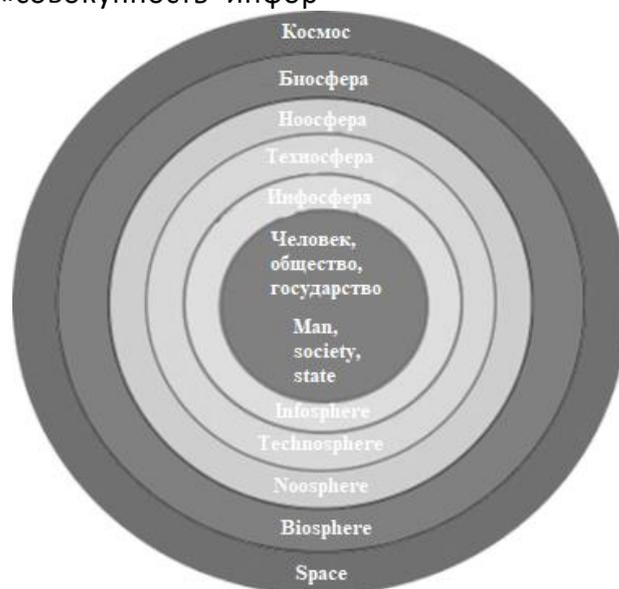
Отличительной особенностью, характеризующей уровень развития техносферы, является широкое использование киберфизических и социотехнических информационных систем. Киберфизическая система (cyber-physical system — CPS) представляет собою комплекс исполнительных элементов (физических устройств) и компьютерных компонентов, которые взаимодействуют друг с другом для обеспечения безопасного и эффективного управления заданным процессом. Примеры CPS включают промышленные системы управления, системы водоснабжения, робототехнические системы, интеллектуальные сети и т. д. Социотехническая информационная система в своей трактовке акцентирует внимание на важности социальной составляющей, ее доминирующей роли в инфраструктуре информационной системы. По сути, к числу социотехнических (организационно-технических) можно отнести любую информационную систему, в которой человек (оператор, руководитель) принимает решение для осуществления воздействия на объект управления. Результативность такого воздействия в конечном счете, определяется эффективностью технической (компьютерной) составляющей системы на всех этапах ее жизненного цикла, таких как проектирование, разработка, внедрение, эксплуатация. Доминирующей тенденцией сегодняшнего дня можно назвать функциональную интеграцию киберфизических и социотехнических си-

стем в виде социокиберфизических систем, поскольку в этих системах происходит совмещение объектов различной природы, а по составу функций управления эти системы сравнивались с функциями управления человека-оператора или лица, принимающего решения [8–10].

Функционирование киберфизических и социотехнических информационных систем предполагает формирование определенной информационной сферы (среды, пространства). В Доктрине информационной безопасности Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ № 646 от 05.12.2016, под информационной сферой понимается «совокупность инфор-

мации, объектов информатизации, информационных систем, сайтов в информационно-телекоммуникационной сет “Интернет”, сетей связи, информационных технологий, субъектов, деятельность которых связана с формированием и обработкой информации, развитием и использованием названных технологий, обеспечением информационной безопасности, а также совокупность механизмов регулирования соответствующих общественных отношений».

Тогда с определенной долей условности современное представление о среде обитания человека можно отразить в виде, представленном на рис. 2.



**Рис. 2.** Модель среды обитания человека

**Fig. 2.** Human habitat model

Таким образом, реалии современной цивилизации можно характеризовать как стадию киборгизации (симбиоза человека, техники и искусственного интеллекта), когда при осуществлении целенаправленных действий человек использует постоянно развивающиеся, сменяющие друг друга технологии, которые, в свою очередь, порождают и новый спектр угроз государству [11]. Эти обстоятельства требуют системной организации сил и

средств, привлекаемых для противодействия этим угрозам, на единой технологической основе, позволяющей получить синергетический эффект решения задач обеспечения национальной безопасности.

### Материалы и методы

В различных исследованиях по вопросам безопасности государства анализируются те или иные аспекты обеспечения национальной безопасности, предусматривающей независимость и су-

веренность страны. Так, в частности, работа Пирумова В. С. [12] посвящена рассмотрению методологических принципов и методов исследования национальной безопасности, в качестве которых обосновывается методология системного анализа как совокупности методов, приемов и процедур исследования общественно-политических процессов как открытых развивающихся систем, указывается важность принципов историзма и междисциплинарного анализа. В работах Медведева М. В. [13], Поддубного А. О. [14] рассматриваются различные подходы к определению самого понятия «национальная безопасность» сквозь призму национальных интересов, с позиции изменяющегося законодательства в отечественном правоведении, один из вариантов трактовки этого понятия приводит в своей монографии [15] Joseph J. Romm Romm: «...безопасность заключается в наилучшем балансе всех инструментов... в скоординированном обращении с оружием, дипломатией, информацией и экономикой; и в правильном соотношении всех мер внешней и внутренней политики». Административно-правовое обеспечение национальной безопасности различных стран как одно из значимых инструментов сравнивается в диссертационном исследовании Кикоть-Глуходедова Т. В. [16]. Вместе с тем в рассмотренных работах авторы, как правило, не предлагают целостного обобщения рассматриваемых вопросов на системном уровне, зачастую замещая одни понятия другими (система национальной безопасности, система обеспечения национальной безопасности, виды национальной безопасности).

Обязанность государства по обеспечению национальной безопасности заложена в основных положениях Конституции РФ. Конкретизирует национальную безопасность (сочетающую в своем со-

держании различные виды безопасности, в том числе военную, экономическую, информационную и др.) целый ряд нормативно-правовых актов, посвященных регулированию ее обеспечения, и в первую очередь это указ Президента РФ от 02.07.2021. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» (далее – Стратегия).

Стратегия базируется на принципе приоритетности, позволяющем выявить наиболее значимые виды национальной безопасности, соотнесенные с соответствующими сферами жизнедеятельности государства [17]. Программно-целевой характер Стратегии предполагает возможность расширения спектра видов национальной безопасности, определения перечня специфичных угроз и организации противодействия им в других нормативно-правовых актах применительно к конкретной сфере жизнедеятельности государства (*Федеральный закон от 28.06.2014 N 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»*, *Федеральный закон от 31.05.1996 № 61-ФЗ «Об обороне»*, *Военная доктрина Российской Федерации (утв. Президентом РФ 25.12.2014 № Пр-2976)*, *указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года»*, *указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года»*, *указ Президента Российской Федерации от 05.12.2016 № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации»*, *Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации»* и др.). (рис. 3).



**Рис. 3.** Нормативно-правовая основа обеспечения национальной безопасности РФ  
**Fig. 3.** Normative basis for ensuring national security of the Russian Federation

Стратегия определяет понятие «**национальная безопасность**» как «состояние защищенности национальных интересов РФ от внешних и внутренних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан, достойные качество и уровень их жизни, гражданский мир и согласие в стране, охрана суверенитета РФ, ее независимости и государственной целостности, социально-экономическое развитие страны».

С учетом долгосрочных тенденций государство формулирует национальные интересы на современном этапе развития, реализация которых осложняется наличием объективных и субъективных, внешних и внутренних угроз. Процесс обеспечения национальной безопасности предусматривает реализацию в различных сферах жизнедеятельности государства разнообразных мер, направленных на противодействие угрозам национальной безопасности, рассматриваемым как совокупность условий и факторов, создающих прямую или косвенную возможность причинения ущерба национальным интересам РФ. Специфика деятельности подразделений МЧС России предполагает в большей или меньшей мере их участие в нейтрализации проявлений разнообраз-

ных угроз национальной безопасности, в решении задач обеспечения техносферной безопасности, что позволяет рассматривать МЧС России в качестве субъекта обеспечения национальной безопасности.

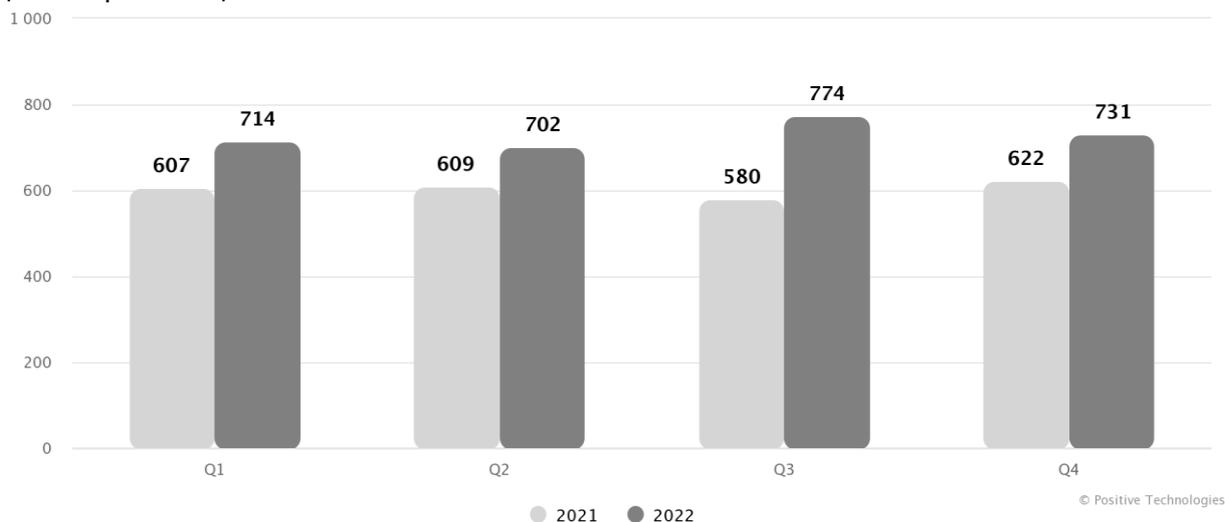
Начало XXI в. охарактеризовалось повсеместным развитием цифровых продуктов и электронных услуг, что привело к изменению роли и относительной важности компонентов, связанных с информацией и угрозами кибернетического характера, реализация которых отличается интенсивностью развития (сложность, разнообразие атак) и возросшей опасностью последствий (ущербов). Современное общество все больше зависит от множества взаимосвязанных информационных сетей и систем, обеспечивающих эффективное функционирование объектов критически важной инфраструктуры в различных областях жизнедеятельности государства. Если эти системы будут скомпрометированы, последствия для безопасности государства могут быть серьезными. Наиболее востребованные, интенсивно развивающиеся технологии сегодняшнего дня характеризуют качественное содержание 4-й промышленной революции, определяющей современный этап уровня развития человечества [18, 19]. Вместе с тем возрастает и зависимость эффективного

функционирования всех механизмов и структур государства от уровня информационной безопасности информационных систем и технологий. Формирование сквозных информационных технологий обуславливает не только новые расширяющиеся возможности в различных предметных областях, но и требует активной реакции на обострившиеся традиционные и появившиеся новые угрозы безопасности [20, 21]. Масштабность и интенсивность влияния на все отрасли экономики технологической компоненты, реализуемой в процессе цифровой трансформации, переходе к экономике данных, позволяет говорить о качественных системных изменениях происходящих и в сфере обеспечения национальной безопасности.

В условиях глобальной цифровизации возрастающая сложность и важность

критически важной инфраструктуры государства обуславливает ее уязвимость и подверженность для различных, все более сложных и множественных кибератак [22–24]. Актуальной становится задача анализа «ландшафта угроз» (threat landscape), решение которой обуславливает возможность выявления потенциальных проблем в обеспечении требуемого уровня информационной безопасности объекта защиты и реализации проактивного подхода к защите информации путем принятия превентивных мер.

Общее количество инцидентов (успешных кибератак) в 2022 г. увеличилось на 20,8 %, что связывается с возросшей активностью и напряжением в киберпространстве (рис. 4) [25].



**Рис. 4.** Количество инцидентов (успешных кибератак) в 2021 и 2022 гг. (по кварталам)  
**Fig. 4.** Number of incidents (successful cyber attacks) in 2021 and 2022 (by quarter)

В качестве наиболее распространенных видов кибератак можно назвать: вредоносное программное обеспечение (ВПО, malware), предназначенное для повреждения, нарушения работы или получения несанкционированного доступа к компьютерной системе; фишинг (fishing — рыбалка, выуживание), — кибератака, использующая электронную почту либо другие технологии общения (телефон —

vishing, SMS — smishing и др.), в ходе которой осуществляется замаскированное психологическое воздействие на человека с применением технологий социальной инженерии (social engineering); атаки, затрудняющие доступ легитимных пользователей к информационным ресурсам (отказ в обслуживании: Denial of Service — DoS, или Distributed DoS — DDoS: распределенная (множественная) DoS-атака);

целенаправленные (таргетированные) атаки (Advanced Persistent Threat — APT), особенность которых заключается в том, что они, как правило, направлены на конкретный объект критической инфраструктуры государства, имеют длительный подготовительный период, тщательно разработанный план и реализуют все этапы т. н. цепочки кибер-убийства (Cyber Kill Chain): от идентификации атакуемой цели, вторжения, закрепления, уничтожения следов присутствия и до деструктивной реализации полученных привилегий; программы-вымогатели (ransomware) — разновидность вредоносных программ, которые в 2022 г. использовались в каждой второй (51 %) успешной атаке на организации с использованием ВПО [25], в ходе которых блокируется доступ к системе или шифруются данные с последующим требованием от своих жертв выкупа в обмен на предоставление доступа к данным.

Указанные обстоятельства определяют необходимость регламентации и урегулирования многих проблем, связанных с информационным обменом и

генерированием (производством) новых информационных ресурсов, актуализируют проблему обеспечения защиты этих ресурсов от киберугроз. При этом надо рассматривать два вопроса: вопрос защиты информации, которая становится одновременно более значимой, ценной и более уязвимой, с одной стороны, а с другой стороны — вопрос защиты от ложной или деструктивной информации, внедряемой в информационную систему в рамках соответствующих кибератак.

В настоящее время для защиты критически важной инфраструктуры от кибератак используется широкий спектр мер и технологий, представляющих собою иерархический комплекс мер (рубежей) защиты. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» включает в состав этого комплекса совокупность в последовательности реализации правовых, организационных и технических мер, последние, в свою очередь, включают в себя широкий спектр средств защиты информации (рис. 5).



**Рис. 5.** Модель системы мер (рубежей) защиты информации

**Fig. 5.** Model of the information security measures (boundaries) system

В числе важнейших методов, средств и технологий, реализуемых в рамках этой системы мер защиты информации, особую актуальность приобретают те из них, которые позволяют обнаруживать уязвимости, выявлять и оперативно реагировать на кибератаки, эффективно реализовывать процесс управления информационной безопасностью. Такие технологии и средства могут включать:

— Системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS — Intrusion Detection System / Intrusion Prevention System), представляющие собою интеллектуальные системы, которые используют сложные алгоритмы и методы поведенческого анализа для непрерывного мониторинга сетевого трафика, оперативного выявления любых подозрительных действий или попыток несанкционированного доступа и блокирования их.

— Системы мониторинга информационной безопасности, позволяющие оперативно, в режиме реального времени, обобщать и анализировать многочисленные данные о событиях безопасности, выявлять потенциальные инциденты безопасности, обеспечивая возможность последующего эффективного управления реагированием на инциденты (системы управления информацией о безопасности и событиями (Security Information and Event Management — SIEM).

— Межсетевые экраны нового поколения (Next-Generation Firewall, NGFW), которые используют расширенные функции, такие как осведомленность о приложениях, глубокая проверка пакетов и пользовательские политики для защиты сети от возникающих угроз.

— Системы предотвращения утечки данных (Data Leak Prevention — DLP), позволяющие эффективно выявлять внутренние угрозы, осуществлять контроль легитимности пользовательских действий путем регистрации т. н. индикаторов компрометации (IoC-Indicator of

Compromise) — информационных фрагментов, характеризующих вероятную деструктивную активность.

Sandbox — технология песочницы, профилирование поступающего потока информации путем запуска подозрительного ПО в специально подготовленную виртуальную информационную среду, изолированную от остальной инфраструктуры, где отслеживается поведение потенциально небезопасного ПО, что позволяет проактивно выявлять сложные целевые атаки, атаки, использующие неизвестные для разработчика и пользователя уязвимости, т. н. уязвимости нулевого дня (Zero-day, или 0-Day).

Непрерывно возрастает роль и расширяется сфера применения технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в кибербезопасности. Используя возможности искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (machine learning — ML), область кибербезопасности получает значительные преимущества. Искусственный интеллект и машинное обучение могут анализировать огромные объемы данных для выявления закономерностей и обнаружения аномалий, которые могут указывать на кибератаку. Эти технологии также могут автоматизировать реагирование на угрозы, повышая скорость и эффективность реагирования. Благодаря интеграции этих технологий появляется возможность проактивной защиты от вредоносных вторжений.

При этом надо понимать, что технологические решения, используемые для обеспечения информационной безопасности могут быть эффективными только при достижении определенного уровня компьютерной грамотности, соблюдении правил цифровой гигиены сотрудников, обеспечении требуемой степени осведомленности по вопросам информационной безопасности. Эффективным технологическим средством решения указанной

задачи является применение «киберполигона», предназначенного для обучения и отработки практических навыков специалистов в области информационной безопасности, а также для тестирования объектов информационной инфраструктуры путем моделирования компьютерных атак и отработки реакций на них [26–28].

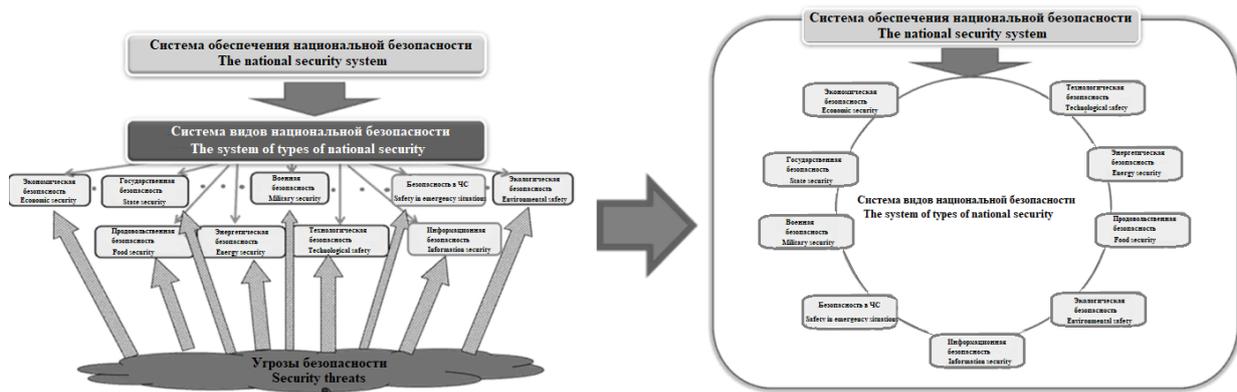
Применение в рамках представленного анализа предметной области актуальных, в первую очередь информационных и соответствующих технологических аспектов обеспечения национальной безопасности: системного, историко-ретроспективного и кибернетического подходов позволяет сделать вывод о том, что в условиях формирования глобального информационного (кибер) пространства задача обеспечения информационной безопасности приобретает системный межведомственный характер и обуславливает необходимость позиционирования возрастающей роли и значимости этого вида национальной безопасности в современной концепции системы национальной безопасности.

### Результаты и их обсуждение

Достижение требуемого уровня защищенности национальных интересов предполагает создание целостной, структурированной, в зависимости от характера угроз и сферы жизнедеятельности государства системы национальной безопасности РФ.

Как и в случае с термином «безопасность», понятие «система национальной безопасности» в действующих нормативно-правовых актах не определено. В ныне утратившем силу законе РФ от 05.03.1992 № 2446-1 «О безопасности» го-

ворилось, что «систему безопасности образуют органы законодательной, исполнительной и судебной властей, государственные, общественные и иные организации и объединения, граждане, принимающие участие в обеспечении безопасности в соответствии с законом, а также законодательство, регламентирующее отношения в сфере безопасности». На сайте МЧС России, в разделе термины (<https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/1048>), по сути, это же определение: «совокупность органов законодательной, исполнительной и судебной властей, государственных и иных организаций и объединений граждан, а также законодательных актов, регламентирующих отношения в сфере безопасности личности, общества и государства», трактуется уже как «система национальной безопасности». При этом в обоих случаях не упоминаются основные составляющие системы национальной безопасности — ее разнообразные виды. Приведенные определения в большей степени соответствуют сформулированному в Стратегии понятию «**система обеспечения национальной безопасности**» как «совокупность осуществляющих реализацию государственной политики в сфере обеспечения национальной безопасности органов публичной власти и находящихся в их распоряжении инструментов», которое можно рассматривать в качестве управляющего компонента современной **системы национальной безопасности** наряду с **системой видов национальной безопасности** (рис. 6).



**Рис. 6.** Модель системы национальной безопасности РФ  
**Fig. 6.** Model of the national security system of Russian Federation

Система национальной безопасности создается в государстве для стабильного, благополучного существования общества, она отражает приоритеты государства по обеспечению его жизнедеятельности в различных сферах и позволяет прогнозировать, своевременно выявлять и успешно противодействовать воздействиям различных внешних и внутренних угроз [29].

Комплексное решение всей совокупности задач, предусмотренных в рамках стратегических национальных приоритетов, реализуется на основе управляющих воздействий, вырабатываемых системой обеспечения национальной безопасности, имеющей в своем составе арсенал средств, которые позволяют выполнять мероприятия по защите национальных интересов РФ в различных сферах деятельности от различного рода угроз. Накопленный опыт решения различных задач, осуществляемых в интересах обеспечения национальной безопасности, показывает, что все виды системы национальной безопасности находятся между собой в тесных взаимосвязи и взаимодействии. В отдельные периоды развития общества приоритеты тех или иных видов безопасности могут меняться, что не исключает необходимости соблюдать баланс между всеми видами.

В качестве отличительных свойств (признаков), присущих системе нацио-

нальной безопасности как сложной системе, можно назвать следующие:

- наличие совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих в интересах достижения общей цели элементов (подсистем), определяющих целостность системы и формирующих ее качественное состояние;
- адаптивные возможности, определяющие способность сохранять свою устойчивость в условиях непрерывно и динамично варьируемых внутренних и внешних факторов;
- синергичность, определяющая однонаправленность действий элементов системы, интеграцию усилий в системе, которые приводят к возрастанию, умножению конечного результата функционирования системы.

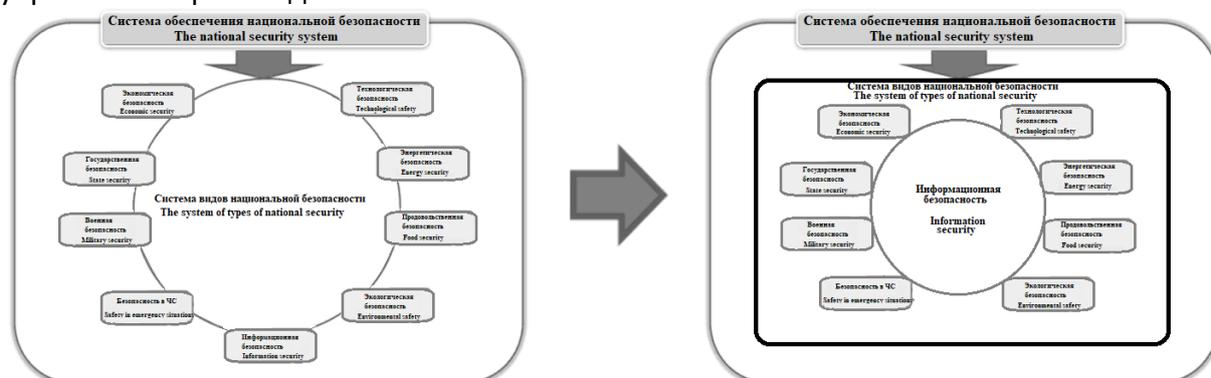
При этом надо отметить, что современная Стратегия национальной безопасности РФ впервые включает информационную безопасность в перечень стратегических национальных приоритетов. Растущая изоциренность, сложность кибератак в сочетании с их взаимосвязанностью и трансграничностью создано реальную возможность для широкомасштабных сбоев и катастроф объектов критической инфраструктуры, в первую очередь объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) [30].

В формирующемся цифровом мире важное значение имеет понимание взаи-

мосвязей между информационной безопасностью и другими видами (аспектами) национальной безопасности. Государство, осознавая роль и значение информационных средств и систем автоматизации процессов управления во всех сферах жизнедеятельности, последовательно уделяет серьезное внимание обеспечению их безопасности, принимая соответствующие нормативно-правовые акты: «Основные направления государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры РФ» (утверждены Президентом РФ 03.02.2012, № 803), Концепция государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы РФ (утверждена Президентом РФ 12.12.2014, № К 1274), указ Президента РФ «Доктрина информационной безопасности Российской Федерации» № 646 от 5.12.2016, Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», приказ ФСТЭК России от 09.08.2018 № 138 «О внесении изменений в Требования к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и техно-

логическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей, и для окружающей природной среды, утвержденные приказом Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 14.03.2014 № 31, и в Требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, утвержденные приказом Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 25.12.2017 № 239», указ Президента РФ от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» и др.

Информационная безопасность, в отличие от других видов безопасности, выделяемых в структуре системы национальной безопасности, играет роль платформенного, системообразующего вида, обеспечение которого позволяет эффективно решать задачи во всех сферах жизнедеятельности государства, создает условия для решения задач обеспечения безопасности конкретного вида и национальной безопасности в целом (рис. 7) [31].



**Рис. 7.** Эволюция роли и места информационной безопасности в системе национальной безопасности

**Fig. 7.** The evolution of the role and place of information security in the national security system

Представленная концепция системы национальной безопасности позволяет увидеть интегративность и сбалансированность всех свойств этой системы, выделить ряд аспектов, определяющих возможность реализации функций управления:

— функционирование системы национальной безопасности должно рассматриваться во взаимодействии с внешней средой, что позволяет позиционировать ее как элемент (подсистему) в иерархической структуре метасистемы, в качестве которой в общем случае может выступать система международной безопасности;

— система национальной безопасности, которая включает в себя в качестве элементов (подсистем) другие сложные объекты более низкого уровня, в качестве которых выступают ее виды (экономическая, военная, технологическая, информационная, другие виды безопасности и их составляющие), в свою очередь, должна рассматриваться как сложная многоуровневая система;

— целостность системы национальной безопасности достигается целевой направленностью взаимосвязей составляющих ее видов безопасности, единством их функционирования, обеспечиваемым информационно-телекоммуникационными средствами и технологиями, а также процедурами обеспечения их информационной безопасности, при котором обеспечивается своевременное выявление, предотвращение, нейтрализация и минимизация ущерба от угроз различного характера за счет применения комплекса мер по защите интересов граждан, имущества, общества, государства [32].

Такого рода систему можно характеризовать как организационно-техническую управляющую (социокиберфизическую) систему, функциональным назначением которой является:

— определение жизненно-важных интересов государства в различных сферах жизнедеятельности, реализация которых обеспечивает его устойчивое прогрессивное развитие;

— анализ различных аспектов, оказывающих существенное влияние на возможность достижения требуемого уровня национальной безопасности РФ;

— прогноз, оценка риска, выявление угроз реализации интересов государства в различных сферах жизнедеятельности, анализ возможных последствий и ущерба, последующее упорядочивание угроз в соответствии с их катастрофичностью;

— осуществление комплекса мероприятий, направленных на предупреждение и нейтрализацию значимых угроз безопасности национальным интересам РФ путем применения соответствующих по форме проявления и уровню опасности угроз, методов, способов, средств защиты.

Указанные обстоятельства позволяют утверждать, что национальная безопасность РФ существенным образом зависит от обеспечения информационной безопасности, и в ходе технического прогресса эта зависимость будет возрастать.

### **Заключение**

Многочисленные войны, природные и социальные трагедии постоянно присутствуют в истории человечества. Эти обстоятельства всегда остро ставили проблему обеспечения безопасности личности, общественной и государственной безопасности, что предопределило необходимость обоснования системы национальной безопасности, адекватной динамично изменяющемуся спектру угроз безопасности в различных сферах жизнедеятельности государства. Прогнозирование и выявление угроз национальной безопасности, осуществление непрерывного мониторинга динамично изменяющихся событий в сфере безопасности, обоснова-

ние методов и средств нейтрализации угроз является важной функцией государственных органов, решающих задачи обеспечения национальной безопасности. Сформулированная в статье концепция системы национальной безопасности позволяет выявить ее видовые элементы, определить основные процедуры обеспечения национальной безопасности, включающие такие механизмы защиты, как выявление, предотвращение, управление. В рамках этой системы МЧС России как один из субъектов обеспечения национальной безопасности в сфере гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности, безопасности людей на водных объектах также использует в основе своей деятельности эту, достаточно универсальную последовательность реагирования на возникающие угрозы. Умение правильно позиционировать место и роль подразделений

МЧС России в системе национальной безопасности, способность своевременно выявлять угрозы национальной безопасности, требующие реагирования МЧС России, позволяют повысить качество решения задач, стоящих перед ведомством.

Проведенный анализ эволюции роли и места информационной безопасности в обеспечении национальной безопасности позволяет сделать вывод о том, что, в отличие от других видов безопасности, информационная безопасность является платформенным, системообразующим видом, имеющим в каждом из других видов безопасности свой собственный объект защиты. При этом именно информационная безопасность определяет эффективность, а в ряде случаев и возможность обеспечения других видов национальной безопасности, позволяет интегрировать усилия по обеспечению различных видов национальной безопасности в единый комплекс.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Maslow A. H. A theory of human motivation // *Psychological Review*. 1943. № 50. pp. 370–396;
2. Маслоу А. Мотивация и личность. СПб. : Питер, 2003. 352 с.
3. Ковалев А. А. История безопасности как новая область западной исторической науки // *Genesis: исторические исследования*. 2021. № 12. С. 225–241.
4. Кирикова, А., Арбузова, А. VUCA, BANI и SHIVA: буквы, объясняющие мир // РБК Тренды : сайт. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/62866fde9a794701a4c38ae4> (дата обращения: 05.09.2024).
5. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // *Антология философской мысли. Русский Космизм*. М. : Педагогика-Пресс, 1993. 368 с.
6. Вернадский В. И. Начало и вечность жизни. М. : Сов. Россия, 1989. 704 с.
7. Шаповалова И. С., Гоженко Г. И. Понятие техносферы: аналитический обзор формирования и изучения // *Научный результат*. 2015. № 2. С. 51–57. (Социология и управление).
8. Edward A. Lee The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models, Sensors // *Basel*. 2015. № 15 (3). pp. 4837–4869.
9. Kotenko I., Saenko I., Sineshchuk Yu. Optimizing Secure Information Interaction in a Distributed Computing System by the Method of Sequential Concessions : proceedings – 28th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing, PDP 2020. 28. 2020. С. 429-432.
10. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach / R. G. Sanfelice et. al. // *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice* CRC Press. 2015. С. 3-31.
11. Малькова Т. П. Киборгизация: онтологические проблемы исследования // *Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики*. Тамбов : Грамота, 2018. № 3 (89). С. 87–92.
12. Пирумов В. С. Некоторые аспекты методологии и исследования проблем национальной безопасности России в современных условиях // *Геополитика и безопасность*. 1993. № 1. С. 7–17.
13. Медведев, М. В. Подходы к трактовке понятия «национальная безопасность» // *Молодой ученый*. 2020. № 23 (313). С. 517–520. URL: <https://moluch.ru/archive/313/71316/> (дата обращения: 04.11.2023).

14. Поддубный А. О. К вопросу о понятии «национальная безопасность» // Российская юстиция. 2019. № 6. С. 6–7.
15. Romm Joseph J. Defining National Security: The Nonmilitary Aspects // Council on Foreign Relations. April 1, 1993. Published by the Council on Foreign Relations Press, 58 East 68th St., New York, NY 10021. 1993 - pp.122.
16. Кикоть-Глуходеева Т. В. Административно-правовое обеспечение национальной безопасности в России, США и странах Европы (сравнительное исследование) : дис. ... д-ра юрид. наук. М., 2019. 418 с.
17. Бартош А. А. Эволюция стратегии национальной безопасности России. Часть 2. Трансформация законодательной базы России в сфере обеспечения безопасности // Обозреватель. 2016. № 8 (319). С. 5–16.
18. [Шваб К.](#), Дэвис Н. [Технологии четвертой промышленной революции](#). М. : Эксмо, 2018. 320 с.
19. Bondar K. Challenges and Opportunities of Industry 4.0 – Spanish Experience (англ.) // International Journal of Innovation, Management and Technology. 2018. Т. 9, № 5. С. 202–208.
20. Шестакова И. Г. Новая темпоральность цифровой цивилизации: будущее уже наступило // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. 2019. Т. 10, № 2. С. 20–29.
21. Липидус Л. В. Эволюция цифровой экономики // Ломоносовские чтения – 2018. Секция экономических наук. Цифровая экономика: человек, технологии, институты : сб. тезисов выступлений. М. : Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2018. С. 153–158.
22. Синещук Ю. И. Информационная безопасность предприятия в условиях цифровой трансформации. Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. 2022. Т. 13, № 2 (54). С. 125–131.
23. Правовые аспекты безопасности единого информационного пространства силовых ведомств (МВД, МЧС, МО) / А. И. Примакин [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2012. № 2 (54). С. 234–240.
24. Singer P., Friedman A. Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. New York : Oxford University Press, 2014. 306 p.
25. Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года // Positive Technologies : сайт. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/> (дата обращения: 05.09.2024).
26. Синещук М. Ю., Шестаков А. В., Гавкалюк Б. В. Инфологическая модель и критерии качества решений по построению ведомственных организационно-технических систем класса «киберполигон» // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2023. № 1. С. 121–137.
27. Miloslavskaya N., Tolstoy A. Cyber polygon site project in the framework of the MEPhI network security intelligence center // Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: BICA\* AI 2020 : proceedings of the 11th Annual Meeting of the BICA Society 11. Springer International Publishing, 2021. Pp. 295–308.
28. Андреев А. С., Иванцов А. М. Опыт применения комплексов (полигонов) в области обеспечения информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Том 1, № 25. С. 15–17.
29. Дубровин, Е. Р., Дубровин, И. Р. Современная система национальной безопасности Российской Федерации // Военное обозрение : сайт. URL: <https://topwar.ru/159640-sovremennaja-sistema-nacionalnoj-bezopasnosti-rossijskoj-federacii-i-ee.html> (дата обращения: 05.09.2024).
30. Chobanyan V. A., Shahalov I. Yu. Analysis and synthesis of the requirements for safety systems of objects of critical information infrastructure // Issues of cybersecurity. 2013. № 1 (1). Pp. 7–27.
31. Синещук Ю. И. Информационная безопасность в системе национальной безопасности // Региональная информатика и информационная безопасность : сб. ст. Санкт-Петербургской междунар. и межрег. конф. 2018. С. 167–170.
32. Theoretical and methodological substantiation of the structure of the state national security system / M. Yu. Zelenkov et. al. // LAPLAGE EM REVISTA. 2021. № 7 (3B). Pp. 421–437. DOI: 10.24115/S2446-6220202173B1569.

#### REFERENCES

1. Maslow, A. H. A theory of human motivation. Psychological Review, 50, 1943, 370–396.
2. Maslow A. Motivation and personality. St. Petersburg: Peter. 2003; 352.
3. Kovalev A.A. The history of security as a new field of Western historical science // Genesis: historical research. 2021; 12: 225–241. DOI: 10.25136/2409-868X.2021.12.34867 (rus).
4. Kirikova A., Arbuzova A. VUCA, BANI and SHIVA: letters explaining the world. <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/62866fde9a794701a4c38ae4>. (rus).

5. Vernadsky V. I. A few words about the noosphere. In the collection: An anthology of philosophical thought. Russian Cosmism. Moscow, Pedagogy-Press, 1993; 368. (rus).
6. Vernadsky V. I. The beginning and eternity of life. Moscow, Sov. Russia, 1989; 704. (rus).
7. Shapovalova I.S., Gozhenko G.I. The concept of the technosphere: an analytical review of formation and study. Online scientific and practical journal "Scientific result" (from e r and I "Sociology and Management". 2015; 2: 51–57. (rus).
8. Edward A. Lee The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models, Sensors (Basel). 2015; 15(3): 4837–4869.
9. Kotenko I., Saenko I., Sineshchuk Yu. Optimizing Secure Information Interaction in a Distributed Computing System by the Method of Sequential Concessions. Proceedings – 28th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing, PDP 2020. 28. 2020. C. 429-432. (rus).
10. Sanfelice R. G., Rawat D., Rodrigues J., Stojmenovic I. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice. CRC Press, 2015. C. 3-31.
11. Malkova T. P. Cyborgization: ontological research problems. Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art criticism. Questions of theory and practice. Tambov: Gramota, 2018; 3(89): 87–92. (rus).
12. Pirumov V.S. Some aspects of methodology and research of the problems of national security of Russia in modern conditions // Geopolitics and security. 1993; 1: 7–17. (rus).
13. Medvedev M. V. Approaches to the interpretation of the concept of "national security" // Young scientist. 2020; 23 (313): 517–520. URL: <https://moluch.ru/archive/313/71316/> (accessed 04.11.2023). (rus).
14. Poddubny A. O. On the question of the concept of "national security" // Russian Justice. 2019; 6: 6–7. (rus).
15. Romm, Joseph J. "Defining National Security: The Nonmilitary Aspects." Council on Foreign Relations, April 1, 1993. Published by the Council on Foreign Relations Press, 58 East 68th St., New York, NY 10021. 1993 - pp.122.
16. Kikot-Glukhodedova T. V. Administrative and legal support of national security in Russia, the USA and European countries : a comparative study : dissertation of the degree of Doctor of Law: Moscow State Law University named after O.E. Kutafin (MGUA)]. Moscow, 2019; 418. <https://studizba.com/files/show/pdf/59201-77-dissertaciya.html> (rus).
17. Bartosh A.A. Evolution of the national security strategy of Russia. Part 2. Transformation of the Russian legislative framework in the field of security. The browser. 2016; 8 (319): 5–16.
18. Klaus Schwab, Nicholas Davis. Technologies of the Fourth Industrial Revolution. Eksmo, 2018; 320.
19. Kateryna Bondar. Challenges and Opportunities of Industry 4.0 – Spanish Experience // International Journal of Innovation, Management and Technology. 2018; 9 (5): 202–208.
20. Shestakova I. G. The new temporality of digital civilization: the future has already come // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State University. Humanities and social sciences. 2019; 10 (2): 20–29. DOI: 10.18721/JHSS.10202 (rus).
21. Lapidus L.V. Evolution of the digital economy. Lomonosov Readings-2018. Section of Economic Sciences. Digital economy: man, technology, institutions: a collection of abstracts of speeches. Moscow, Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, 2018; 153–158. (rus).
22. Sineshchuk Yu.I. Information security of the enterprise in the context of digital transformation. Scientific papers of the Northwestern Institute of Management of the RANEPa. 2022; 13.2 (54): 125–131. (rus).
23. Primakin A.I., Sineshchuk Yu.I., Pantikhovskiy O.V., Sineshchuk M.Yu. Legal aspects of the security of the unified information space of law enforcement agencies (Ministry of Internal Affairs, Ministry of Emergency Situations, Ministry of Defense). Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2012; 2 (54): 234–240. (rus).
24. Peter W. Singer and Allan Friedman. 2014. Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press.
25. Current cyber threats: results of 2022. <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/>
26. Sineshchuk M.Yu., Shestakov A.V., Gavkalyuk B.V. Infological model and criteria for the quality of solutions for the construction of departmental organizational and technical systems of the cyberpolygon class // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2023; 1: 121–137. (rus).
27. Miloslavskaya N., Tolstoy A. Cyber polygon site project in the framework of the MEPhi network security intelligence center // Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: BICA\* AI 2020: Pro-

ceedings of the 11th Annual Meeting of the BICA Society 11. Springer International Publishing, 2021; 295–308. (rus).

28. Andreev A.S., Ivantsov A.M. The experience of using complexes (polygons) in the field of information security // Information counteraction to terrorist threats. 2015; 1 (25): 15–17. (rus).

29. Dubrovin E.R., Dubrovin I.R. The modern national security system of the Russian Federation. Military Review, July 2019. <https://topwar.ru/159640-sovremennaja-sistema-nacionalnoj-bezopasnosti-rossijskoj-federacii-i-ee.html> (rus).

30. Vladimir A. Chobanyan, Igor Yu. Shahalov. Analysis and synthesis of the requirements for safety systems of objects of critical information infrastructure. Issues of cybersecurity. 2013; 1(1): 7–27. (rus).

31. Sineshchuk Yu.I. Information security in the national security system/ In the collection: Regional informatics and information security. Collection of articles of the St. Petersburg International and interregional conferences. 2018; 167–170. (rus).

32. Zelenkov M. Yu. , Smulsky S. V., Herrera L. M., Shalmieva D. B., Nefedova L. V. Theoretical and methodological substantiation of the structure of the state national security system. 2021. LAPLAGE EM REVISTA 7(3B):421-437. DOI:10.24115/S2446-6220202173B1569. (rus).

### Информация об авторах

**Юрий Иванович Синецук**, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, SPIN-код: 4663-4378, AuthorID: 693471; e-mail: sinegal53@mail.ru

**Сергей Николаевич Терёхин** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, SPIN-код: 9342-2440, AuthorID: 831558; e-mail: expert\_terehin@igps.ru

**Григорий Леонидович Шидловский**, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, SPIN-код: 4345-1531, AuthorID:

### Information about the authors

**Yury I. Sineshchuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation; Professor of the Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems of Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia (149, Moskovskiy Ave., Saint Petersburg 196105, Russian Federation; SPIN-код: 4663-4378, AuthorID: 693471, e-mails: sinegal53@mail.ru

**Sergey N. Terehin**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems of Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia, 149, Moskovskiy Ave., Saint Petersburg 196105, Russian Federation; SPIN-код: 9342-2440, AuthorID: 831558, e-mail: expert\_terehin@igps.ru

**Grigory L. Shidlovsky** Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems of Saint-Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia (149, Moskovskiy Ave., Saint Petersburg 196105, Russian Federation), SPIN-код: 4345-1531, AuthorID: 851462,

851462;

e-mail: [shidlovsky.g@igps.ru](mailto:shidlovsky.g@igps.ru)

**Ожегов Эдуард Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве Уральского института ГПС МЧС России, 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, Author ID: 843941;

e-mail: [upch.urigps@bk.ru](mailto:upch.urigps@bk.ru)

e-mail: [shidlovsky.g@igps.ru](mailto:shidlovsky.g@igps.ru)

**Eduard A. Ozhegov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety in Construction of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 22, Mira St., Yekaterinburg 620062, Russian Federation; Author ID: 843941,

e-mail: [upch.urigps@bk.ru](mailto:upch.urigps@bk.ru)

УДК 005.3

**ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ВЫЗВАННЫХ АВАРИЯМИ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ****Зотов Евгений Игоревич**

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия

**АННОТАЦИЯ**

В статье приводятся конкретные примеры крупных аварий, учитывая не только непосредственные последствия, такие как отключение электроснабжения, но и косвенные — остановка предприятий, сбои в работе транспорта, нарушение жизнеобеспечения населения, экономический ущерб и даже социальные последствия, включая рост напряженности и панику. Рассматриваются проблемные вопросы аварийности в системе электроэнергетики Российской Федерации. Проводится анализ и порядок функционирования территориальной подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций субъекта Российской Федерации по выполнению задач при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Систематизированы факторы, влияющие на время реагирования подразделений единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Обозначены вопросы взаимодействия, роль и принципы использования резервных источников электроснабжения. Приведены примеры эффективного использования резервов на практике. Сформулирована актуальность исследования, выявляющая противоречие между растущей зависимостью современного общества от бесперебойного электроснабжения и существующими рисками масштабных аварий. Поставлены цель и задачи предстоящих исследований, связанных с повышением эффективности защиты населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с авариями на объектах электроэнергетики, путем совершенствования технологий, организации работы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций субъекта Российской Федерации и систем предупреждения о возможных авариях.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, объект электроэнергетики, силы и средства, взаимодействие, обмен информацией

**PROBLEMS AND POSSIBLE SOLUTIONS IN THE FIELD OF PUBLIC PROTECTION IN EMERGENCY SITUATIONS CAUSED BY ACCIDENTS AT ELECTRIC POWER FACILITIES****Evgeniy I. Zotov**

Civil Defense Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

**ABSTRACT**

The article provides specific examples of major accidents, taking into account not only the immediate consequences, such as power outages, but also indirect ones – shut-downs of enterprises, disruptions in transport, disruption of life support for the population, economic damage and even social consequences, including increased tension and panic. The problematic issues of accidents in the electric power system of the Russian Federation are considered. The analysis and the procedure for the functioning of the territorial subsystem of the Unified State System for the Prevention and Liquidation of Emergency situations of the subject of the Russian Federation for the fulfillment of tasks in the liquidation of emergency situations is carried out. The factors influencing the response time of the units of the Unified State System of Emergency Prevention and Response are systematized. The issues of interaction, the role and principles of using backup power supply sources are outlined. Examples of effective use of reserves in practice are given. The relevance of the study is formulated, revealing the contradiction between the growing dependence of modern society on uninterrupted power supply and the existing risks of large-scale accidents. The purpose and objectives of the upcoming studies related to improving the effectiveness of public protection in emergency situations related to accidents at electric power facilities by improving technologies, organizing the work of the Unified State Emergency Prevention and Response System of the subject of the Russian Federation and warning systems about possible accidents are set.

**Keywords:** emergency situation, an electric power facility, forces and means, interaction, information exchange

Важнейшим ресурсом сегодня является электричество. По данным статистики, количество отключений электроэнергии в некоторых регионах России в 2023 г., не связанных с плановым обслуживанием и модернизацией сетей, превысило 20 000 случаев. Это около 60 отключений каждый день. Общая протяженность электросетей в России достигает десятков и сотен тысяч километров. Авария на ключевом узле может привести к отключению электричества для конечных пользователей. Наиболее серьезной проблемой в области электроснабжения является блэкаут — массовое отключение электричества на большой территории с большим количеством потребителей.

Последствия нарушения подачи электроэнергии в города и промышленные центры являются опасными для здоровья и жизни людей, а также могут принести значительный материальный

ущерб. К примеру, авария в Москве в мае 2005 г. привела к огромным материальным потерям на сумму до 2 млрд руб., и это несмотря на окончание отопительного сезона. Множество предприятий в Московской и граничащими с ней областями были вынуждены остановить свою деятельность. Транспортная система столицы была парализована: метро, транспортные светофоры и бензоколонки не работали. Водопровод, теплоснабжение, канализация были парализованы из-за отсутствия электроэнергии. Городская жизнь была фактически остановлена [1].

Авария, произошедшая в январе 2024 г. на ТЭЦ-1 г. Пензы, оставила без теплоснабжения в условиях низких температур порядка 75 тыс. человек, зарегистрированных в более чем в 400 домах. Авария на теплотрассе от котельной ЗАО «КСПЗ» в Подольске Московской области,

произошедшая в январе 2024 г, оставила без отопления 173 дома.

Аварии на объектах электроэнергетики могут происходить по множеству причин, включая:

- перегрузку энергооборудования, превышающую допустимые параметры;

- неконтролируемый сброс нагрузки в электрической сети независимо от его продолжительности;

- дисбаланс мощностей генерации и потребления электроэнергии;

- неисправности в релейной защите и автоматике, отвечающих за предотвращение аварийных ситуаций;

- физический износ оборудования в процессе длительной эксплуатации;

- некорректное функционирование систем режимной и аварийной автоматики, вызванное проектными ошибками в монтаже и эксплуатации;

- недостаточную квалификацию обслуживающего персонала;

- низкое качество технического обслуживания, приводящее к отказам оборудования из-за коротких замыканий или повреждениям фарфоровых изоляторов;

- влияния природных явлений (ураганы, грозы, землетрясения и т. д.);

- производственные дефекты оборудования, которые могут вызывать механические повреждения, разрушения и потенциальные возгорания [2].

В целом выделяют стационарные и линейные объекты электроэнергетики. По различным причинам вероятность возникновения аварий на линиях электропередач (далее — ЛЭП) выше, чем на ином оборудовании, которое используется в электроэнергетике (рис. 1).



Рис. 1. Причины происшествий на ЛЭП

Fig. 1. Causes of power line accidents

Территориальные подсистемы РСЧС (далее — ТП РСЧС) успешно функционируют и выполняют задачи в пределах территории, на которой созданы, по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС), в том числе вызванных авариями и происшествиями на объектах электроэнергетики [3, 4].

При ЧС вследствие аварий на объектах электроэнергетики проводятся следующие мероприятия:

отправка аварийно-восстановительной бригады муниципального образования в место вероятной ЧС;

приведение в готовность резервной емкости воды;

подготовка резервуаров для подвоза питьевой/технической воды;

подготовка передвижных электростанций;

подготовка (передвижных, стационарных, мобильных) отопительных пунктов;

оповещение населения о угрозе возникновения ЧС;

подготовка пунктов временного размещения.

Согласно Приказу [5] аварии в области электроэнергетики относят к техногенным ЧС на системах жизнеобеспечения по определенным критериям в зависимости от времени затраченного на ликвидацию ЧС и количества пострадавшего населения.

Основными мероприятиями звеньев ТП РСЧС при ЧС являются:

доведение сигналов оповещения до населения и руководителей объектов экономики, транспорта, энергетики и сельского хозяйства по заранее установленной схеме;

организация разведки местности;

поддержание и обеспечение жизнедеятельности в районе аварии;

оценка обстановки для принятия решений по ликвидации последствий аварии координационным органом управления;

проведение эвакуации населения из зон ЧС;

организация и проведение мероприятий по жизнеобеспечению населения из зон ЧС;

организация ликвидации последствий аварий и проведение аварийно-восстановительных работ;

организация медицинской помощи пострадавшим и эвакуация (при необходимости) в областные государственные бюджетные (автономные) учреждения здравоохранения;

организация взаимодействия между экстренными службами городских звеньев и органами управления;

организация временного обеспечения населения водой, теплом, газом и электроэнергией.

С целью выполнения задач по восстановлению функционирования объектов электроэнергетики создаются группы аварийно-восстановительных работ (рис. 2).



**Рис. 2.** Функциональные группы проведения аварийно-спасательных работ  
**Fig. 2.** Functional groups of emergency rescue operations

Взаимодействие между: региональными штабами по обеспечению электроснабжения; территориальными органами Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (далее — ТО МЧС России); подразделениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; органами исполнительной власти и местного самоуправления;

обеспечивается учреждениями и организациями сферы жилищно-коммунального хозяйства; учреждениями и организациями электроэнергетической сети; органами управления Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору; и др. [5].

Анализ проблем при реагировании на происшествия, связанные с авариями на объектах электроэнергетики, позволил сформулировать факторы, которые оказывают воздействие на время реагирования ТП РСЧС (рис. 3).

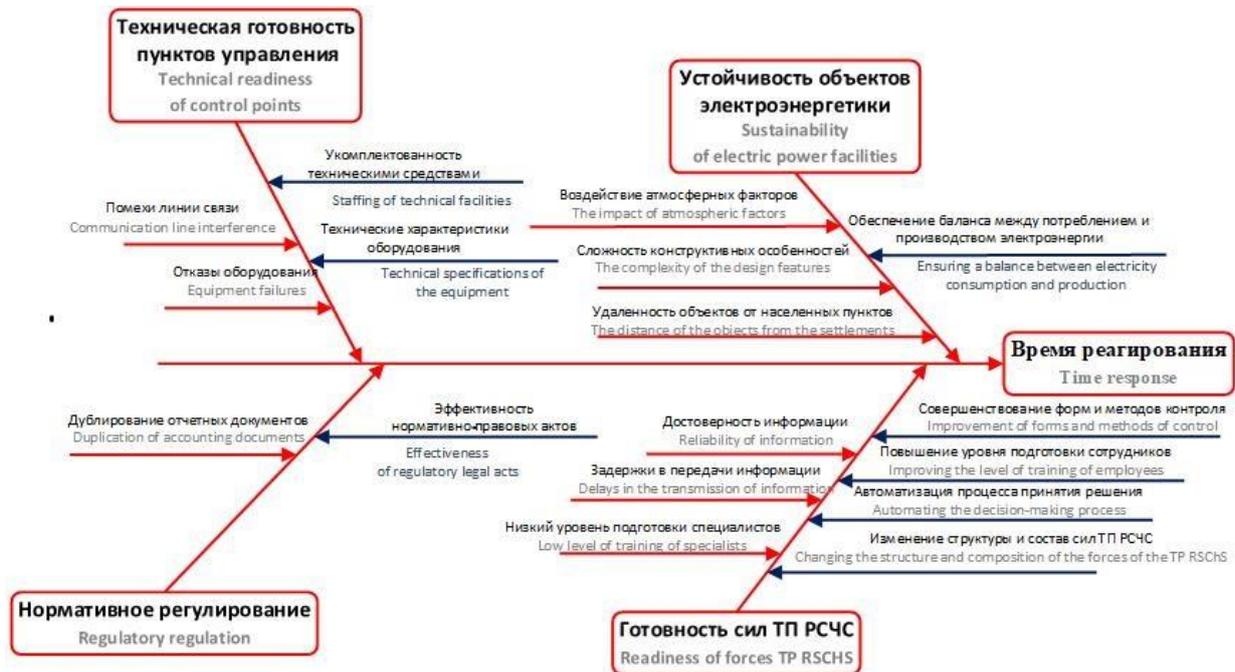


Рис. 3. Время реагирования и факторы, влияющие на него

Fig. 3. Response time and factors affecting it

Одним из путей повышения эффективности защиты населения является рациональное использование резервных источников питания, которые могут временно заменить основную сеть. Резервные источники электроснабжения (далее — РИСЭ) обеспечивают бесперебойное функционирование критически важных объектов инфраструктуры, систем водоснабжения, теплоснабжения, транспортных узлов, а также поддерживают жизнедеятельность населения. Эффективность защиты населения будет напрямую зависеть от количества, доступности и типа РИСЭ. Существуют несколько типов РИСЭ:

- дизельные и бензиновые генераторы;
- источники бесперебойного питания;
- аккумуляторные системы накопления энергии;
- возобновляемые источники энергии.

Количество РИСЭ напрямую влияет на возможность оперативного распределения ресурсов. Важно, чтобы объекты критической инфраструктуры имели не

один, а несколько уровней резервного электроснабжения. Это увеличит устойчивость данных объектов в случае затянувшихся аварий и повысит шанс на своевременное восстановление услуг для населения.

Возможно использование гибридных систем резервирования. Использование нескольких типов РИСЭ, например, сочетание дизельных генераторов с аккумуляторными системами или возобновляемыми источниками значительно повысит эффективность защиты населения. Такие гибридные системы могут обеспечить бесперебойное электроснабжение в разных условиях как в краткосрочной так и долгосрочной перспективе. Например, источники бесперебойного питания могут мгновенно покрыть кратковременное отключение, а дизельные генераторы вступят в действие для обеспечения питания на длительный срок.

Ярким примером эффективного использования РИСЭ является ликвидация ЧС в 2015 г. на территории Томской области, когда в результате аварийного отключения на магистральной линии электро-

передач, идущей от Нижневартовской ГРЭС, остались без света порядка 45 тыс. человек. В результате слаженных действий всех служб региона и принятого решения губернатора использовать все резервные мощности (РИСЭ были рационально распределены между социальными объектами для восстановления функционирования школ, поликлиник, больниц и котельных) удалось не допустить остывания зданий, разморозки труб и гибели среди населения.

Также немаловажным является соблюдение принципов рационального распределения резервов:

- принципа приоритизации;
- принципа минимальной достаточности;
- принципа территориальной доступности;
- принципа оптимального использования ресурсов;
- принципа своевременности.

Актуальность прикладной задачи определяется необходимостью разрешения следующего противоречия:

с одной стороны, реализация инженерно-технических мероприятий поз-

$$T = \max (T(I^1), T(I^2) \dots, T(I^k)) \xrightarrow{I^1, I^2, \dots, I^k} \min; k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

где  $I^1, I^2, \dots, I^k$  – очередность выполнения задач всеми группами, образующими вариант распределения;

$K$  – количество оперативных групп;

$$\bigcap_{k=1}^K I^k = \emptyset \quad (2)$$

$$\bigcup_{k=1}^K I^k = H = \{h_0, h_1, h_2, \dots, h_N\} \quad (3)$$

$$H = \{h_i\},$$

$i = \overline{0, N}$  – множество мест возникновения аварий на объектах электроэнергетики;

волит повысить эффективность защищенности населения при ЧС, вызванных авариями на объектах электроэнергетики, с другой стороны, проведение этих мероприятий требует значительных финансовых и материальных ресурсов.

Необходимо рационально распределять имеющиеся силы и средства ТП РСЧС без привлечения дополнительных денежных средств, времени и ресурсов.

Для решения данной задачи выдвинута следующая научная гипотеза: повысить эффективность защиты населения возможно обоснованием рационального распределения группировки ТП РСЧС для проведения мероприятий при чрезвычайных ситуациях, вызванных нарушением работы систем электроэнергетики.

Показателем эффективности является время ликвидации ЧС. Необходимо установить совокупность допустимых вариантов последовательности выполнения работ различными подразделениями таким образом, чтобы минимизировать общее время, затрачиваемое на восстановление функционирования объекта электроэнергетики, которое можно представить в следующем виде:

$h_0$  – место постоянной дислокации оперативной группы.

Тогда цель предстоящего исследования может быть обозначена в следующем виде: повышение эффективности проведения инженерно-технических мероприятий при ЧС, вызванных нарушением работы систем электроэнергетики.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалев, Г. Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов // Энергетика. Передача и распределение. 2011. № 1–4 (4). С. 64–70.
2. Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике : постановление Правительства Российской Федерации от 28 октября 2009 г. № 846 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902182516?marker=6560Ю> (дата обращения: 21.09.2024).

3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901884206> (дата обращения: 21.09.2024).
4. Очередыко М. В., Зотов Е. И., Усачева Т. В. Анализ функционирования территориальной подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Мурманской области при реагировании на чрезвычайные ситуации, связанные с авариями на объектах энергоснабжения. Совершенствование Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и системы мероприятий гражданской обороны Российской Федерации на современном этапе : сб. тр. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х частях. Химки, 1 марта 2023 г. Химки : Академия гражданской защиты МЧС России, 2023. Часть 1. С. 55–61.
5. Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера : приказ МЧС России от 5 июля 2021 г. № 429 (с изм. от 10 января 2010 г.) // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608475690> (дата обращения: 21.09.2024).
6. Скопинцев В. А. Промышленная безопасность объектов электроэнергетики // Электричество. 2015. № 7. С. 32–36.
7. Об электроэнергетике : Федер. закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ : принят Государственной Думой 21 февраля 2003 г. : одобрен Советом Федерации 12 марта 2003 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901856089> (дата обращения: 21.09.2024).
8. Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757, от 12 июля 2018 г. № 548 : приказ Министерства энергетики РФ от 4 октября 2022 г. № 1070 // ГАРАНТ.РУ : информационный интернет-портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405785259/> (дата обращения: 21.09.2024).

#### REFERENCES

1. Kovalev G. Problems of power supply of large cities and megacities // Electric power. Transmission and distribution. 2011; 1-4(4): 64–70. (rus).
2. Resolution of the Government of the Russian Federation dated October 28, 2009 No. 846 "On Approval of the Rules for investigating the causes of accidents in the electric power industry". URL: <https://docs.cntd.ru/document/902182516> (accessed 09/21/2024). (rus).
3. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 794-PP dated December 30, 2003 "On the Unified State System for the Prevention and Liquidation of Emergency Situations". URL: <https://docs.cntd.ru/document/901884206> (accessed 09/21/2024). (rus).
4. Queue M.V., Zotov E.I., Usacheva T.V. Analysis of the functioning of the territorial subsystem of the unified state emergency prevention and response system of the Murmansk region in responding to emergencies related to accidents at power supply facilities. Improvement of the Unified State System of Emergency Prevention and Response and the system of civil defense measures of the Russian Federation at the present stage: Proceedings of the XXXIII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts, Khimki, March 01, 2023. Volume Part 1. Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D.I. Mikhaylik, 2023; 55–61. (rus).
5. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 05, 2021 No. 429 "On establishing criteria for information on natural and man-made emergencies". URL: <https://docs.cntd.ru/document/608475690> (accessed 09/21/2024). (rus).
6. Skopintsev V. A., Industrial safety of electric power facilities // Electricity. 2015; 7: 32–36. (rus).
7. Federal Law No. 35-FZ of March 26, 2003 "On Electric Power Industry". – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901856089> (accessed 09/21/2024). (rus).
8. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 1070 dated October 04, 2022 "On Approval of the Rules for the Technical Operation of Electric Power Plants and Networks of the Russian Federation and on Amendments to Orders of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 757 dated September 13, 2018, No. 548 dated July 12, 2018". URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405785259/> (accessed 09/21/2024). (rus).

**Информация об авторах**

**Зотов Евгений Игоревич**, адъюнкт, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, ул. Соколовская стр.1 А; РИНЦ ID: 1194932  
e-mail: [evgeniy\\_zotov\\_2014@mail.ru](mailto:evgeniy_zotov_2014@mail.ru)

**Information about the authors**

**Evgeny I. Zotov**, Adjunct, Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Sokolovskaya str., 1A, Moscow region, Khimki, 141435, Russian Federation; RSCI ID: 1194932  
e-mail: [evgeniy\\_zotov\\_2014@mail.ru](mailto:evgeniy_zotov_2014@mail.ru)

УДК 614.841

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ УХУДШЕНИЯ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Неверов Евгений Николаевич, Бесперстов Дмитрий Александрович,  
Яковлев Иван Владимирович, Семенов Никита Владимирович

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

### АННОТАЦИЯ

Исследование рассматривает возможные риски и угрозы, которые могут возникнуть в случае изменения окружающей среды и нарушения инфраструктуры. В работе проанализировано влияние факторов, таких как изменение климата, природных катастроф, техногенных аварий и других ситуаций, которые могут оказать косвенное, но глобальное воздействие на пожарную безопасность. Особое внимание уделяется разработке и совершенствованию мер и средств защиты, которые способны минимизировать риски возникновения и распространения пожаров в условиях повышенной опасности при невозможном своевременном прибытии федеральной службы пожарной охраны.

Исследование включает в себя анализ методов и технологий для прогнозирования паводков, а также предлагает рекомендации по улучшению системы обеспечения пожарной безопасности в условиях неблагоприятной паводковой обстановки.

Особое внимание уделено вопросам адаптации инфраструктуры к негативным условиям, включая модернизацию противопожарных систем в зданиях, а также внедрение современных технологий, таких как системы раннего обнаружения пожаров с использованием дронов и спутников. Также проанализированы социальные и экономические аспекты, связанные с возможным повреждением имущества, эвакуацией населения и восстановительными работами после пожаров.

Данная работа представляет комплексный подход к решению проблем пожарной безопасности в условиях ухудшающейся экологической ситуации и разрушения инфраструктуры, предлагаются как краткосрочные, так и долгосрочные меры по уменьшению рисков и защите населения.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, паводки, чрезвычайные ситуации, аварийно-спасательные работы, природные и техносферные опасности, безопасность населения, последствия от чрезвычайных ситуаций, стихийные бедствия

## PECULIARITIES OF ENSURING TECHNOSPHERIC SAFETY OF OBJECTS AND SETTLEMENTS IN CONDITIONS OF WORSE FLOOD SITUATION

**Evgeny N. Neverov, Dmitry A. Besperstov, Ivan V. Yakovlev, Nikita V. Semenov**

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

**ABSTRACT**

The study examines potential risks and threats that may arise from environmental changes and infrastructure disruptions. The paper analyzes the impact of factors such as climate change, natural disasters, man-made accidents and other situations that can have an indirect but global impact on fire safety. Particular attention is paid to the development and improvement of measures and means of protection that can minimize the risks of the outbreak and spread of fires in high-risk conditions, when the timely arrival of the federal fire service is impossible.

The study includes an analysis of methods and technologies for flood forecasting and offers recommendations for improving the fire safety system in unfavorable flood conditions.

Particular attention is paid to the issues of adapting infrastructure to adverse conditions, including the modernization of fire protection systems in buildings, as well as the introduction of modern technologies, such as early fire detection systems using drones and satellites. Social and economic aspects related to possible damage to property, evacuation of the population and restoration work after fires are also analyzed.

This paper presents a comprehensive approach to solving fire safety problems in the context of a deteriorating environmental situation and infrastructure destruction, and it proposes both short-term and long-term measures to reduce risks and protect the population.

**Key words:** fire safety, floods, emergency situations, emergency rescue operations, natural and man-made hazards, public safety, consequences of emergency situations, natural disasters.

**Актуальность**

В последние годы наблюдается тенденция к учащению и ухудшению паводковых ситуаций, что создает серьезные проблемы по обеспечению пожарной безопасности, как бы это парадоксально ни звучало, для территорий, «отстраненных» водной стихией. Повышенные риски возгораний, затруднение к доступу и эвакуации требуют разработки специальных мер по защите населенных пунктов и объектов инфраструктуры [1].

Наводнения являются одними из самых разрушительных стихийных бедствий, с которыми сталкивается Россия и многие другие страны по всему миру. Основными причинами таких наводнений являются таяние снежных масс, ливневые дожди, а также разрушение или повреждение гидротехнических сооружений: таких как плотин, дамб и водохранилищ.

Так, серьезное наводнение произошло в Таиланде в 2011 г., когда из-за продолжительных муссонных дождей уровень воды в крупнейших реках страны, Чаупхрае и Меконге, поднялся до критических значений. Были сильно повреждены автомобильные и железные дороги, затоплены сельскохозяйственные угодья [2].

Прорыв дамбы на водосбросе плотины Оровилль в Калифорнии в 2017 г. был чрезвычайно серьезным и опасным событием. Этот инцидент произошел из-за трещины в желобе водосброса, вызванной внутренней эрозией почвы, что привело к значительному наводнению и угрозе жизням и имуществу людей вниз по реке.

В результате прорыва дамбы на плотине Оровилль были эвакуированы тысячи людей, нанесен значительный материальный ущерб и крупномасштабно по-

страдала экосистема в окрестностях реки. Этот случай стал катастрофическим напоминанием о важности надлежащего управления водными ресурсами и инфраструктурой для обеспечения безопасности и благополучия общества [3].

Такие события подчеркивают необходимость строгой проверки и обслуживания инфраструктуры плотин и водохранилищ для обеспечения их безопасности и предотвращения подобных происшествий в будущем.

Одним из крупнейших наводнений стало наводнение в Европе в 2021 г., когда сильные ливни вызвали резкий подъем уровня воды во многих реках, включая Рейн, Маас и их притоки. В некоторых регионах Германии, Бельгии и Нидерландов были затоплены целые населенные пункты [4].

Далее, наводнение, вызванное штормом «Даниэль», в Ливии 10 сентября 2023 г. принесло страшные последствия для местного населения. Разрушения инфраструктуры и потеря жизней в различных населенных пунктах, включая Бенгази и другие города, поразили всю страну. Прорыв плотин и разрушение зданий только усугубили катастрофу, сделав ее еще более разрушительной. Инфраструктура страны, такая как мосты, дороги, и электрические сети, пострадала от стихии, причинив дополнительный ущерб и затрудняя проведение спасательных работ и восстановление после бедствия [5].

Наводнения актуальны и для Российской Федерации (далее — РФ), так, масштабное происшествие произошло в

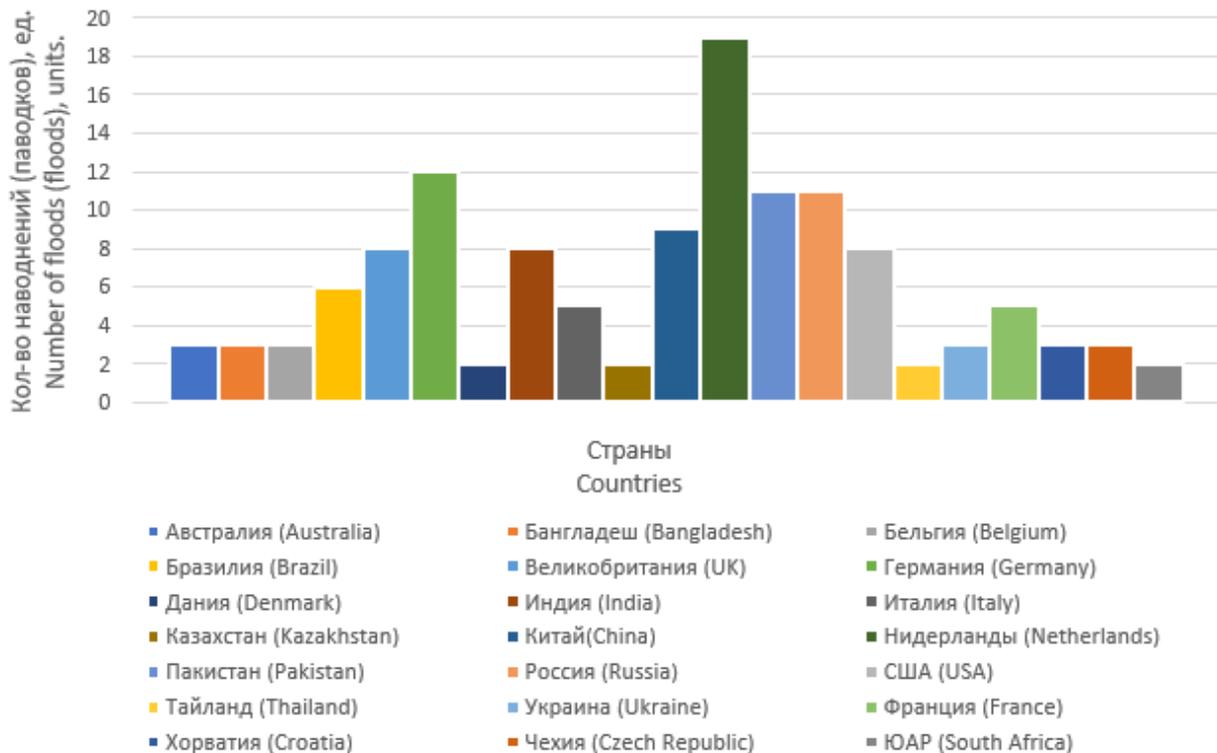
2019 г. в Иркутской области, вызванное сильными ливневыми дождями. Тысячи домов были затоплены, а некоторые населенные пункты оказались полностью отрезаны от внешнего мира из-за размытых дорог и разрушенных мостов. Спасательные службы столкнулись с трудностями доставки помощи пострадавшим районам, т. к. многие объекты стали недоступны для спасательной и пожарной техники [6].

В Краснодарском крае 19 октября 2019 г. возле поселка Щетинкино возникла авария в районе работ артели «Сисим», когда верхняя каскада из трех дамб, установленных на реке Сейбе, была прорвана водой. Последствие повлиало на катастрофическое разрушение остальных дамб. Селевой вал высотой от 4 до 5 метров пронесся по руслу реки, уничтожив поселок рабочих, расположенный ниже по руслу реки [7].

В 2024 г. в Оренбургской области произошел серьезный прорыв дамбы, который вызвал масштабное наводнение и затопление значительных территорий. Последствия этой катастрофы стали тяжелым испытанием для местных жителей и органов экстренного реагирования [8].

Таким образом, наводнения и паводки происходят часто и во всех частях мира, приводя не только к материальным потерям, но и жертвам.

На рис. 1 приведено количество зарегистрированных наводнений за все периоды наблюдений в различных странах с 2009 до 2023 гг. включительно.



**Рис. 1.** Диаграмма зарегистрированных наводнений (паводков)

**Fig. 1.** Chart of registered floods

В соответствии с данным графиком наибольшая численность наводнений отмечена в таких странах, как Нидерланды, Германия, Пакистан, Россия наименьшая — в Таиланде, ЮАР, Дании и Казахстане.

Особую опасность представляют объекты промышленной среды, т. к. зачастую они влияют на жизнеобеспечение населения (энергетика, топливо, переработка сырья), а также наличие на них взрывоопасных и пожароопасных веществ, участвующих в производственном процессе. Все это несет дополнительные риски для работников предприятий и близ проживающего населения [9].

Одной из серьезных проблем, возникающих во время паводковых наводнений, является недоступность затопленных объектов и населенных пунктов для пожарной техники и службы спасения. Когда водные массы заливают улицы и дороги, пожарные машины и другая специальная техника просто не могут добраться до

зданий, находящихся в зоне затопления, особенно в случае возникновения пожаров, которые могут быть вызваны короткими замыканиями электрических сетей или бытовых приборов, поврежденных водой, а также неосторожности людей при использовании электронагревательных приборов, при наличии открытого огня или в результате нарушений требований по пожарной безопасности [10].

Разрушение гидротехнических сооружений, таких как дамбы, является серьезной проблемой, вызванной различными факторами. Среди основных причин разрушения дамб можно выделить переполнение воды за сооружением, эрозию окружающего грунта и недостаточное техническое обслуживание [11].

Последствия паводковых наводнений или повреждений гидротехнических сооружений могут быть значительными и многообразными, включая в себя.

1. Разрушение производственной и социальной инфраструктуры: повреждение и затопление дорог, мостов и железнодорожных путей, жилых и общественных зданий. В результате упомянутых разрушений происходит нарушение функционирования инфраструктуры, что ведет к экономическим потерям и необходимости восстановления [11].

2. Риск для общественной безопасности: сложности прибытия пожарных и спасательных служб при выполнении их функций, особенно если повреждены дороги и мосты.

3. Экологические последствия: загрязнение воды и почвы, уничтожение мест обитания флоры и фауны. Также в период паводков увеличивается вероятность эрозии почвы на территориях захоронения животных и высвобождения патогенных микроорганизмов, что способствует распространению инфекционных заболеваний.

Проблема обеспечения доступности пожарной техники и служб спасения при паводковых наводнениях или повреждении гидротехнических сооружений представляет серьезное ограничение для оперативного управления чрезвычайными ситуациями (далее — ЧС), что усложняет проведение ряда неотложных мероприятий по спасению людей и предотвращению материальных ущербов.

Подводя итоги резюмируем, что разработка и использование дополнительных мероприятий является вынужденной мерой как один из вариантов решения проблем по защите населения и инфраструктуры регионов страны, возникающих в результате паводков и подтопления территорий.

Целью данной работы является разработка мер для обеспечения пожарной безопасности объектов и населенных пунктов в условиях ухудшения паводковой обстановки.

Задачи, которые необходимо решить в ходе проведения исследования:

1. Исследование текущей ситуации паводковых изменений, определение вероятности увеличения частоты и интенсивности паводков.

2. Разработка модели для прогнозирования паводков и мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения.

3. Разработка дополнительных противопаводковых мероприятий.

### **Математический анализ ЧС, в том числе гидрологического характера**

Для разработки мер по предотвращению и смягчению последствий ЧС необходимо провести анализ и моделирование общего числа ЧС, в том числе гидрологического характера.

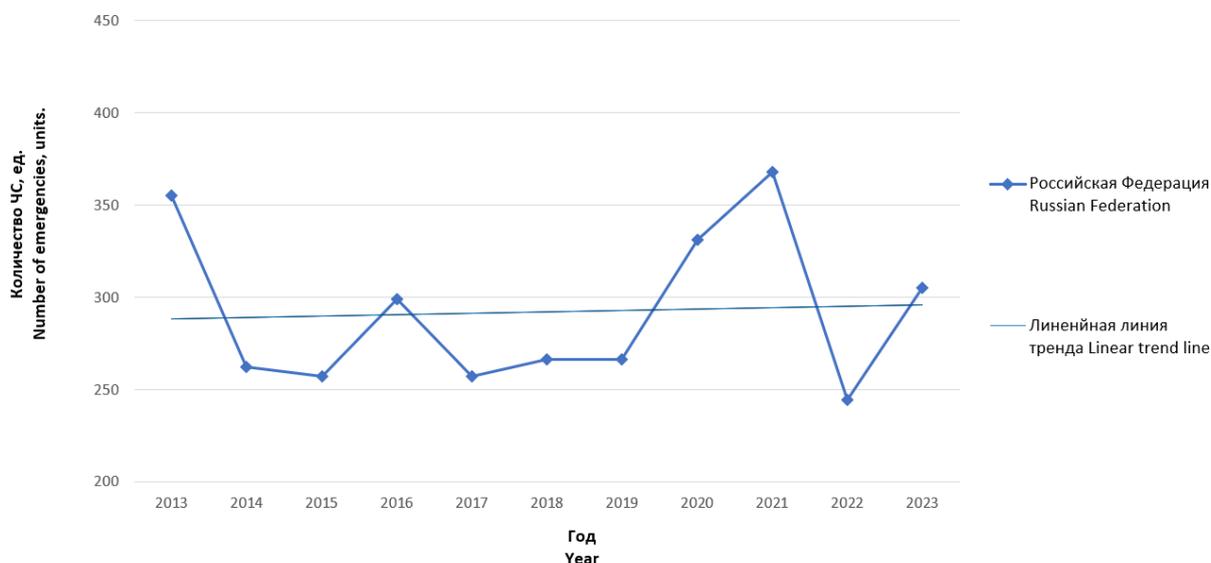
Анализ и моделирование ЧС включают в себя сбор и анализ данных о прошлых событиях, а также использование математических моделей для прогнозирования вероятности и потенциального воздействия будущих событий.

Статистика чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации представлена на рис. 2 [12, 13].

На рис. 2 по статистическим данным построен график изменения чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации в период с 2013 по 2023 гг. Анализ данного графика показывает, что распределение количества ЧС за рассматриваемый период носит случайный и труднопрогнозируемый характер. Наибольший пик количества ЧС наблюдается в 2021 г., минимальное количество — в 2015, 2017 и 2022 гг. Также наблюдается тенденция к увеличению показателей.

Используя аппроксимацию функции одной переменной, а именно полином 8-ой степени, приведем функцию изменения количества чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации в период с 2013 по

2023 гг.. Исходные данные представлены в табл. 1



**Рис. 2.** Количество чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации в период с 2013 по 2023 гг.

**Fig. 2.** The number of emergency situations in the Russian Federation from 2013 to 2023

**Таблица 1**

Исходные данные, описывающие количество ЧС в РФ

**Table 1**

Initial data describing the number of emergencies in the Russian Federation

х, у/ года year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
х	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РФ (у) Russia (y)	355	262	257	299	257	266	266	331	368	244	305

Исходя из исходных данных таб. 1 получено математическое уравнение с полиномом 8-й степени, принимаемое вид:

$$y = 0,0022x^8 - 0,0858x^7 + 1,3445x^6 - 11,1844x^5 + 56,1164x^4 - 190,2450x^3 + 466,6608x^2 - 732,9972x + 765,6364. \tag{1}$$

Используем (1) для нахождения значений функции с 2013 по 2023 гг. Данные, которые получены в ходе математического расчета, приведены в табл. 2.

Использование полиномиальной функции 8-й степени позволило достаточно приближенно описать сложную функ-

цию, снижая ошибку приближения (средняя ошибка аппроксимации составила  $\sum \varepsilon = 2,17\%$ ).

Общее число природных ЧС (водного характера), произошедших на территории РФ представлены в табл. 3 [12, 13].

Исходя из приведенных данных в рис. 3. табл. 3 строится график, изображенный на

**Таблица 2**  
 Результаты расчета с использованием функции (1)  
**Table 2**  
 Calculation results using function (1)

х, у/ года year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
х	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РФ (у) Russia (y)	355	262	257	299	257	266	266	331	368	244	305
Значения функции (у) Function val- ues (y)	355,2	259,9	264,6	283,6	275,7	253,6	267,9	334,6	364,8	245	304,9
Ошибка ап- проксима- ции, % Approximatio n error, %	0,056	0,81	2,87	5,43	6,78	4,89	0,71	1,07	0,87	0,40	0,03
Средняя ошибка ап- проксима- ции, % Average ap- proximation error, %	$\sum \varepsilon = \frac{0,056 + 0,81 + 2,87 + 5,43 + 6,78 + 4,89 + 0,71 + 1,07 + 0,87 + 0,40 + 0,03}{12} \Rightarrow$ $\Rightarrow \sum \varepsilon = 2,17\%$										

**Таблица 3**  
 Число природных чрезвычайных ситуаций (героического характера), произошедших на территории РФ  
**Table 3**  
 The number of natural emergencies (heroic nature) that occurred on the territory of the Russian Federation

Год Year	Сильный дождь, снегопад, крупный град Heavy rain, snowfall, large hail	Отрыв прибрежных льдов Coastal ice separation	Опасные гидрологические явления Hazardous hydrological phenomena	Количество погибших в результате природных ЧС, чел. Death toll as a result of natural emergencies	Пострадавшие, чел. Victims, people	Мат. ущерб, млн руб. Mat. damage, million rubles
2013	22	4	16	6	193 706	47 517,63
2014	16	2	7	11	125 584	3 823,28
2015	11	-	4	43	8 989	1 595,667
2016	21	1	15	3	126 082	5 261,137
2017	14	-	13	33	32 224	3 814,2
2018	11	1	12	8	53 637	481,668
2019	9	-	17	34	117 352	8 492,89

2020	6	1	29	4	2 934	4 936,666
2021	10	2	28	24	3	929,096
2022	10	1	9	1	1 679	7 231,854
2023	27	-	17	29	245 990	61 431,869



**Рис. 3.** График природных ЧС (гидрологического характера), произошедших на территории РФ с 2013 по 2023 гг.

**Fig. 3.** The schedule of natural emergencies (of hydrological nature) that occurred on the territory of the Russian Federation from 2013 to 2023

Согласно графику, представленному на рис. 3, распределение количества ЧС природного (водного характера) с 2013 по 2023 гг. носит случайный и трудно прогнозируемый характер. Наибольший пик количества ЧС наблюдается в 2015 г., минимальное количество приходится на 2016, 2020 и 2022 гг.

Исходя из данных табл. 3, аппроксимируем функцию одной переменной, а именно полиномы 7-й, 8-й степени, приведем функции изменения количества природных чрезвычайных ситуаций (водного характера), произошедших на территории РФ, после чего уравнения примут вид:

$$y_1 = 0,0018x^7 - 0,07070 x^6 + 1,1401x^5 - 9,3521x^4 + 40,9862x^3 - 92,2829x^2 - 92,0390x - 10,3273; \tag{2}$$

$$y_2 = 0.0004x^7 - 0,0169 x^6 + 0,2840x^5 - 2,4613x^4 + 11,6213x^3 - 28,8820x^2 + 32,3523x - 8,8909; \tag{3}$$

$$y_3 = -0,0007x^8 + 0,0391x^7 - 0,8491x^6 + 9,8211x^5 - 65,4031x^4 + 252,9305x^3 - 542,9203x^2 + 574,3996x - 212. \tag{4}$$

Где уравнение (2) описывает ЧС, вызванные сильным дождем, снегопадом, крупным градом, уравнение (3) описывает

ЧС при отрыве прибрежных льдов, уравнение (4) описывает опасные гидрологические явления.

Из рис. 2 следует, что распределение количества ЧС природного (водного) характера за определенный период обладает случайным и сложным для прогнозирования характером. А при использовании аппроксимации 8-го полинома (полинома 8-й степени) можно попытаться приблизительно описать это распределение или предсказать его поведение. Средняя погрешность между статистическими данными (таб. 3) и функциями изменения (2), (3), (4) составила:

$$\begin{aligned} \sum E(y_1) &= 10,9\%; \sum E(y_2) = \\ &= 22,6\%; \sum E(y_3) = 4,05\%. \end{aligned}$$

Анализируя статистические данные за период с 2013 по 2023 гг., можно выявить закономерности и тенденции в возникновении наводнений (паводков) на территории РФ, а также оценить эффективность существующих методов защиты.

Рассмотрим влияние последствия наводнений (паводков) на территории РФ. В табл. 4 приведены последствия наводнений (паводков) за период с 2013 по 2023 гг. на территории РФ [13].

Таблица 4

Последствия наводнений (паводков) за период с 2013 по 2023 гг. на территории РФ

Table 4

Consequences of floods for the period from 2013 to 2023 on the territory of the Russian Federation

Дата Date	Территория (Расположение) Territory (Location)	Площадь затопления Flood area	Пострадавшие, чел. Victims, people	Погибшие, чел. Dead, people	Ущерб, млрд рублей. Damage, billion rubles.
2013 г., с мая - по сентябрь 2013 From May to September	Дальневосточный федеральный округ Far Eastern Federal District	366 населенных пунктов, 13 667 жилых домов 366 settlements 13 667 residen- tial buildings	190 тыс. 190 thousand	жертв не было there were no casual- ties	39
В мае 2014 г. In May 2014	Южная Сибирь (республики Алтай, Хакасия и Тува) Southern Siberia (Republics of Altai, Khakassia and Tuva)	свыше 20 тыс. домов, 8 тыс. приуса- дебных участ- ков over 20 thou- sand houses, 8 thousand personal plots	47 тыс. 47 thousand	7	5

2016 г., 31 августа 2016 August 31	Приморский край, тайфун «Лайонрок» Primorsky Krai, Typhoon Lionroc	27 муниципальных районов, 170 населенных пунктов, 15 тыс. домовладений, 21 тыс. земельных участков. 27 municipal districts, 170 settlements, 15 thousand households, 21 thousand land plots.	40 тыс. 40 thousand	1	13
2017 г., 25 мая 2017 May 25	Ставрополь Stavropol	19 населенных пунктов, 1 789 жилых домов 19 settlements, 1,789 residential buildings	20 тыс. 20 thousand	2	6,4
2019 г., 25 июня 2019 June 25	Иркутская области Irkutsk region	135 населенных пунктов, 12 тыс. участков, 56 участков автодорог, 23 автомобильных моста 135 us. points, 12 thousand plots, 56 road sections, 23 road bridges	45 тыс. 45 thousand	30	35,152
2021 г., август 2021 august	Дальний Восток и Крым Far East and Crimea	765 жилых домов 765 residential buildings	6,7 тыс. 6,7 thousand	2	17,2
2022 г., 15 сентября 2022 September 15	Приморский край, тайфун «Хинамор» Primorsky Krai, typhoon «Hinamore»	1 тыс. домов 1 thousand houses	30 тыс. 30 thousand	8	6

2023 г., с 9 по 11 августа 2023 From 9 to 11 August	юг Приморья, тайфуна «Ханун» south of Primorye, typhoon "Hanun"	5 000 домов 5000 houses	44 тыс. 44 thousand	жертв не было there were no casual- ties	7
2023 г., 25 августа 2023 August 25	Приморский край Primorsky Krai	5 тыс. домо- владений 5 thousand households	32 тыс. 32 thousand	6	10

Из табл. 4 наглядно видно влияние паводков (наводнений) на:

1) экономические последствия (ущерб недвижимости и инфраструктуры, потери в сельском хозяйстве);

2) социальные последствия (ущерб здоровью населения).

Анализ этого показывает, что необходимо вводить меры по предотвращению наводнений, созданию систем предупреждения и борьбы с их последствиями, чтобы минимизировать воздействие на человеческие жизни и обеспечить безопасность населения [14, 15].

Проектирование систем защиты требует более глубокой математической модели, чем простое использование линейных или квадратичных уравнений. Полиномы более высоких степеней, такие как полиномы 7-ой и 8-ой степеней, могут предложить более точное моделирование и прогнозирование.

Метод для предотвращения паводков на основе полиномов высокой степени будет состоять из сбора данных. Для создания корректной математической

$$P_7(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6 + a_7x^7; \quad (5)$$

$$P_8(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5 + b_6x^6 + b_7x^7 + b_8x^8, \quad (6)$$

где  $a_i, b_j$  — коэффициенты;

$x$  — вектор факторов (например, уровень осадков, влажность почвы, скорость ветра и др.).

модели необходим сбор данных, таких как:

- исторические данные о наводнениях (уровень воды, интенсивность осадков, температура);
- географические и гидрологические данные (рельеф местности, водоразделы, параметры рек и водоемов);
- информация о почве и растительности (водопоглощение, плотность лесов и др.).

Предварительная обработка данных. Данные необходимо качественно обработать, что подразумевает удаление и/или исправление отсутствующих значений и устранение дублирующих значений. Определение ключевых переменных, которые будут использоваться в анализе или моделировании. Преобразование в единый формат.

Используя полиномы 7-й и 8-й степеней для моделирования зависимости от различных факторов:

### Прогнозирования паводковой обстановки в РФ

Для моделирования и прогнозирования паводков выберем язык программирования Python. За основу взята поли-

нома 8-й степени. Данные о прошлых паводках для обработки и прогнозирования используем за основу, из табл. 4.

Пример кода на языке Python прогноза приведен на рис. 4.

Где под условными единицами понимается уровень увеличения высоты воды выше критического значения.

Из рис. 5 видим, что уровень паводка с 2024 по 2026 гг. увеличивается. Это вызвано измерением высоты воды выше критического значения реки, озера или другого водоема, в результате увеличения из-за обильных осадков.

Данная модель прогноза не дает географическую точность образования паводка. Недостаток прогнозирования в географической точности. Это связано с взаимодействием множества переменных и случайных факторов даже при наличии общих прогнозов и исторических данных.

Поэтому даже при наличии общего прогноза важно принимать дополнительные противопаводковые мероприятия, используя прогнозируемые значения, полученные с помощью полиномов высокой степени.

### **Противопаводковые мероприятия**

Пример противопаводковых мероприятий с учетом обеспечения пожарной безопасности на основе прогнозируемых данных — это система временного хранения воды.

Система временного хранения воды — резервуары и водохранилища для временной задержки паводковых вод с последующим контролируемым выпуском.

По центру находится большой резервуар, который заполняется водой во время паводка. Из него ведутся трубопроводы к водохранилищу, расположенному чуть ниже. Устройства каналов и/или подземных дренажных систем для отвода избыточной воды помогают предотвратить затопления городских территорий и сель-

скохозяйственных участков. На резервуаре есть уровень воды, контролируемый уровнемером. Сверху резервуара находятся запорные клапаны, которые управляют выпуском воды в резервуар. Водохранилище, в свою очередь, имеет свои перепускные трубопроводы. В критических местах можно установить насосные станции, которые будут перекачивать воду из зоны затопления в водоемы или водохранилища. Что, в свою очередь, повысит шанс избежать короткого замыкания электрических сетей или бытовых приборов.

В резервуарах с временным хранением паводковой воды можно также предусмотреть запасы для использования при тушении пожаров вдоль территорий с высоким риском пожара, такие как лесные зоны или промышленные районы. Это обеспечит мгновенный доступ к водным ресурсам в случае возгорания.

Система временного хранения воды представлена на рис. 6.

Дополнительные противопожарные меры на подтапливаемой территории:

- пожарный катер (забор воды для тушения с самой воды);
- пожарную машину на воздушной подушке;
- пожарный вертолет;
- дрон для мониторинга очагов возгорания в затопленных районах.

Эти меры позволят повысить уровень пожарной безопасности в зонах подтопления и максимизировать эффективность борьбы с возгораниями.

Необходимо продолжить исследования для обоснования предложенных принципов решения противопаводковой ситуации с целью проверки и подтверждения способности системы. Следовательно, особое внимание следует уделить определению входных и выходных значений системы.

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Пример данных о прошлых паводках
5 years = np.array([2013, 2014, 2016, 2017, 2019, 2021, 2022, 2023, 2023])
6 # Уровень паводка (в условных единицах)
7 flood_levels = np.array([0.89, 0.75, 0.8, 0.65, 1.1, 0.8, 0.65, 0.5, 0.67])
8
9 # Степень полинома (можно менять для экспериментов)
10 degree = 8
11
12 # Вычисление коэффициентов полинома
13 coefficients = np.polyfit(years, flood_levels, degree)
14 # Создание полиномиальной функции
15 polynomial = np.poly1d(coefficients)
16
17 # Прогнозирование паводков на последующие года
18 future_years = np.array([2024, 2025, 2026])
19 predicted_flood_levels = polynomial(future_years)
20
21 # Визуализация данных и полиномиального уравнения
22 plt.scatter(years, flood_levels, color='blue', label='Прошлые данные')
23 plt.plot(years, polynomial(years), color='red', label='Полиномиальная аппроксимация')
24
25 # Визуализация прогнозированных данных
26 plt.scatter(future_years, predicted_flood_levels, color='green', label='Прогноз')
27
28 plt.xlabel('Год')
29 plt.ylabel('Уровень паводка')
30 plt.title('Полиномиальная аппроксимация и прогноз паводков')
31 plt.legend()
32 plt.grid(True)
33 plt.show()
34
35 # Вывод прогнозов
36 for year, level in zip(future_years, predicted_flood_levels):
37     print(f"Прогноз на {year} год: уровень паводка {level:.2f} условных единиц.")
38
```

Рис. 4. Код на языке Python прогноза паводков

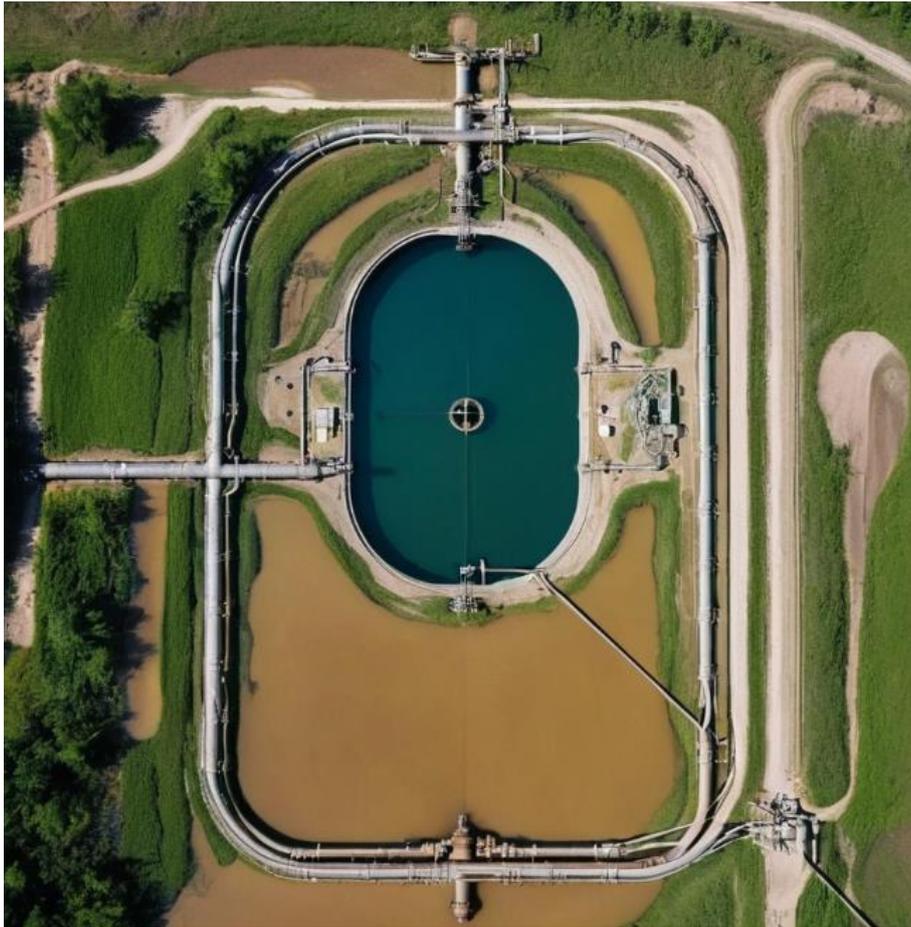
Fig. 4. Python code for flood forecast

Результат прогноза с 2024 по 2026 гг. представлен на рис. 5.

Прогноз на 2024 год: уровень паводка 0.49 условных единиц.  
Прогноз на 2025 год: уровень паводка 0.55 условных единиц.  
Прогноз на 2026 год: уровень паводка 0.83 условных единиц.

Рис. 5. Результат прогноза с 2024 по 2026 гг.

Fig. 5. Forecast result from 2024 to 2026



**Рис. 6.** Система временного хранения воды  
**Fig. 6.** The temporary water storage system

### Заключение

В ходе комплексного анализа современного состояния паводковых изменений были выявлены ключевые факторы, влияющие на частоту и интенсивность паводков в исследуемых регионах. Основные факторы включают в себя изменения климатических условий, увеличение объема осадков, антропогенные воздействия и топографические особенности территории. Выводы исследования указывают на тенденцию роста частоты и интенсивности паводков в ближайшее время. Полученные данные будут использованы для улучшения прогностических моделей и разработки более эффективных защитных мер.

Для создания модели прогнозирования паводков использовалась полино-

миальная регрессия, которая учитывает нелинейные зависимости в данных о климатических условиях, влияющих на формирование паводков. Разработанная модель была успешно протестирована на исторических данных, показав результаты прогноза паводков. В дальнейшем планируется проводить обновления модели с использованием большего числа параметров для повышения ее точности и надежности.

В результате разработки дополнительных противопаводковых мероприятий была спроектирована инженерная конструкция защиты от паводков. Создание системы временного хранения паводковых вод в сочетании с инженерными конструкциями для защиты от паводков представляет собой эффективное реше-

ние для минимизации рисков, связанных с паводками.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бесперстов Д. А., Неверов Е. Н., Фомин А. И. Оценка и обеспечение безопасности людей при пожарах на производстве и в быту. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2024. 189 с.
2. Gale E. L., Saunders M. A. The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods // *Weather*. 2013. Т. 68, № 9. С. 233–237.
3. Insights into the cause of the Oroville dam spillway failure, 2017, California / X. Zhang et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. С. 1–14.
4. Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine–Meuse basins / L. Pfister et al. // *River research and applications*. 2004. Т. 20, № 3. С. 229–241.
5. Flooding in Libya amid an economic crisis: what went wrong? / M. O. Oduoye et al. // *IJS Global Health*. 2024. Т. 7, № 1. DOI 10.1097/gh9.000000000000401. – EDN WDYPAC. (дата обращения: 09.09.2024).
6. Дугарова Г. Б. Анализ и оценка последствий наводнений в г. Тулуне (Иркутская область) // *ЭКО*. 2021. № 1 (559). С. 130–150.
7. Арефьева Е. В., Болгов М. В. Особенности прогнозирования природных наводнений в целях снижения риска чрезвычайных ситуациях на примере Красноярского края // *Технологии гражданской безопасности*. 2018. № 4 (58). С. 40–47.
8. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Лупян Е. А. Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году // *Мониторинг*. 2024. Т. 21, № 3. С. 339–347.
9. Разработка методологического принципа обеспечения пожаробезопасности людей / А. И. Фомин [и др.] // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2023. № 4. С. 27–34.
10. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 // *Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ.* URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (дата обращения: 21.09.2024).
11. Немитовская Д. В. Подвербный В. А. Проблема проектирования и обеспечения сохранности вод разделительных дамб // *Научные дискуссии в эпоху глобализации: материалы XXIII Всероссийской научно-практической конференции, Смоленск, 08 декабря 2022 года.* – Смоленск: ООО «Полиграф», 2022. С. 318–321.
12. ЕМИСС Государственная статистика : официальный сайт. URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).
13. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : официальный сайт. URL: <https://mchs.gov.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).
14. Эталонная информационная система по математическому управлению безопасностью людей / Е. Н. Неверов [и др.] // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2022. № 4. С. 33–37.
15. Безопасность промышленного производства в Российской Федерации и за рубежом / Е. Н. Неверов [и др.] // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2023. № 2. С. 6–11.

#### REFERENCES

1. Besperstov D. A., Neverov E. N., Fomin A. I. Otsenka i obespechenie bezopasnosti liudei pri pozharakh na proizvodstve i v bytu. Kemerovo : Kemerovskii gosudarstvennyi universitet, 2024. 189 p.
2. Gale E. L., Saunders M. A. The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods // *Weather*. 2013. Т. 68, no 9. S. 233–237. (rus)
3. Insights into the cause of the Oroville dam spillway failure, 2017, California / X. Zhang et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. S. 1–14.
4. Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine–Meuse basins / L. Pfister et al. // *River research and applications*. 2004. Т. 20, no 3. S. 229–241.

5. Flooding in Libya amid an economic crisis: what went wrong? / M. O. Oduoye et al. // IJS Global Health. 2024. T. 7, no 1. DOI 10.1097/gh9.0000000000000401. – EDN WDYPAC. (data obrashcheniia: 09.09.2024).
6. Dugarova G. B. Analiz i otsenka posledstviia navodnenii v g. Tulune (Irkutskaiia oblast') // EKO. 2021. no 1 (559). S. 130-150.
7. Aref'eva E. V., Bolgov M. V. Osobennosti prognozirovaniia prirodnykh navodnenii v tseliakh snizheniia riska chrezvychainykh situatsiiax na primere Krasnoiarskogo kraia // Tekhnologii grazhdanskoii bez-opasnosti. 2018. no 4 (58). S. 40-47. (rus)
8. SHinkarenko S. S., Bartalev S. A., Lupian E. A. Monitoring posledstviia navodneniia v Oren-burgskoi oblasti pri polovod'e na reke Ural v 2024 godu // Monitoring. 2024. T. 21, no 3. S. 339–347.
9. Razrabotka metodologicheskogo printsipa obespecheniia pozharobezopasnosti liudei / A. I. Fomin [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2023. no 4. S. 27–34. (rus)
10. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossiiskoi Federatsii : postanov-lenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 16 sentiabria 2020 g. no 1479 // Kodeks : elektron. fond pra-vovoi i normativ.-tekhn. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (data obrashcheniia: 21.09.2024). (rus)
11. Nemitovskaia D. V. Podverbnyi V. A. Problema proektirovaniia i obespecheniia sokhrannosti vod razdelitel'nykh damb // Nauchnye diskussii v epokhu globalizatsii: materialy XXIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Smolensk, 08 dekabria 2022 goda. – Smolensk: OOO «Poligraf», 2022. S. 318-321. (rus)
12. EMISS Gosudarstvennaia statistika : ofitsial'nyi sait. URL: <https://www.fedstat.ru/> (data obrashcheniia: 06.12.2024).
13. Ministerstvo Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoii oborony, chrezvychainym si-tuatsiiax i likvidatsii posledstviia stikhiinykh bedstviia : ofitsial'nyi sait. URL: <https://mchs.gov.ru/> (data obrashcheniia: 06.12.2024).
14. Etalonnaia informatsionnaia sistema po matematicheskomu upravleniiu bezopasnost'iu liu-dei / E. N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2022. no 4. S. 33–37. (rus)
15. Bezopasnost' promyshlennogo proizvodstva v Rossiiskoi Federatsii i za rubezhom / E. N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2023. no 2. S. 6–11. (rus)

#### Информация об авторах

**Неверов Евгений Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;  
e-mail: [neverov42@mail.ru](mailto:neverov42@mail.ru)

**Бесперстов Дмитрий Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;  
e-mail: [gpnbesperstov@yandex.ru](mailto:gpnbesperstov@yandex.ru)

**Яковлев Иван Владимирович**, аспирант кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;

#### Information about the authors

**Evgeny N. Neverov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo State University, Kemerovo. Russia, 650056 Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47;  
e-mail: [neverov42@mail.ru](mailto:neverov42@mail.ru)

**Dmitry A. Besperstov**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Stroiteley Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian Federation;  
e-mail: [gpnbesperstov@yandex.ru](mailto:gpnbesperstov@yandex.ru)

**Ivan V. Yakovlev**, postgraduate student of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Stroiteley Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian Federation;  
e-mail: [yak0v.iv@yandex.ru](mailto:yak0v.iv@yandex.ru)

e-mail: [yak0v.iv@yandex.ru](mailto:yak0v.iv@yandex.ru)

**Семенов Никита Владимирович**,  
аспирант кафедры техносферной  
безопасности Кемеровского  
государственного университета, Россия,  
650056, г. Кемерово, ул. Бульвар  
Строителей, д. 47;  
e-mail: [nikitecio@mail.ru](mailto:nikitecio@mail.ru)

**Nikita V. Semenov**, postgraduate student  
of the Department of Technosphere Safe-  
ty, Kemerovo State University, Stroiteley  
Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian  
Federation;  
e-mail: [nikitecio@mail.ru](mailto:nikitecio@mail.ru)

УДК 355.58, 614.8

## **О ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ УЩЕРБА И РЕАГИРОВАНИЮ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ПАВОДКООПАСНЫЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Дмитриев Антон Викторович<sup>1</sup>, Тимарин Алексей Николаевич<sup>1</sup>,  
Васильев Александр Александрович<sup>1</sup>, Попов Даниил Андреевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия

<sup>2</sup>Ногинский спасательный центр МЧС России, г. Ногинск, Россия

### **АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена разработке комплекса мер, направленных на минимизацию ущерба от наводнений. Авторы исследуют современные методы планирования и проведения инженерно-технических мероприятий в условиях затопления территорий, обращая внимание на выявленные несоответствия и пробелы в существующей практике. Основываясь на проведенном анализе, авторы ставят перед собой задачу разработки научного подхода, который позволил бы обосновать оптимальный набор и объемы оперативно выполняемых инженерно-технических работ. Эти работы должны быть нацелены на снижение уровня материального риска посредством уменьшения зоны затопления в условиях чрезвычайных ситуаций. При этом учитывается необходимость соблюдения временных, финансовых и материально-ресурсных ограничений. Предложенный подход направлен на повышение эффективности как оперативного реагирования, так и превентивных инженерных мероприятий при наводнениях. Это должно привести к значительному снижению материального ущерба и повышению уровня безопасности населения и территорий. Результаты исследования будут полезны широкому кругу специалистов, включая экспертов в области безопасности жизнедеятельности, прогнозирования чрезвычайных ситуаций, инженеров, экологов и географов. Кроме того, работа окажется востребованной среди представителей исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации, а также лиц, отвечающих за разработку и внедрение мер по предотвращению и ликвидации последствий наводнений.

**Ключевые слова:** паводки, оптимизационная задача, ущерб, зоны затопления

## **ON THE PROBLEMATIC SITUATION OF PLANNING MEASURES TO REDUCE DAMAGE AND RESPOND TO EMERGENCIES DURING THE FLOOD-PRONE PERIOD IN THE TERRITORY OF THE SUBJECT OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**Anton V. Dmitriev<sup>1</sup>, Aleksey N. Timarin<sup>1</sup>, Alexander A. Vasilev<sup>1</sup>, Daniil A. Popov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

<sup>2</sup> Noginsk Rescue Center, Noginsk, Russian Federation

**ABSTRACT**

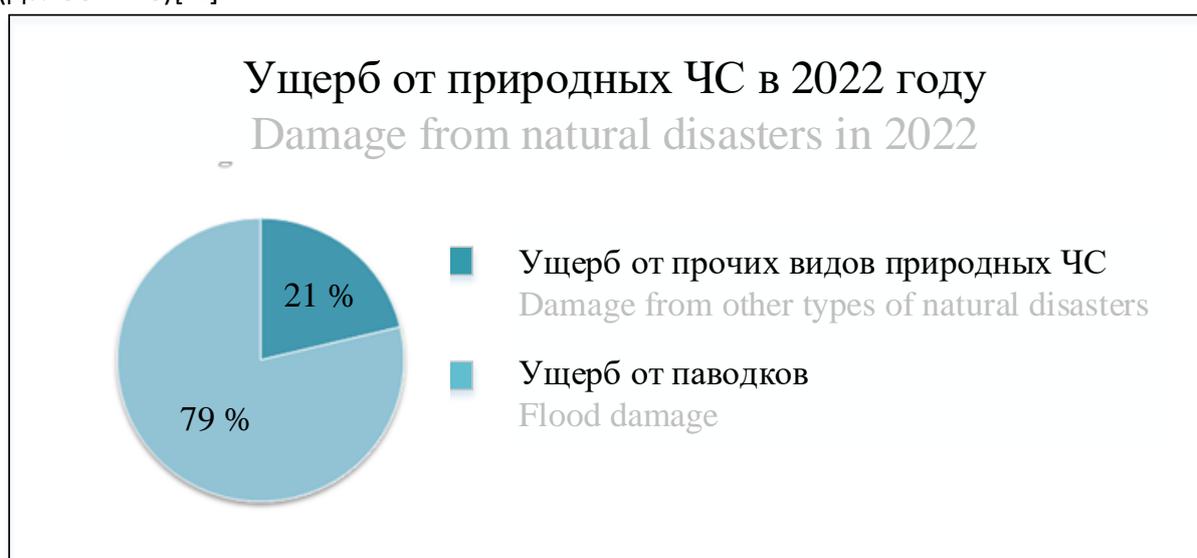
The article is devoted to the development of a set of measures aimed at minimizing flood damage. The authors explore modern methods of planning and carrying out engineering and technical measures in conditions of flooding territories, paying attention to the identified inconsistencies and gaps in existing practice. Based on the analysis conducted, the authors set themselves the task of developing a scientific approach that would allow substantiating the optimal set and volume of promptly performed engineering and technical work. This work should be aimed at reducing the level of material risk by reducing the flood zone in emergency situations. At the same time, the need to comply with time, financial and material resource constraints is taken into account. The proposed approach is aimed at improving the effectiveness of both rapid response and preventive engineering measures in case of floods. This should lead to a significant reduction in material damage and an increase in the level of safety of the population and territories. The research results will be useful to a wide range of specialists, including experts in the field of life safety, emergency forecasting, engineers, environmentalists and geographers. In addition, the work will be in demand among representatives of the executive bodies of state power of the subjects of the Russian Federation, as well as those responsible for the development and implementation of measures to prevent and eliminate the consequences of floods.

**Keywords:** floods, optimization task, damage, flood zones

**Введение**

Одной из целей обеспечения государственной и общественной безопасности является защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (далее – ЧС)[ 1].

Одним из разрушительных природных явлений являются паводки [2]. В 2022 г. общий ущерб от природных ЧС составил 7 125 900 тыс. руб. В то же время ущерб от паводков составил 5 610 955 тыс. руб. (рис. 1).



**Рис. 1.** Ущерб от природных ЧС в 2022 г.

**Fig. 1.** Damage from natural disasters in 2022

В то же время для их предотвращения осуществляется деятельность по подготовке и сопровождению паводкоопасного периода, направленная на уменьшение негативных последствий наводнений (затоплений). Она может быть классифицирована на две основные группы:

- превентивные мероприятия;
- оперативные мероприятия [3].

Основные усилия сосредоточены на вопросах мониторинга и прогнозирования паводковой обстановки [4], в то время, как вопросы оперативного реагирования остаются как правило, не затронутыми.

В то же время между проводимыми мероприятиями (как по группе превентивных, так и по группе оперативных мероприятий) и задачами прогноза должна обеспечиваться тесная взаимосвязь. В частности, в работах [5–7] подчеркивается, что оперативно представляемый прогноз, обладающий достаточной достоверностью, позволит заблаговременно спланировать мероприятия по защите населения и территории от опасностей, вызванных половодьем.

Мероприятия должны планироваться и проводиться с учетом отметок неблагоприятных и опасных явлений, устанавливаемых в соответствии с данными многолетних наблюдений и ожидаемым ущербом при достижении заданных отметок. Соответственно, задача защиты населения и территорий от паводков может быть решена только в случае известного времени для проведения превентивных и оперативных мероприятий, точных характеристик сил группировки, созданной для решения задач борьбы с паводками [8–9].

Существующая система мероприятий по минимизации ущерба от паводков построена на выполнении превентивных мероприятий как наиболее эффективных с точки зрения затрат ресурсов [10]. Данные

мероприятия позволяют избежать последствий для населения, предприятий и окружающей среды.

Следует выделить наиболее эффективные оперативные мероприятия, проводимые с целью минимизации зон затопления и ущерба:

- сооружение ограждающих валов и дамб;
- искусственное поднятие территорий;
- оборудование водоотводных канав, расчистка существующих водоотводных сооружений и увеличение их пропускной способности;
- очистка дренажных водоотводных труб и водостоков;
- эвакуация населения, сельскохозяйственных животных, материальных и культурных ценностей из зон затопления [11–13].

### Основная часть

Однако эффективность их проведения зависит от оперативности прогноза по прохождению паводковых вод на участках зон затопления, а также от объемов ресурсов, сил и средств для реализации мероприятий защиты.

В качестве показателя эффективности в рассматриваемом случае необходимо понимать долю предотвращенного материального ущерба на участках зон затопления.

В настоящее время задача по оценке зон затопления решается с помощью геоинформационных систем (далее – ГИС). Подобная ГИС существует в МЧС России: система «Атлас опасностей и рисков» позволяет решать задачи по расчету зон затопления исходя из различных факторов окружающей среды [14]. Также есть возможность использовать данные дистанционного зондирования земли для создания ортофотопланов и принятия решения по защите населения в условиях затопления. Все указанные инструменты

позволяют построить прогноз по прохождению паводковых вод и осуществить планирование мероприятий в зависимости от степени затопления. Однако события весны 2024 г. в городе Орск Оренбургской области показали, что система превентивных мероприятий позволяет предотвратить последствия только в случае возникновения паводков, но не спасает при разрушениях плотин, дамб и других защитных сооружений.

Проведенный анализ позволил выявить проблемную ситуацию, заключающуюся в том, что, несмотря на выделение финансовых ресурсов для проведения превентивных мероприятий по предотвращению паводков, существенного снижения материального ущерба от затоплений достичь не удастся. Таким образом, существует необходимость выстраивания системы проведения превентивных и оперативных мероприятий с целью минимизации зон затопления в случае наступления чрезвычайной ситуации. Необходимость разрешения данной проблемной ситуации определяет прикладную актуальность данной научной статьи.

В качестве путей решения данной проблемы можно рассмотреть:

- изменение подхода к проведению превентивных и оперативных мероприятий;

- создание резервов материальных средств для проведения оперативных мероприятий по уменьшению зон затопления.

Второе направление сопряжено с необходимостью выделения материальных и финансовых ресурсов.

В качестве наиболее перспективного направления, позволяющего уменьшить зоны затопления и ущерб, целесообразно рассмотреть возможность создания и применения расчетных задач для определения возможности осуществления оперативных мероприятий исходя из возможности и целесообразности их приме-

нения на подвергающихся затоплениям участках.

Таким образом, можно сделать вывод о наличии следующего противоречия в практике минимизации ущерба и зон затопления:

- с одной стороны, реализация предложенных направлений решения выявленной проблемной ситуации позволит повысить эффективность выполняемых мероприятий по минимизации материального ущерба;

- с другой стороны, предлагаемые направления решения проблемной ситуации сопряжены со значительными временными и материально-ресурсными затратами.

Разрешение указанного противоречия возможно за счет обоснования и проведения оперативных мероприятий, направленных на уменьшение материального ущерба за счет минимизации зон затопления с учетом материально-ресурсных и временных ограничений, выделяемых для осуществления данных мероприятий.

Факторами, оказывающими влияние на выполнение задач минимизации ущерба, являются:

- ограниченное время на решение задач минимизации ущерба;

- характеристики и расположение материалов для выполнения работ;

- обстановка, складывающаяся в ходе развития чрезвычайной ситуации;

- наличие и состояние дорожной сети, которая может быть использована при проведении эвакуации или подвозе материальных средств;

- наличие необходимых сил и средств для выполнения задач;

- материально-ресурсные ограничения.

### **Выводы**

В контексте изложенного становится актуальной научная задача, которая за-

ключается в разработке научно-методического аппарата обоснования рационального перечня оперативных инженерно-технических мероприятий, направленных на уменьшение материального ущерба за счет минимизации зон затопления с учетом складывающейся в условиях чрезвычайной ситуации обстановки, а также материально-ресурсных и временных затрат, выделяемых на выполнение задач.

Для решения сформулированной научной задачи необходимо:

– провести анализ известных научно-методических подходов в области оценки факторов и условий, влияющих на выбор рационального варианта выполнения мероприятий для уменьшения ущерба на затопляемом участке;

– осуществить разработку модели оценки эффективности мероприятий для минимизации ущерба при затоплениях;

– разработать методику обоснования рационального перечня оперативно проводимых инженерно-технических мероприятий с учетом их приоритетности и последовательности;

– разработать рекомендации по повышению эффективности мероприятий для минимизации ущерба при затоплениях за счет обоснования рационального перечня оперативных инженерно-технических мероприятий.

Решение указанных задач позволит обеспечить уменьшение материального ущерба за счет обоснования рациональных оперативных инженерно-технических мероприятий.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по организации подготовки и сопровождения паводкоопасного периода на территории субъекта Российской Федерации (утв. МЧС России 9 марта 2023 г. № 2-4-48-3-9) // ГАРАНТ.РУ : информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/407113718/?ysclid=%20lwb0qnvrcr74535243> (дата обращения: 10.10.2024).
2. 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: 25.10.2024).
3. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / В. В. Разумов [и др.]. Москва : ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2018. 364 с.
4. Добровольский С. Г., Истомина М. Н. К разработке концепции «управления ущербами» от наводнений в Российской Федерации // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2016. Т. 6, № 1 (10). С. 30–36.
5. О модели прогнозирования подъема уровня паводковых вод, вызванных весенним половодьем, на основе анализа больших данных / А. В. Рыбаков [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 48–57.
6. Ткаченко П. Н., Вакорин М. В. Методика оценки вклада заблаговременных противопаводковых мероприятий в снижение ущерба от чрезвычайных ситуаций, связанных с наводнениями // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 58–63.
7. Ткаченко Ю. А., Ткаченко П. Н., Полевой Е. В. Инженерная защита объектов транспортной инфраструктуры от наводнений // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 22–23 мая 2024 г. Екатеринбург : УрГУПС, 2024. С. 347–349.
8. Ткаченко П. Н., Ткаченко Ю. А., Полевой Е. В. Подход к обоснованию мероприятий по предупреждению ледовых заторов // Технологии гражданской безопасности. 2024. Т. 21, № 3 (81). С. 26–35.
9. Ткаченко Ю. А., Ткаченко П. Н., Иванов Е. В. О подходе к решению задачи снижения вероятности возникновения заторов на участке реки // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21, № 1. С. 56–64.
10. Григоренко П. А., Ткаченко П. Н. Предупредительные мероприятия по обеспечению безопасности людей на водных объектах // Совершенствование Единой государственной системы предупреждения

дения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны Российской Федерации на современном этапе : сб. тр. XXX Междунар. науч.-практ. конф., Химки, 19 марта 2020 г. Химки : Академия гражданской защиты МЧС России, 2020. С. 40–44.

11. Особенности организации защиты населения и территории в период прохождения весеннего половодья в Томской области / П. Н. Ткаченко [и др.] // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 1 (5). С. 571–576.

12. Буянов Д. И., Федотов Р. С., Ткаченко П. Н. Прогнозирование подъема уровня воды на реке Обь в Томской области на основе регрессионного анализа // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. № 2 (25). С. 112–118.

13. Юркин М. А. Информационные системы МЧС России // Гражданская защита. 2019. № 3 (523). С. 38–39.

### References

1. Methodological recommendations on the organization of preparation and maintenance of the flood-prone period on the territory of the subject of the Russian Federation (approved by the Ministry of Emergency Situations of Russia on March 9, 2023 No. 2-4-48-3-9). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/407113718/?ysclid=lwb0qnvrcr74535243> (date of request: 10.10.2024) (rus).

2. State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2022» URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god> (date of reference: 10/25/2024). (rus).

3. Razumov V.V., Kachanov S.A., Razumova N.V. [et al.]. The scale and danger floods in the regions of Russia. Moscow, VNII GOChS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018; 364. (rus).

4. Dobrovolsky S.G., Istomina M.N. On the development of the concept of "damage management" from floods in the Russian Federation // Civil protection strategy: problems and research. 2016; 6.1(10): 30–36. (rus).

5. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Tedurieva A.N., Usacheva T.V. On a model for predicting the rise of flood waters caused by spring flooding, based on big data analysis // Modern problems of civil protection. 2022; 4(45): 48–57. (rus).

6. Tkachenko, P. N., Vakorin M. V. Methodology for assessing the contribution of early flood control measures to reducing damage from emergency situations related to floods // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2020; 4(19): 58–63. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.32.60.009. (rus).

7. Tkachenko Yu. A., Tkachenko P. N., Polevoy E. V. Engineering protection of transport infrastructure facilities from floods // Research and development of rail and road transport : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Engineering, 2024; 347–349. (rus).

8. Tkachenko P. N., Tkachenko Yu. A., Polevoy E. V. An approach to substantiating measures to prevent ice jams // Technologies of civil safety. 2024; 3(81): 26–35. (rus).

9. Tkachenko Yu. A., Tkachenko P. N., Ivanov E. V. On the approach to solving the problem of reducing the likelihood of congestion on the river section // Problems of risk analysis. 2024; 22(1): 56–64. (rus).

10. Grigorenko P. A., Tkachenko P. N. Preventive measures to ensure the safety of people on water bodies // Improving the Unified State System of Emergency Prevention and Response and Civil Defense of the Russian Federation at the present stage : Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference. Khimki, Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020; 40–44. (rus).

11. Tkachenko P. N. et al. Features of the organization of protection of the population and territory during the passage of the spring flood in the Tomsk region // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. 2020; 1(5): 571–576. (rus).

12. Buyanov D. I. et al. Forecasting of water level rise on the Ob River in the Tomsk region based on regression analysis // Scientific and educational problems of civil protection. 2015; 2(25): 112–118. (rus).

13. Yurkin M. A. Information systems of the Ministry of Emergency Situations of Russia // Civil protection. 2019; 3(523): 38–39. (rus).

**Информация об авторах**

**Дмитриев Антон Викторович**, научный сотрудник научно-исследовательского отдела, АГЗ МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID: 1100158; e-mail: [a.dmitriev@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.dmitriev@agz.50.mchs.gov.ru)

**Тимарин Алексей Николаевич**, преподаватель кафедры (оперативного управления мероприятиями РСЧС и ГО), АГЗ МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID: 1111605; e-mail: [a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru)

**Васильев Александр Александрович**, слушатель факультета (руководящего состава), АГЗ МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; e-mail: [a.vasilev@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.vasilev@agz.50.mchs.gov.ru)

**Попов Даниил Андреевич**, старший помощник начальника службы артиллерийского вооружения, Ногинский ЦС МЧС России, Россия, 142402, Московская область, город Ногинск, ул. Чапаева; РИНЦ ID: 1207898; e-mail: [d.popov@nsc.50.mchs.gov.ru](mailto:d.popov@nsc.50.mchs.gov.ru)

**Information about the authors**

**Anton V. Dmitriev**, Researcher at the Research Department, Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Sokokovskaya, 1A, Khimki, 141435 Russian Federation; ID RISC: 1100158; e-mail: [a.dmitriev@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.dmitriev@agz.50.mchs.gov.ru)

**Aleksey N. Timarin**, Lecturer of the Department (Operational Management of Emergency Situations and Civil Defense), Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Sokokovskaya, 1A, Khimki, 141435 Russian Federation; ID RISC: 1111605; e-mail: [a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.timarin@agz.50.mchs.gov.ru)

**Alexander A. Vasilev**, student of the Faculty (senior staff), Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia, Sokokovskaya, 1A, Khimki, 141435 Russian Federation; e-mail: [a.vasilev@agz.50.mchs.gov.ru](mailto:a.vasilev@agz.50.mchs.gov.ru)

**Daniil A. Popov**, Senior assistant to the head of the artillery armament service, Noginsk Rescue Center of EMERCOM of Russia, Chapaeva St., Noginsk, 142402, Russian Federation; ID RISC: 1207898; e-mail: [d.popov@nsc.50.mchs.gov.ru](mailto:d.popov@nsc.50.mchs.gov.ru)