
ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 614.845.1; DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-146-160

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОГNETУШИТЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

✉ Естехин Виталий Геннадьевич.

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

✉ estekhin@inbox.ru

Аннотация. Целью настоящего исследования является разработка научно обоснованной методики оснащения судов порошковыми огнетушителями, учитывающей мощность тепловыделения при пожаре, время доставки огнетушителя и его мощность теплопоглощения. В работе использован комплексный подход, включающий анализ действующих нормативных документов, натурные эксперименты по определению скорости движения людей с огнетушителями различных типоразмеров, имитационное моделирование в программе Pathfinder для расчета времени доставки, численное моделирование динамики пожара в программном комплексе PyroSim для определения мощности тепловыделения в судовых помещениях с учетом реальной пожарной нагрузки, а также аналитический расчет мощности теплопоглощения огнетушителей по стандартным методикам. Предложенная методика может быть использована при проектировании систем противопожарной защиты на строящихся и эксплуатируемых судах морского и речного флота, а также на объектах транспортной инфраструктуры. Результаты работы могут служить научно-техническим обоснованием для внесения изменений в действующие нормативные документы в области пожарной безопасности. Научной новизной работы является переход от статического нормативного подхода (основанного только на площади и функциональном назначении помещения) к динамической физико-математической модели, учитывающей реальную пожарную нагрузку, эргономические характеристики человека с огнетушителем и теплофизические параметры средств тушения. Реализация предложенной методики позволяет повысить вероятность успешной ликвидации пожара на начальной стадии силами экипажа, обоснованно оптимизировать расстановку первичных средств пожаротушения и снизить угрозу для жизни людей и окружающей среды.

Ключевые слова: скорость доставки огнетушителей, моделирование движения людских потоков с отягощением, методика оснащения судов огнетушителями, мощность тепловыделения, мощность теплопоглощения

Для цитирования: Естехин В.Г. Методика применения огнетушителей на объектах водного транспорта // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2026. № 2. С. 146–160. DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-146-160

Scientific article

METHODOLOGY FOR THE APPLICATION OF FIRE EXTINGUISHERS AT WATER TRANSPORT FACILITIES

✉ Estekhin Vitalii G.

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

✉ estekhin@inbox.ru

Abstract. The purpose of this study is to develop a scientifically based methodology for equipping ships with dry powder fire extinguishers, taking into account the heat release rate during a fire, the extinguisher delivery time, and its heat absorption capacity. The work employs a comprehensive approach including the analysis of current regulations, full-scale experiments to determine the speed of people carrying fire extinguishers of various sizes, simulation modeling in Pathfinder software to calculate delivery time, numerical fire dynamics modeling in the PyroSim software package to determine the heat release rate in ship compartments considering actual fire loads, as well as analytical calculation of the heat absorption capacity of fire extinguishers using standard methods. The scientific novelty of this work lies in the transition from a static regulatory approach (based solely on room area and functional purpose) to a dynamic physico-mathematical model that considers the actual fire load, ergonomic characteristics of a person carrying an extinguisher, and the thermophysical parameters of extinguishing agents. Implementation of the proposed methodology increases the probability of successful fire suppression at an early stage by the crew, allows reasonable optimization of the placement of primary fire extinguishing equipment, and reduces risks to human life and the environment.

Keywords: fire extinguisher delivery speed, evacuation simulation, crowd dynamics with encumbrance, methodology for equipping ships with fire extinguishers, heat release rate, heat absorption capacity

For citation: Estekhin V.G. Methodology for the application of fire extinguishers at water transport facilities // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2026. № 2. P. 146–160. DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-146-160

Введение

Пожары на судах морского и речного флота характеризуются высокой динамикой развития, особенно если судно находится в автономном плавании (открытом море). Осложняющим фактором в данном случае является отсутствие возможности привлечения дополнительных сил и средств для ликвидации пожара, соответственно, основная тяжесть борьбы с огнем возлагается только на силы экипажа судна. Помимо риска уничтожения судна возникает угроза жизни и здоровья членов экипажа (пассажиров), а также масштабного экологического ущерба для акваторий, соответственно, ликвидация пожара на начальной стадии развития с использованием первичных средств пожаротушения (ПСП) является актуальной и приоритетной задачей.

К настоящему времени в этом направлении был проведен ряд исследований. В работе [1] представлен анализ статистических данных, свидетельствующий о низкой эффективности существующих судовых средств пожаротушения, в том числе первичных (огнетушителей). Одной из ключевых причин низкой эффективности применения ПСП на водном транспорте является несовершенство действующего методического аппарата оснащения объектов защиты огнетушителями [2]. Действующие нормативные документы¹ [3–5] регламентируют расстановку огнетушителей, исходя из следующих параметров:

¹ Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утв. Постановлением Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

- площадь защищаемого помещения;
- функциональное назначение помещения;
- категория по взрывопожарной опасности.

Данный подход оснащения судов огнетушителями не учитывает мощность тепловыделения (МТВ) из зоны горения, исходя из удельной пожарной нагрузки судового помещения. Экспериментально подтверждено, что на начальной стадии развития пожара рост МТВ, вплоть до определенного времени, не зависит от площади помещения и его функционального назначения. Отсюда следует, что требования оснащать объекты защиты огнетушителями, исходя только из площади помещения и его функционального назначения, является недостаточным – при оснащении объектов защиты огнетушителями необходимо учитывать МТВ. В работе автором предлагается принципиально иной подход параметризации огнетушителей, в основе которого лежит мощность теплопоглощения (МТП) огнетушащего вещества огнетушителя из зоны горения. В целях повышения эффективности применения ПСП на судах необходим иной критерий оснащения судов огнетушителями, который будет классифицировать помещения объекта защиты, исходя из теплофизических характеристик пожарной нагрузки и огнетушащего вещества, то есть по МТВ и МТП [6–8]. Расстановка огнетушителей на объекте защиты является также одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность применения ПСП, поскольку скорость их доставки к очагу пожара будет оказывать влияние на время свободного развития пожара.

В научных исследованиях [9, 10] опубликованы экспериментальные данные натурных испытаний по определению скорости движения людей с огнетушителями различных типоразмеров. Для каждого типоразмера огнетушителя были определены поправочные коэффициенты, учитывающие влияние массы и габаритов огнетушителя на скорость движения человека. Полученные расчетно-экспериментальные значения и коэффициенты были апробированы в программном продукте Pathfinder² [11].

В настоящем исследовании для обоснования методики оснащения судов ПСП применяются порошковые огнетушители, основными преимуществами которых являются:

- универсальность, которая заключается в возможности ликвидации пожаров класса «А, В, С, D, Е»³⁴⁵ (на судне одновременно присутствуют все типы горючих материалов: отделка кают (А), топливо в машинно-котельном отделении (В), газотурбинные установки (С), электрощитовые и оборудование (Е);
- высокая эффективность тушения, так как основными механизмами прекращения горения порошковыми составами являются ингибирование и охлаждение зоны горения между частицами порошка во фронте струи [8, 9], огнетушащий эффект порошкового огнетушителя превышает эффект охлаждения и разбавления двуокисью углерода, а также воды;
- работоспособность в широком температурном диапазоне (до -40 °С), что актуально для судов, работающих в арктических широтах или в зимний период времени;
- длительный срок службы, простота обслуживания и относительно низкая стоимость.

Разрабатываемая методика оснащения судов порошковыми огнетушителями предполагает комплексный учет мощности тепловыделения при пожаре, времени доставки огнетушителя и его мощности теплопоглощения.

² Программа Pathfinder – расчет времени эвакуации людей

³ ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

⁴ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

⁵ Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утв. Постановлением Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

Основная часть

Эффективность применения огнетушителей при тушении определяется двумя ключевыми параметрами: временем доставки огнетушителя к очагу пожара и его МТП огнетушащего вещества. Время доставки огнетушителя оказывает влияние на развитие пожара (МТВ) и зависит от места расположения ПСП относительно объекта защиты, а также от типоразмера (массы) и эргономических характеристик огнетушителя [12].

Время $\tau_{\text{общ}}$ зависит от времени движения агента до места расположения огнетушителя и его обратного пути к очагу пожара с учетом типоразмера (массы) огнетушителя [11]:

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{бн}} + \tau_{\text{псп}}, \quad (1)$$

где: $\tau_{\text{общ}}$ – общее время доставки огнетушителя при обнаружении агентом возгорания по внешним признакам, с; $\tau_{\text{бн}}$ – время движения агента до огнетушителя, с; $\tau_{\text{псп}}$ – время движения агента с огнетушителем до очага горения, с.

Для решения задачи по определению времени доставки огнетушителей на судне было проведено имитационное моделирование в программном продукте Pathfinder, который учитывает конструктивные особенности объекта, включая преодоление дверных проемов с огнетушителем. В работе [11] опубликованы численные параметры скорости движения агента с огнетушителем для каждого этапа и типоразмера (табл. 1).

Таблица 1

Параметры движения агента при моделировании

Номер этапа	Описание этапа	Скорость движения агента, м/с (типоразмер огнетушителя)
1	Движение агента из помещения, где находится очаг пожара, до помещения, где расположен огнетушитель (движение без отягощения)	1,67
2	Подъем огнетушителя из подставки и движение до двери помещения	1,44 (ОП-5) 1,54 (ОП-6) 1,43 (ОП-8) 1,41 (ОП-10)
3	Преодоление дверного проема от себя	0,34 (ОП-5) 0,36 (ОП-6) 0,34 (ОП-8) 0,33 (ОП-10)
4	Движение по горизонтальной поверхности.	1,61 (ОП-5) 1,71 (ОП-6) 1,59 (ОП-8) 1,57 (ОП-10)
5	Преодоление дверного проема на себя	0,29 (ОП-5) 0,31 (ОП-6) 0,29 (ОП-8) 0,27 (ОП-10)
6	Движение от дверного проема до условного очага пожара	1,62 (ОП-5) 1,72 (ОП-6) 1,60 (ОП-8) 1,58 (ОП-10)
Примечание: экспериментально установлено [10, 11], что типоразмеры огнетушителей (ОП 1–4) не оказывают влияние на скорость движения агента, следовательно, скорость движения с огнетушителями данных типоразмеров принимается 1,67 м/с		

Исходными данными для моделирования послужили технические характеристики и объемно-планировочные решения судов, предоставленные отечественными судостроительными заводами по запросам автора. В системе автоматизированного проектирования были построены модели судовых палуб пассажирского судна (рис. 1).

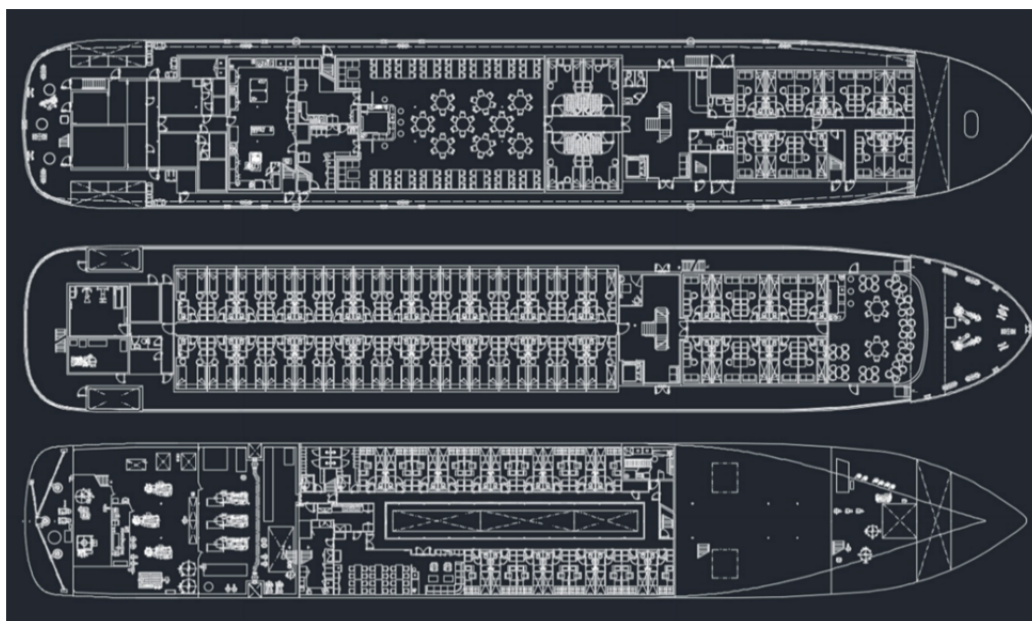


Рис. 1. Планировка судна, где проводилось моделирование

Все геометрические размеры судовых помещений на модельных палубах были строго соблюдены с учетом расположения мебели и интерьера, которые оказывали влияние на время движения агента. На рис. 2 представлена модель верхней палубы пассажирского теплохода (с заданными параметрами скорости движения агента), где проводилось моделирование по определению времени доставки огнетушителей.

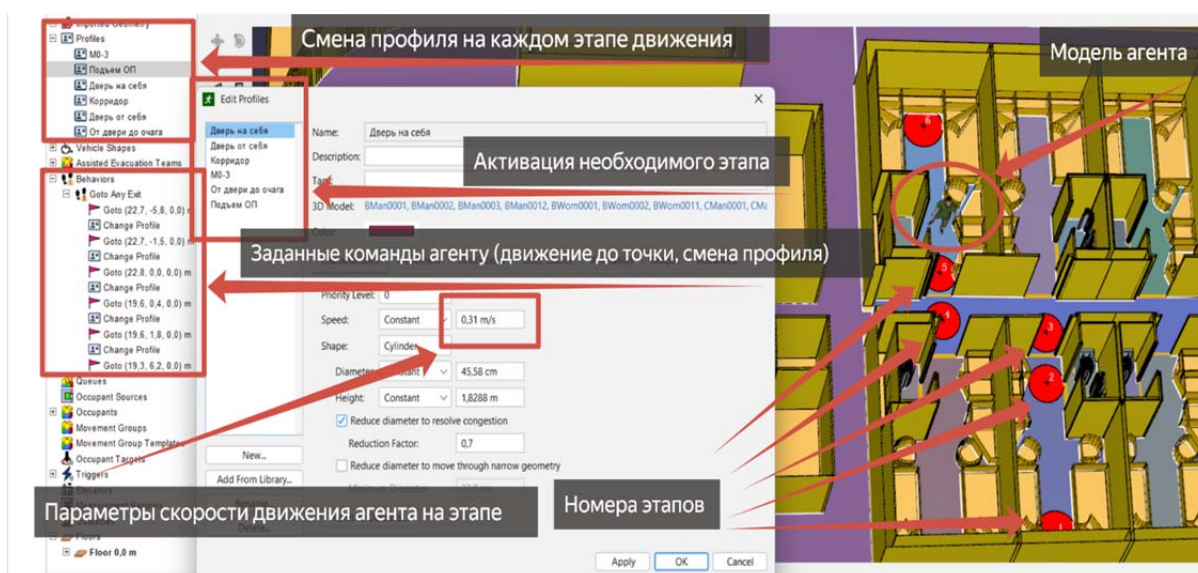


Рис. 1. Параметры скорости движения агента в Pathfinder

МТВ ($W_{ТВ}$) из зоны горения определяется пожарной нагрузкой конкретного помещения, а также временем свободного развития пожара ($\tau_{общ}$) до начала действия огнетушащего вещества.

Для определения МТВ судовых помещений был направлен запрос на отечественные судостроительные заводы о предоставлении характеристик и сведений о пожарной нагрузке (тип, масса применяемых материалов на судне). На основании данных, представленных судостроительными заводами, исходя из массы и процентного соотношения горючих материалов, была получена расчетная пожарная нагрузка и реакции горения с выделением газовых продуктов разложения и потребления кислорода для каждого судового помещения (табл. 2), которые были применены в качестве входных данных для каждого очага пожара в программном продукте Pyrosim⁶.

Таблица 2

Расчетные значения параметров реакций (входные данные)

Помещение судна	Данные для PyroSim									
	Молярная масса, г/моль	Низшая теплота сгорания, Дж/кг	Потребление O ₂ , %	Выделение CO ₂ , %	Выделение CO, %	Выделение C, %	Выделение HCl, %	Выделение N ₂ , %	Выделение H ₂ O, %	Линейная скорость распространения пламени, м/с
Каюта № 416	92,95	16,52	3,23	2,04	0,48	0,20	0,00	12,14	5,05	0,012
Гостиная № 401	93,42	17,07	3,24	1,87	0,52	0,21	0,00	12,15	5,41	
Каюта № 301	93,22	16,88	3,24	1,95	0,50	0,21	0,00	12,18	5,26	
SPA-центр	92,24	18,07	3,40	1,78	0,52	0,20	0,00	12,75	5,89	
Каюта № 228	93,08	16,59	3,24	2,05	0,48	0,20	0,00	12,18	5,05	
Ресторан	92,45	17,89	3,40	1,86	0,52	0,20	0,00	12,74	5,70	0,012
Рулевая рубка	90,13	17,06	2,83	1,61	0,62	0,25	0,04	10,64	5,17	
Сигарная	92,57	17,84	3,37	1,81	0,52	0,20	0,00	12,64	5,75	

⁶ Программа Pyrosim – полевая модель пожара

На основании представленных данных была произведена оценка величины МТВ с использованием апробированного программного обеспечения, применяемого для численного моделирования газодинамических процессов (ANSYS, OpenFOAM, FDS, ЛОГОС Тепло). В рамках исследования численное моделирование развития пожара и динамики его опасных факторов на судне было реализовано в PyroSim (FDS), предназначенном для моделирования пожара методом конечных объемов (рис. 3). В научных работах [12–18] авторами моделировались пожары на судах в помещениях различного функционального назначения, но в данных исследованиях применялись лишь справочные данные пожарной нагрузки.

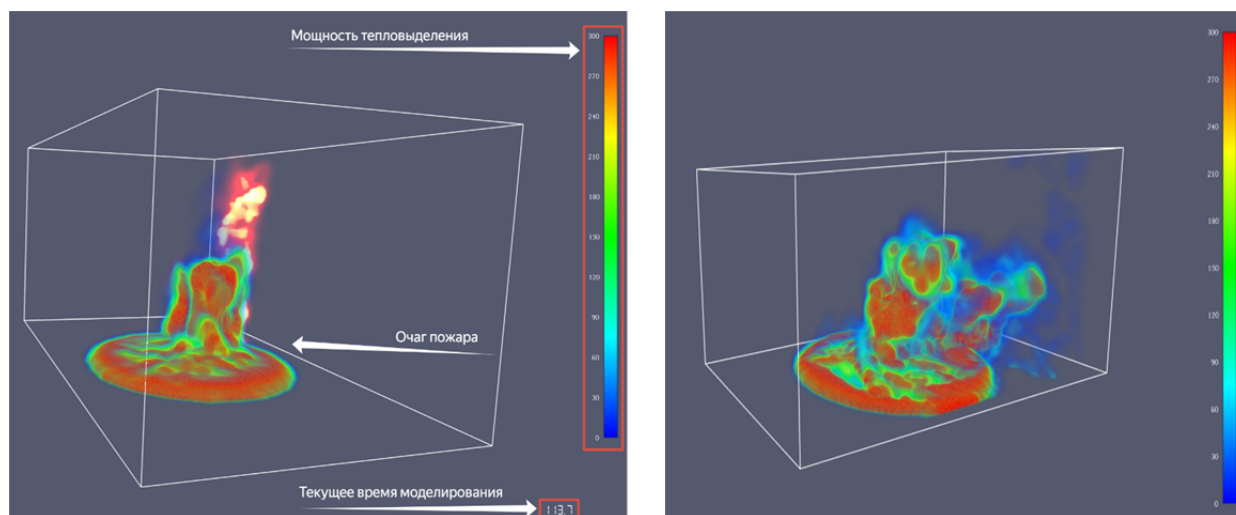


Рис. 2. Визуализация динамики МТВ в программе Smokeview

По замыслу моделирования пожар возник в результате короткого замыкания электрической проводки в одной из судовых кают верхней палубы, где находился член экипажа (агент). Задача агента заключалась в доставке огнетушителей в горящую каюту для ликвидации возгорания. Важным условием являлось, чтобы МТП огнетушителя на момент его доставки в горящее помещение превышала МТВ из зоны горения, поскольку это является одним из ключевых факторов для успешной ликвидации возгорания.

$$W_{\text{ТВ}}(\tau) < W_{\text{ТП}}, \quad (2)$$

где: $W_{\text{ТВ}}(\tau)$ – МТВ из зоны горения на момент доставки огнетушителя, кДж/с; $W_{\text{ТП}}$ – МТП фронта порошковой струи, кДж/с.

По результатам моделирования для представленной пожарной нагрузки в программном продукте Pyrosim были построены диаграммы изменения МТВ во времени (рис. 4).

В настоящей парадигме оценки эффективности огнетушителей МТП ($W_{\text{ТП}}$) возможно определить по МТВ ($W_{\text{ТВ}}$) из модельного очага пожара (заданного ранга), горение в котором ликвидирует данный типоразмер огнетушителя⁷:

$$q_{\text{оп}} = Q \cdot \omega \cdot S, \quad (3)$$

где: $q_{\text{оп}}$ – мощность теплопоглощения i -го типоразмера огнетушителя, кДж/с; Q – низшая теплота сгорания штабеля древесины, кДж/кг [19]; ω – удельная скорость выгорания, кг/м²с [19]; S – площадь поверхности модельного очага пожара⁷, м².

⁷ ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

Исходя из вышеизложенного, следует, что для успешной ликвидации возгорания необходимо выполнение условия, согласно формуле (2), то есть отбор тепла в единицу времени должен превышать выделение тепла из зоны горения.

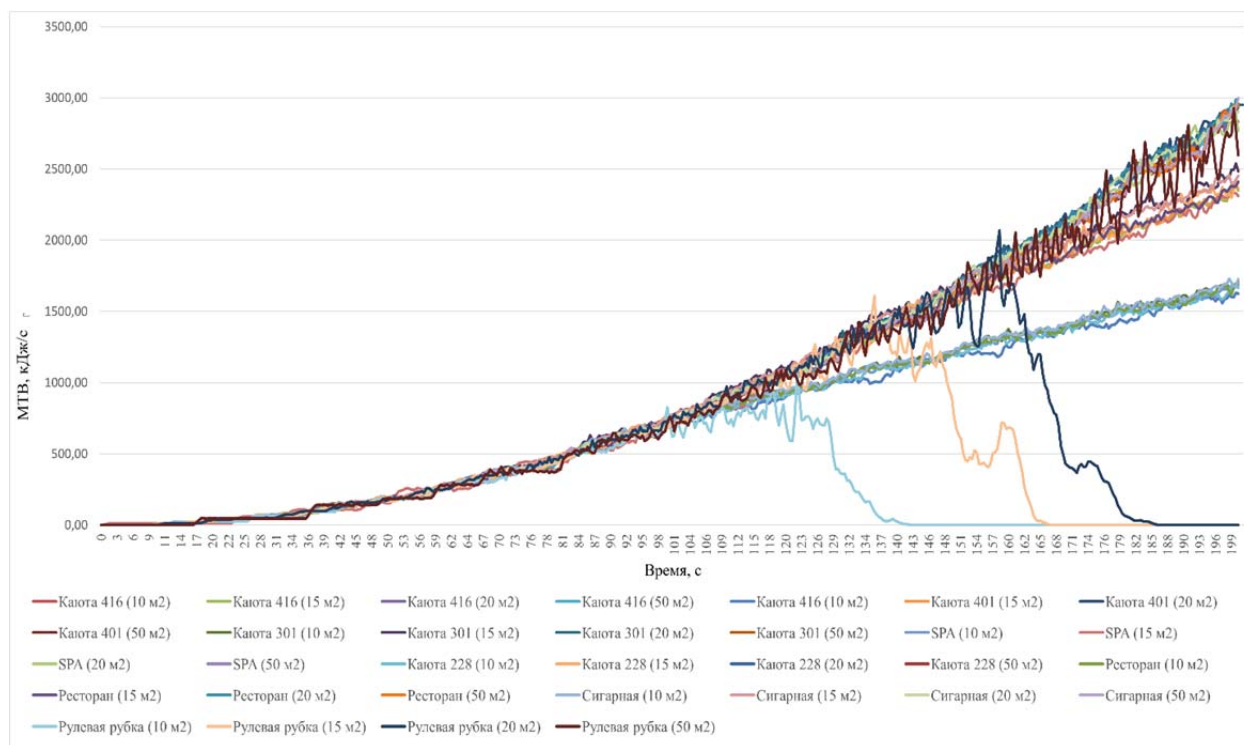


Рис. 3. Диаграмма МТВ помещений,
где применялись расчетные значения реакций горения

Таблица 3

Расчетная МТП огнетушителей

№ п/п	Типоразмер огнетушителя	Модельный очаг пожара класса «А»			Время действия огнетушителя, с
		Ранг	Площадь поверхности (S), м ²	МТП (q _{оп}), кДж/с	
1	ОП-1	0,5	2,37	474,23	6
2	ОП-2	0,7	3,55	710,35	6
3	ОП-3	1	4,70	940,47	8
4	ОП-4	2	9,36	1872,94	10
5	ОП-5				
6	ОП-6	3	13,89	2779,39	12
7	ОП-7				
8	ОП-8	4	18,66	3733,87	15
9	ОП-9				
10	ОП-10				

В табл. 3 представлена расчетная МТП (q_{оп}) переносных огнетушителей всех типоразмеров. Расчет МТП (q_{оп}) выполнен по формуле (3) для модельного очага пожара класса «А». Следует отметить, что некоторые типоразмеры (ОП-4/5, ОП-6/7, а также ОП-8/9/10) имеют одинаковые значения МТП, ранга, площади МОП и времени действия

огнетушителя (табл. 3). Это объясняется тем, что действующие нормативные документы⁸ предписывают для них единые требования к эффективности тушения МОП. Таким образом, с точки зрения теплофизической эффективности в рамках данной методики они являются эквивалентными, но не с точки зрения времени доставки, поскольку $\tau_{\text{общ}}$ для данных типоразмеров сильно варьируется, что доказывают экспериментальные данные времени доставки ПСП, представленные в [9–11].

Анализ экспериментальных данных численного моделирования (рис. 4) позволил установить интервал времени, до которого применение огнетушителя окажется эффективным, исходя из МТВ из зоны горения и расчетной МТП (табл. 3).

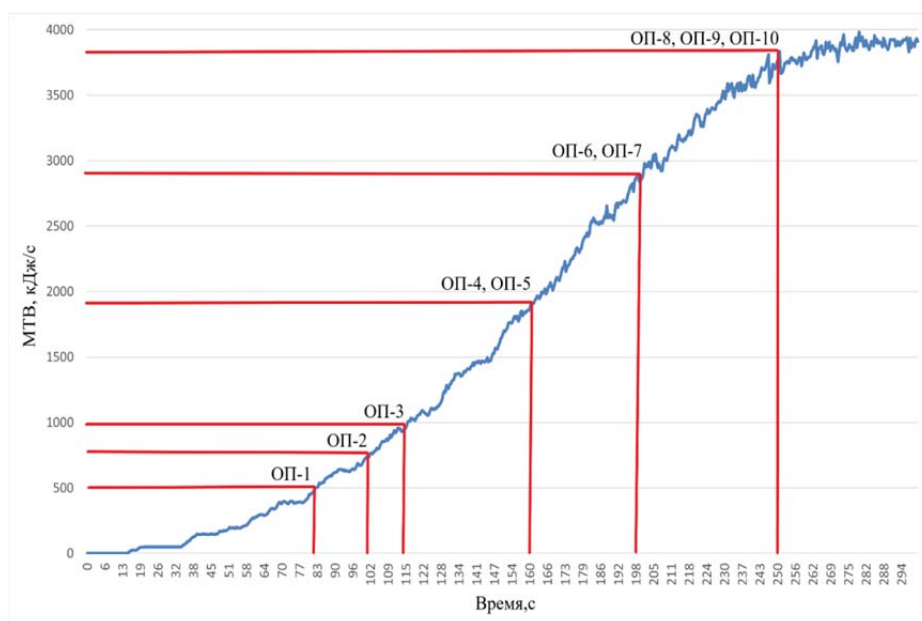


Рис. 4. Определение критического времени доставки огнетушителя по условию превышения МТП над МТВ

На рис. 5 представлена кривая роста МТВ ($W_{\text{ТВ}}$) при пожаре в судовой каюте площадью 20 м², время моделирования составляет 300 с. Горизонтальными линиями обозначена МТП ($q_{\text{оп}}$, табл. 3) огнетушителя каждого типоразмера. Эти линии являются константами для каждого типоразмера огнетушителя и отражают его максимальную МТП ($q_{\text{оп}}$), рассчитанную по формуле (3) для модельного очага пожара класса «А». Точка пересечения кривой роста МТВ ($W_{\text{ТВ}}$) и горизонтальной линии МТП ($q_{\text{оп}}$) определяет максимально допустимое время доставки ($\tau_{\text{кр}}$) и начала тушения для данного типоразмера огнетушителя в конкретном помещении.

Эффективность применения огнетушителя можно выразить в следующем виде:

$$\tau_{\text{общ}} < \tau_{\text{кр}}(W_{\text{ТП ОП}i}), \quad (4)$$

где: $\tau_{\text{общ}}$ – общее расчетное время доставки огнетушителя (1) к очагу пожара (с момента обнаружения до начала применения), полученное путем имитационного моделирования, с [11]; $\tau_{\text{кр}}(W_{\text{ТП ОП}i})$ – критическое время для данного типоразмера огнетушителя и конкретного помещения, с, определяемое как:

$$W_{\text{ТВ}}(\tau) \leq W_{\text{ТП ОП}i}.$$

⁸ ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

Соответственно, $W_{\text{ТВ}}(t)$ – МТВ из зоны горения на момент доставки огнетушителя, кДж/с (полученная путем численного моделирования); $W_{\text{ТП ОПi}}$ — константная МТП ($q_{\text{оп}}$) выбранного типоразмера огнетушителя, кДж/с (табл. 2).

Так, например, при пожаре в судовой каюте площадью 20 м^2 (рис. 5) необходимо доставить ОП-1 не позднее 82 с включительно ($\tau_{\text{общ}} \leq 82 \text{ с}$). Выполнение условия (4) означает, что огнетушитель способен поглотить больше тепла, чем выделяет очаг на момент начала тушения, что создает условия для успешной ликвидации пожара.

Если $\tau_{\text{общ}} \geq \tau_{\text{кр}}$ ($W_{\text{ТП ОПi}}$), то МТВ очага пожара превысит МТП огнетушителя. Применение данного типоразмера будет неэффективно, и пожар продолжит развиваться. Отсюда следует, что необходимо применять огнетушитель большего типоразмера, либо сократить расстояние до места расположения огнетушителя путем уменьшения показателя $\tau_{\text{общ}}$.

Анализ данных численного моделирования (рис. 4) позволил установить закономерность влияния площади помещения на рост МТВ во времени, которую следует учитывать при практическом применении данной методики.

Табл. 4 представляет сводные результаты численного моделирования, устанавливающие количественную взаимосвязь между тремя ключевыми параметрами разработанной методики: МТВ (для помещений площадью $10 \text{ м}^2, 15 \text{ м}^2, 20 \text{ м}^2, 50 \text{ м}^2$), МТП огнетушителей ($q_{\text{оп}}$) и критическим временем доставки огнетушителей $\tau_{\text{кр}}$.

Таблица 4

Критическое время доставки огнетушителей для кают различной площади

№ п/п	Типоразмер огнетушителя	МТВ ($W_{\text{ТВ}}(t)$), кДж/с				МТП ($q_{\text{оп}}$), кДж/с	$\tau_{\text{кр}}$, с
		Каюта 10 м^2	Каюта 15 м^2	Каюта 20 м^2	Каюта 50 м^2		
1	ОП-1	477,40	504,89	468,12	459,86	474,23	82
2	ОП-2	724,41	730,95	684,21	677,92	710,35	100
3	ОП-3	812,80	908,67	919,63	929,87	940,47	112
4	ОП-4/5	1247,71	1773,36	1857,40	1842,60	1872,94	160
5	ОП-6/7	1591,78	2275,86	2763,01	2884,94	2779,39	198
6	ОП-8/9/10	1931,99	2892,32	3701,28	4460,96	3733,87	249

Для наглядного примера произведен расчет по методике оснащения огнетушителями для судовой каюты площадью 20 м^2 . Для каждого типоразмера огнетушителя определено критическое время доставки ПСП $\tau_{\text{кр}}$. Из табл. 4 следует, что расстановка огнетушителей по данной методике для судовой каюты площадью помещения 20 м^2 обеспечивает пожарную безопасность в случае возгорания, поскольку выполнены условия неравенства (2) и (4). Стоит отметить, что для судовых кают $10, 15$ и 50 м^2 расстановка огнетушителей, как для каюты 20 м^2 , не обеспечит эффективное пожаротушение, так как $\text{МТВ} \geq \text{МТП}$ огнетушителя на момент его доставки. В каютах, площадь которых составляет 10 и 15 м^2 , а также при высоте потолка 3 м , общий объем воздуха меньше, чем в каютах 20 и 50 м^2 , соответственно, скорость роста температуры выше. Концентрация продуктов горения в малом объеме растет быстрее, что приводит к ускоренному нагреву всех поверхностей в помещении, включая предметы, которые еще не воспламенились. Быстрый прогрев пожарной нагрузки увеличивает вероятность более раннего воспламенения других предметов и перехода пожара в стадию объемного горения, что сопровождается скачком МТВ. В замкнутом малом объеме

лучистая энергия от пламени и горячих газов гораздо эффективнее воздействует на все горючие поверхности, ускоряя процесс пиролиза и последующего горения. По мере развития пожара (после 160 с, табл. 4) влияние площади помещения становится более выраженным. В больших помещениях при прочих равных условиях МТВ в итоге достигает более высоких пиковых значений, так как в них содержится больше горючих материалов и они могут обеспечить больший приток воздуха. Разница МТВ в помещениях 15 м² и 50 м² на 100 с составляет всего 6 %, через 60 с разница составляет 32 %, еще через 40 с разница – 45 % и на 249 с (спустя еще 50 с) МТВ в судовой каюте площадью 50 м² превышает на 56 % в сравнении с каютой 15 м². После 249 с применение ручных огнетушителей (даже ОП-10) нецелесообразно, поскольку МТВ развившегося пожара будет существенно превышать МТП огнетушителя, в данном случае ликвидация пожара будет осуществляться ручными пожарными стволами от пожарных кранов.

Таким образом, быстрый рост МТВ в малых помещениях на ранней стадии – это физически закономерное явление, как и резкий рост МТВ в помещениях большей площади после 160 с, которое необходимо учитывать для точного расчета критического времени $\tau_{кр}$ и эффективного размещения огнетушителей на объектах защиты. Это еще раз подтверждает, что нормативный подход, учитывающий только площадь защищаемого помещения ПСП, недостаточен и требует доработки.

Предложенное неравенство (4) позволяет на этапе проектирования определить, обеспечивают ли выбранные места размещения и типоразмер огнетушителя успешную ликвидацию возгорания для конкретного объекта защиты. Настоящая методика позволяет перейти от стандартного подхода (оснащение ПСП по площади) к динамическому планированию оснащения объекта ПСП, что существенно повышает вероятность успешной ликвидации пожара на начальной стадии (рис. 6).

Научная новизна данной методики заключается в отказе от стандартного подхода оснащения объектов защиты ПСП в пользу динамической физико-математической модели. Данная методика впервые напрямую связывает три ключевых фактора:

1. Антропометрический и эргономический фактор ($\tau_{общ}$) – моделирование реальной скорости движения человека с отягощением [9–11].
2. Моделирование динамики развития МТВ ($W_{ТВ}(\tau)$) – учет конкретной пожарной нагрузки, а не справочных данных.
3. Фактор оценки эффективности применения огнетушителя ($W_{ТП}$) не по массе заряда, а по его теплофизической характеристике – способности поглощать энергию из зоны горения.

Заключение

Проведённое исследование позволило разработать научно обоснованную методику применения огнетушителей при тушении пожаров на объектах водного транспорта. В настоящем исследовании автор предлагает оснащать объекты защиты, основываясь не только на нормативных требованиях, но и применять динамическую расчетно-экспериментальную модель конкретного объекта. В основу методики входят расчетно-экспериментальные коэффициенты, применяемые в программных продуктах, определяющие время доставки каждого типоразмера огнетушителя. Также предлагается использовать не нормативную (типовую), а реальную пожарную нагрузку для каждого помещения объекта, которая будет определять МТВ из зоны горения и использовать теплофизическую эффективность огнетушителей.

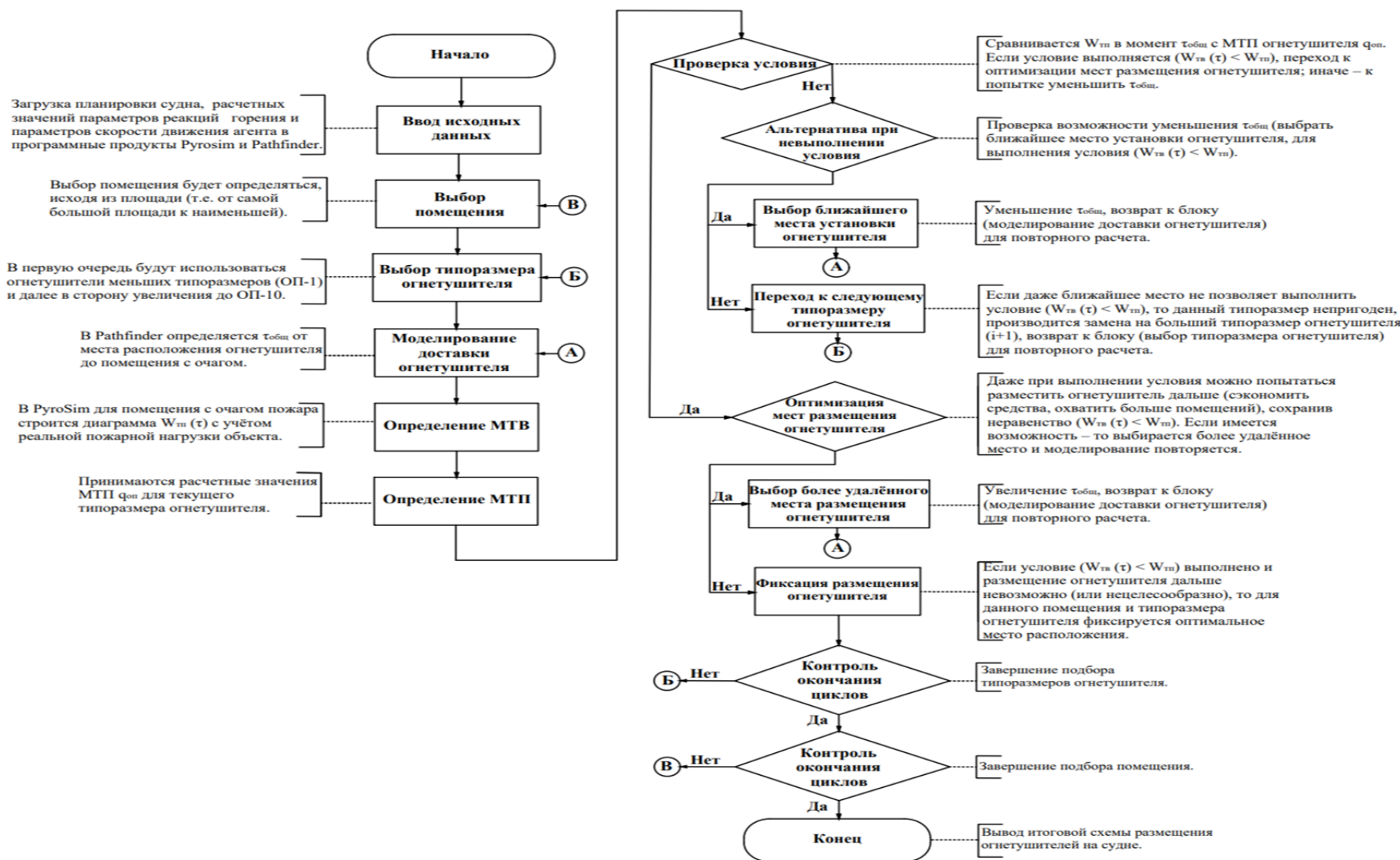


Рис. 5. Алгоритм методики оснащения объектов огнетушителями

Настоящая методика позволит:

– обоснованно оптимизировать размещение ПСП на строящихся и эксплуатируемых судах. Это позволит не просто выполнить нормы оснащения, а гарантировать эффективность применения огнетушителей, возможно, даже сократив общее количество единиц ПСП за счет их рационального размещения и правильного подбора типоразмеров;

– повысить вероятность успешной ликвидации пожара на начальной стадии экипажем за счёт сокращения времени доставки и обеспечения достаточного количества огнетушителей на объекте;

– внести изменения в действующие нормативные документы (правила Российского морского регистра судоходства, Российского классификационного общества), предъявляющие требования к первичным средствам пожаротушения на судах. Результаты работы являются готовым научно-техническим обоснованием для совершенствования действующих правил. Предлагается дополнить или пересмотреть главы, касающиеся первичных средств пожаротушения, введя требования к учету:

1. Времени доставки на основе моделирования.

2. Реальной (паспортной) пожарной нагрузки помещений.

3. Необходимости соответствия МТП огнетушителя расчетной МТВ помещения в максимально допустимое время доставки.

Таким образом, реализация предложенной методики оснащения судов огнетушителями позволит существенно повысить уровень пожарной безопасности, минимизировать материальные и экологические последствия, а также снизить угрозу для жизни и здоровья людей. Данная методика применима не только для объектов водного транспорта, но и для транспортной инфраструктуры.

Список источников

1. Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Оценка эффективности применения огнетушителей на водном транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 8–20. EDN HGIURY.

2. Анализ нормативных требований к огнетушителям, размещаемым на судах / Д.Ф. Кожевин [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3-1 (61). С. 170–178.

3. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года SOLAS 74. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901765675> (дата обращения: 10.02.2026).

4. Российский Морской Регистр Судоходства «Правила классификации и постройки морских судов, часть VI Противопожарная защита». URL: <https://rfclass.ru> (дата обращения: 10.02.2026).

5. Российское Классификационное Общество «Правила классификации и постройки судов, часть III Противопожарная защита». URL: <https://rfclass.ru> (дата обращения: 10.02.2026).

6. Кожевин Д.Ф. Концепция перспективного развития первичных средств порошкового пожаротушения // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 7 (259). С. 44–50. EDN ZDKCDW.

7. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 4. С. 60–82. EDN OZZUSH.

8. Кожевин Д.Ф. Обоснование механизма огнетушащего действия порошка на основании анализа его фракционного состава в нестационарном газопорошковом потоке // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 175–189. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-175-189

9. Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Определение параметров движения людей при доставке огнетушителей к очагу пожара на объектах водного транспорта // Пожарная безопасность. 2025. № 1 (118). С. 39–49. EDN DZESQM. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2025.118.1.003

10. Естехин В.Г. Влияние способа транспортировки на скорость доставки огнетушителей к месту пожара на судах // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 35–45.
11. Кожевин Д. Ф., Естехин В. Г. Моделирование движения людей с отягощением в виде огнетушителя на объектах транспортной инфраструктуры // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2025. № 3. С. 48–57. DOI:10.25257/FE.2025.3.48-57
12. The Mathematical Model Based on the Parameters of Simulation Results Predicts the Fire Extinguishing Resource Demand of Naval Fires / Guo Jingjing [et al.] // Journal of Applied Sciences, Appl. Sci. 2024. № 14 (21). DOI: 10.3390/app142110038
13. Yuechao Zhao, Dihao Ai Numerical Simulation Study on the Response of Ship Engine Room Structure Under Fire Based on Thermo-Mechanical Coupling Model // Fire. 2024. № 7 (12). P. 480. DOI: 10.3390/fire7120480
14. Ioanna A. Koromila, Kostas J. Spyrou Design Fire Methodology for Vehicle Spaces Onboard Ships // Journal Fire Technology. 2023. № 59. P. 1725–1759.
15. Research on the Risk Classification of Cruise Ship Fires Based on an Attention-Bp Neural Network / X. Zhenghua [et al.] // Polish Maritime Research. № 29 (3) P. 61–68. DOI: 10.2478/pomr-2022-0026
16. Han Zhang. Numerical simulation of fire Incidents in ship compartments // Frontiers in Science and Engineering. № 3 (8). P. 53–59. DOI: 10.54691/fse.v3i8.5527
17. Jian He Zhao, Ye Gao, Hong Mei Wu Numerical simulation and research of pool fire suppressed by water mist in the engine room of a ship // Applied Mechanics and Materials. № 29–32. P. 651–657. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.29-32.651
18. Tolga Ayc, Barış Barlas, Aykut Ölçer. Fire safety analysis onboard passenger ships by using fire dynamics simulations: case study of a Turkish domestic passenger ship // Journal of ETA maritime science. 2024. № 2. P. 224–236. DOI: 10.4274/JEMS.2024.56514
19. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. 119 с.

References

1. Kozhevin D.F., Estekhin V.G. Ocenka effektivnosti primeneniya ognetushitelej na vodnom transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 4 (64). S. 8–20. EDN HGIURY.
2. Analiz normativnyh trebovanij k ognetushitelyam, razmeshchaemym na sudah / D.F. Kozhevin [i dr.] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2023. № 3-1 (61). S. 170–178.
3. Mezhdunarodnaya Konvenciya po ohrane chelovecheskoj zhizni na more 1974 goda SOLAS 74. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901765675> (data obrashcheniya: 10.02.2026).
4. Rossijskij Morskoj Registr Sudohodstva «Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov, chast' VI Protivopozharnaya zashchita». URL: <https://rfclass.ru> (data obrashcheniya: 10.02.2026).
5. Rossijskoe Klassifikacionnoe Obschestvo «Pravila klassifikacii i postrojki sudov, chast' III Protivopozharnaya zashchita». URL: <https://rfclass.ru> (data obrashcheniya: 10.02.2026).
6. Kozhevin D.F. Konceptiya perspektivnogo razvitiya pervichnyh sredstv poroshkovogo pozharotusheniya // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2022. № 7 (259). S. 44–50. EDN ZDKCDW.
7. Abduragimov I.M. O mekhanizmah ognetushashchego dejstviya sredstv pozharotusheniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. № 4. S. 60–82. EDN OZZUSH.
8. Kozhevin D.F. Obosnovanie mekhanizma ognetushashchego dejstviya poroshka na osnovanii analiza ego frakcionnogo sostava v nestacionarnom gazoporoshkovom potoke // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2025. № 1 (73). S. 175–189. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-175-189
9. Kozhevin D.F., Estekhin V.G. Opredelenie parametrov dvizheniya lyudej pri dostavke ognetushitelej k ochagu pozhara na ob"ektah vodnogo transporta // Pozharnaya bezopasnost'. 2025. № 1 (118). S. 39–49. EDN DZESQM. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2025.118.1.003

10. Estekhin V.G. Vliyanie sposoba transportirovki na skorost' dostavki ognetushitelej k mestu pozhara na sudah // *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2025. № 1 (54). S. 35–45.
11. Kozhevnikov D. F., Estekhin V. G. Modelirovanie dvizheniya lyudej s otyagoshcheniem v vide ognetushitelya na ob"ektah transportnoj infrastruktury // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie, likvidaciya*. 2025. № 3. S. 48–57. DOI:10.25257/FE.2025.3.48-57
12. The Mathematical Model Based on the Parameters of Simulation Results Predicts the Fire Extinguishing Resource Demand of Naval Fires / Guo Jingjing [et al.] // *Journal of Applied Sciences, Appl. Sci.* 2024. № 14 (21). DOI: 10.3390/app142110038
13. Yuechao Zhao, Dihao Ai Numerical Simulation Study on the Response of Ship Engine Room Structure Under Fire Based on Thermo-Mechanical Coupling Model // *Fire*. 2024. № 7 (12). P. 480. DOI: 10.3390/fire7120480
14. Ioanna A. Koromila, Kostas J. Spyrou Design Fire Methodology for Vehicle Spaces Onboard Ships // *Journal Fire Technology*. 2023. № 59. P. 1725–1759.
15. Research on the Risk Classification of Cruise Ship Fires Based on an Attention-Bp Neural Network / X. Zhenghua [et al.] // *Polish Maritime Research*. № 29 (3) P. 61–68. DOI: 10.2478/pomr-2022-0026
16. Han Zhang. Numerical simulation of fire Incidents in ship compartments // *Frontiers in Science and Engineering*. № 3 (8). P. 53–59. DOI: 10.54691/fse.v3i8.5527
17. Jian He Zhao, Ye Gao, Hong Mei Wu Numerical simulation and research of pool fire suppressed by water mist in the engine room of a ship // *Applied Mechanics and Materials*. № 29–32. P. 651–657. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.29-32.651
18. Tolga Ayc, Barış Barlas, Aykut Ölçer. Fire safety analysis onboard passenger ships by using fire dynamics simulations: case study of a Turkish domestic passenger ship // *Journal of ETA maritime science*. 2024. № 2. P. 224–236. DOI: 10.4274/JEMS.2024.56514
19. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii: ucheb. posobie / Yu.A. Koshmarov [i dr.]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2000. 119 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.03.2026; одобрена после рецензирования: 17.04.2026; принята к публикации: 21.04.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2026; approved after review: 17.04.2026; accepted for publication: 21.04.2026

Информация об авторах:

Естехин Виталий Геннадьевич, заместитель начальника факультета инженерно-технического Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), e-mail: estekhin@inbox.ru, SPIN-код: 2770-8682

Information about authors:

Estekhin Vitalii G., deputy head of the faculty of engineering and technical of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: estekhin@inbox.ru, SPIN: 2770-8682