

Научная статья

УДК 614.845.1; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-130-144

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНОСТИ ТЕПЛОПОГЛОЩЕНИЯ ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА КАК КРИТЕРИЯ ПРИ ОСНАЩЕНИИ СУДОВ ОГNETУШИТЕЛЯМИ

Кожевин Дмитрий Федорович;

✉ Естехин Виталий Геннадьевич.

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

✉ estekhin@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме низкой эффективности применения первичных средств пожаротушения на судах, которая, в свою очередь, приводит к быстрому развитию пожара, гибели экипажа и уничтожению судна. Авторами предлагается иной подход параметризации огнетушителей, а именно, оснащение объектов защиты исходя из мощности теплопоглощения огнетушителя, основываясь на удельной пожарной нагрузке помещения объекта. В статье представлены экспериментальные данные численного моделирования развития пожара судовых помещений в программном продукте PyroSim на основании справочных данных, а также реальной пожарной нагрузки, представленной судостроительными заводами. Анализ данных мощности тепловыделения подтвердил, что на начальной стадии развития пожара рост мощности тепловыделения происходит равномерно независимо от площади помещения, где развивается пожар. Основываясь на экспериментальных данных необходимо классифицировать помещения объекта защиты исходя из теплофизических характеристик пожарной нагрузки и огнетушащего вещества. Данный подход позволит повысить эффективность применения огнетушителей на судах, снизив при этом количество пострадавших, а также минимизировать материальный и экологический ущерб.

Ключевые слова: пожарная безопасность судов, первичные средства пожаротушения, огнетушители, мощность теплопоглощения, мощность тепловыделения, численное моделирование, Fire Dynamics Simulator

Для цитирования: Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Применение мощности теплопоглощения огнетушащего вещества как критерия при оснащении судов огнетушителями // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 130–144. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-130-144

Scientific article

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHERS USE ON WATER TRANSPORT

Kozhevin Dmitrii F.;**✉ Estekhin Vitalii G.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia****✉ estekhin@inbox.ru**

Abstract. This article addresses the problem of the low effectiveness of using primary fire extinguishing equipment on ships, which in turn leads to the rapid development of fire, crew fatalities, and vessel loss. The authors propose a different approach to the parameterization of fire extinguishers, namely, equipping protected facilities based on the extinguisher's heat absorption capacity, considering the specific fire load of the facility's compartment. The article presents experimental data from numerical modeling of fire development in shipboard compartments using the PyroSim software, based on reference data and the actual fire load provided by shipbuilding plants. The analysis of the heat release rate data confirmed that in the initial stage of fire development, the growth in heat release rate occurs uniformly, regardless of the area of the compartment where the fire is developing. Based on the experimental data, it is necessary to classify the compartments of a protected facility according to the thermophysical characteristics of the fire load and the extinguishing agent. This approach will enhance the effectiveness of fire extinguisher use on ships, thereby reducing the number of casualties and minimizing material and environmental damage.

Keywords: fire safety of ships, primary fire extinguishing means, fire extinguishers, heat absorption capacity, heat release capacity, numerical modeling, Fire Dynamics Simulator

For citation: Kozhevin D.F., Estekhin V.G. Evaluation of the efficiency of fire extinguishers use on water transport // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 130–144. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-130-144

Введение

Пожары на судах представляют большую опасность для самого судна, членов экипажа, а также экологии акватории порта, в связи с чем оперативное тушение пожара на судах является актуальной и приоритетной задачей. В ранее опубликованных статьях [1, 2], где проанализированы статистические данные, отмечается низкая эффективность применения судовых средств пожаротушения (включая первичные) при ликвидации пожаров на объектах водного транспорта. Причиной низкой эффективности применения первичных средств пожаротушения является несовершенство методического аппарата в части оснащения объектов защиты огнетушителями [3]. В настоящее время оснащение объектов огнетушителями регламентируется Правилами противопожарного режима в Российской Федерации¹, а также ведомственными нормативно-правовыми актами, которые предъявляют требования к размещению огнетушителей исходя из площади помещения, его функционального назначения и категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности. Для разработки методики оснащения судов огнетушителями авторами предлагается иной подход параметризации огнетушителей, а именно, оснащение объектов защиты исходя из мощности теплопоглощения огнетушителя, основываясь на удельной пожарной нагрузке помещения объекта [4].

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

Наиболее эффективными первичными средствами пожаротушения являются порошковые огнетушители. В работах [5, 6] было обосновано, что основным механизмом прекращения горения порошковыми составами наряду с ингибированием является охлаждение зоны горения между частицами порошка во фронте струи. Огнетушащий эффект порошкового состава кратно превышает эффект охлаждения и разбавления двуокисью углерода, а также воды. Преимуществом данных огнетушителей является возможность ликвидации пожаров класса «А, В, С, D, Е»^{2,3,4}.

Исходя из основного механизма прекращения горения, целесообразно оценивать эффективность огнетушителей, в том числе при оснащении ими объектов защиты по критериям мощности теплопоглощения огнетушащего вещества из зоны горения.

Огнетушитель считается способным ликвидировать очаг горения, если его теплопоглощающая способность превышает мощность тепловыделения (МТВ) из зоны горения [4–6]:

$$W_{\text{теповыделения}} < W_{\text{тепопоглощения}},$$

где $W_{\text{теповыделения}}$ – мощность тепловыделения из зоны горения, кВт; $W_{\text{тепопоглощения}}$ – мощность теплопоглощения огнетушителя, кВт.

Максимальная эффективность теплопоглощения достигается при условии, когда:

$$S_{\text{фп}} < \sum S_{\text{ф.стр.}},$$

где $S_{\text{фп}}$ – площадь проекции очага пожара, м²; $\sum S_{\text{ф.стр.}}$ – сумма площадей фронта порошковых струй, м².

Реализации предлагаемого подхода по оснащению судов огнетушителями посвящена эта статья.

Основная часть

Мощность тепловыделения из очага пожара зависит от времени свободного развития пожара и вида пожарной нагрузки, которая определяется функциональным назначением помещения судна, их производителем и индивидуальными требованиями заказчика к производителю.

Оценка величины МТВ может быть осуществлена с использованием апробированного программного обеспечения, применяемого для 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 PyroSim⁵ (FDS), предназначенном для моделирования пожара методом конечных объемов.

Для оценки пожарной нагрузки на судах были направлены запросы ряду отечественных судостроительных заводов, полученные сведения были использованы в исследовании. Характеристики сведений о пожарной нагрузке судов, представленные судостроительными заводами, и данные о типе и массе применяемых материалов на судах приведены в табл. 1. В ранее опубликованных работах [7–12] авторами моделировались пожары на судах в помещениях различного функционального назначения, но в этих исследованиях применялись лишь справочные показатели пожарной нагрузки.

² ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

³ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

⁴ Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утв. Постановлением Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

⁵ Программа Pyrosim – полевая модель пожара

Расчет количества горючих материалов судна

Область применения	Наименование материалов	Нижняя палуба		Главная палуба		Шлюпочная палуба		Средняя палуба		Верхняя палуба	
		Кают-компания экипажа 112	Каюта 121	Ресторан 204	Каюта 228	SPA-центр	Каюта 301	Гостиная 401	Каюта 416	Рулевая рубка	Сигарная
		Площадь пола, м ²									
		25,30	13,20	143,75	26,40	109,30	55,07	31,90	32,64	78,00	96,90
		Количество материалов, кг									
Обшивка и отделка	Панель стеновая	–	–	793,80	337,14	585,72	652,05	371,70	442,17	885,06	627,75
	Панель подволочная	–	–	615,02	103,22	464,96	216,34	129,81	125,49	349,60	398,82
	Цоколь	–	–	31,43	15,15	32,55	30,15	15,30	17,780	28,50	37,50
	Обрешетник под цоколь	–	–	21,00	10,13	21,68	20,10	10,20	11,85	22,70	25,05
	Обрешетник деревянный	–	–	240,75	50,25	417,00	172,50	111,75	111,00	254,10	293,48
	Пластик слоистый	–	–	232,99	62,89	174,47	125,45	72,99	80,23	132,40	164,27
Покрытие палуб	Пленка ПВХ отделочная	9,16	5,48	–	–	–	–	–	–	–	–
	Линолеум	–	31,00	–	–	–	–	–	–	240	–
	Клей	7,90	9,90	42,78	7,18	32,34	15,04	9,03	9,12	1,60	27,74
	Ковролин	24,75	–	163,78	27,49	123,82	57,61	34,57	34,91	–	106,21
	Плинтус	16,28	8,89	–	–	–	–	–	–	–	–
	Фанера	–	–	2085,75	365,55	1605,00	764,25	463,80	450,00	1125,00	1416,00
Окраска	Лакокрасочные материалы	22,60	10,80	158,63	27,40	111,701	53,03	28,30	34,60	25,00	27,80
Мебель		554,00	304,40	1131,00	507,51	746,72	814,40	382,75	670,50	420,91	827,61
Общее количество горючих материалов, кг		634,68	370,49	5516,90	1513,90	4315,92	2921,00	1630,00	1987,62	3484,86	3952,26
Количество горючих материалов, 1 м ² /кг		25,09	28,07	38,38	57,35	39,49	53,05	51,10	60,90	44,68	40,79

Реализация эксперимента (имитация пожара на судне)

В численном эксперименте в качестве ключевого критерия оценки пожарной опасности была принята МТВ очага пожара (HRR от англ. языка Heat Release Rate). По замыслу эксперимента очаг пожара был предусмотрен в одном из четырех судовых помещений с различной площадью (рис. 1), геометрические и объемно-планировочные характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики помещений модельного этажа

п/п	Наименование помещений	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²	Размер сетки моделирования
1	Помещение № 1	5	2	10	10*22*11
2	Помещение № 2	5	3	15	14*22*11
3	Помещение № 3	5	4	20	18*22*11
4	Помещение № 4	5	10	50	42*22*11

Геометрия расчетной модели была задана с высотой помещений 3,0 м, толщиной ограждающих конструкций равной 0,25 м для несущих стен и 0,2 м – для внутренних перегородок. Все помещения, в которых располагался очаг пожара, моделировались как замкнутые объемы (адиабатические границы). В модели был исключен тепло- и массообмен с атмосферой, смежными помещениями, а также не учитывалось влияние систем вентиляции. Источник возгорания моделировался в геометрическом центре каждого помещения на уровне пола (отметка 0,0 м). Распространение пожара на начальном этапе происходило по круговой, с последующим переходом к прямоугольной форме пожара после достижения фронтом пламени ограждающих конструкций.

Для обеспечения требуемой точности расчета размер ячейки расчетной сетки (рис. 1) был принят равным 0,25 м, что является рекомендуемой практикой для подобных задач⁶. Размеры моделируемых помещений и соответствующие им параметры расчетных сеток приведены в табл. 2.

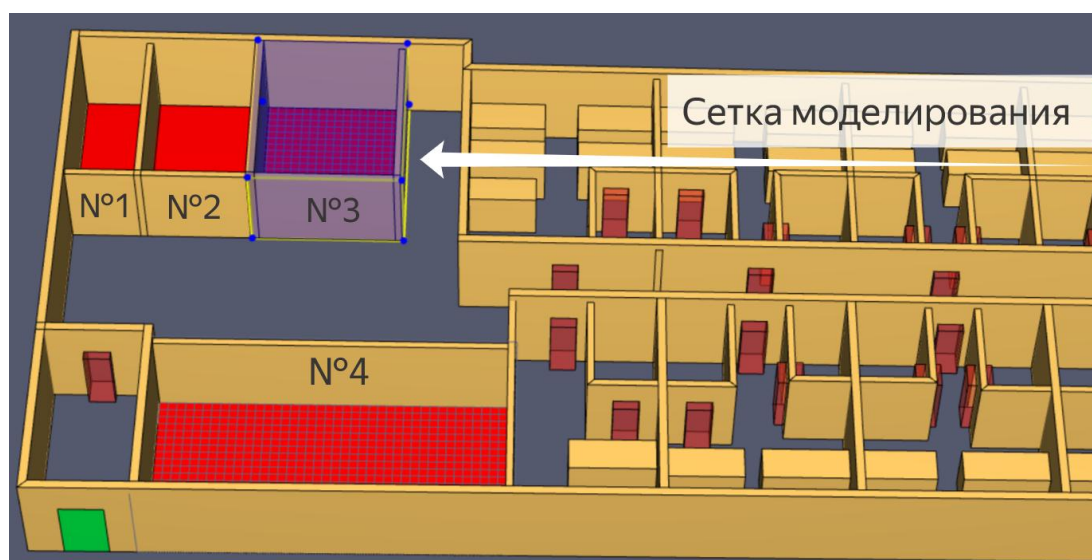


Рис. 1. Планировка модельного этажа в 3D

⁶ Рекомендации по использованию программы Fire Dynamics Simulator, NIST Special Pub. 1019-5

Наиболее типичными пожарами для судов являются пожары в грузовых помещениях, в машинно-котельных отделениях (МКО) судна и в жилых/служебных помещениях (надстройка судна) [2]. В рамках настоящего исследования для каждого из анализируемых судовых помещений (из табл. 2) было разработано два сценария развития пожара. По плану первого сценария применялись реакции из справочных данных [13]. Для реализации второго сценария были использованы сведения о пожарной нагрузке реальных судов, представленные отечественными судостроительными заводами (табл. 1).

Результаты моделирования и анализ полученных данных сценария № 1

По плану первого сценария применялась уже готовая реакция горения в программном продукте Pyrosim на основании справочных данных [13]. Моделирование пожара в грузовом помещении осуществлялось с учетом пожарной нагрузки в виде упаковочной тары, содержащей композит из горючих материалов: древесины, картона и полистирола. Сценарий пожара в МКО предполагал инициирование горения вследствие разлива легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ, бензин марки А-76). Для воспроизведения пожара в надстройке судна (жилые и служебные помещения) была применена пожарная нагрузка, характерная для административных помещений (рис. 2).

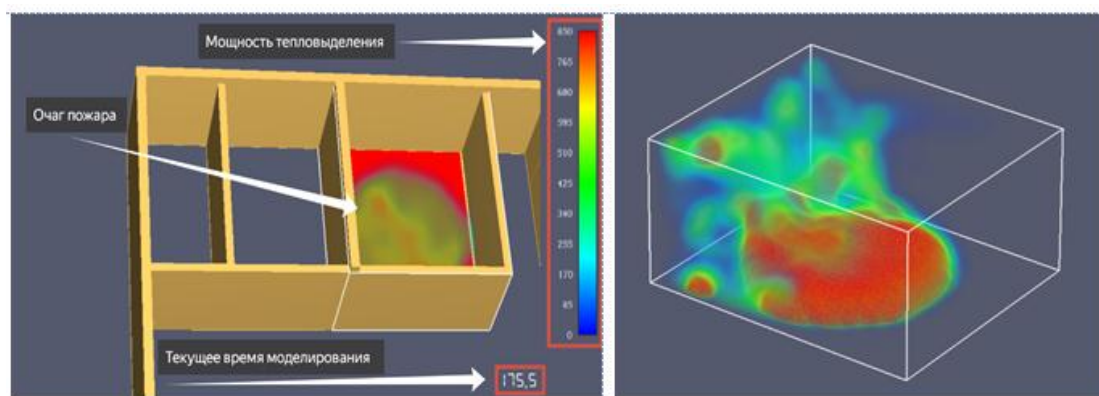
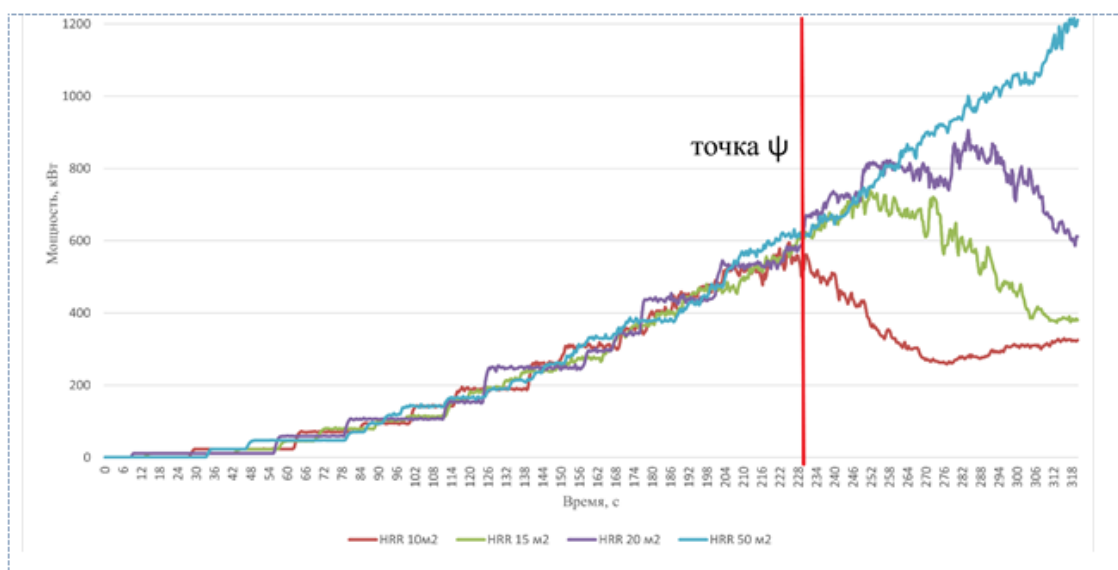
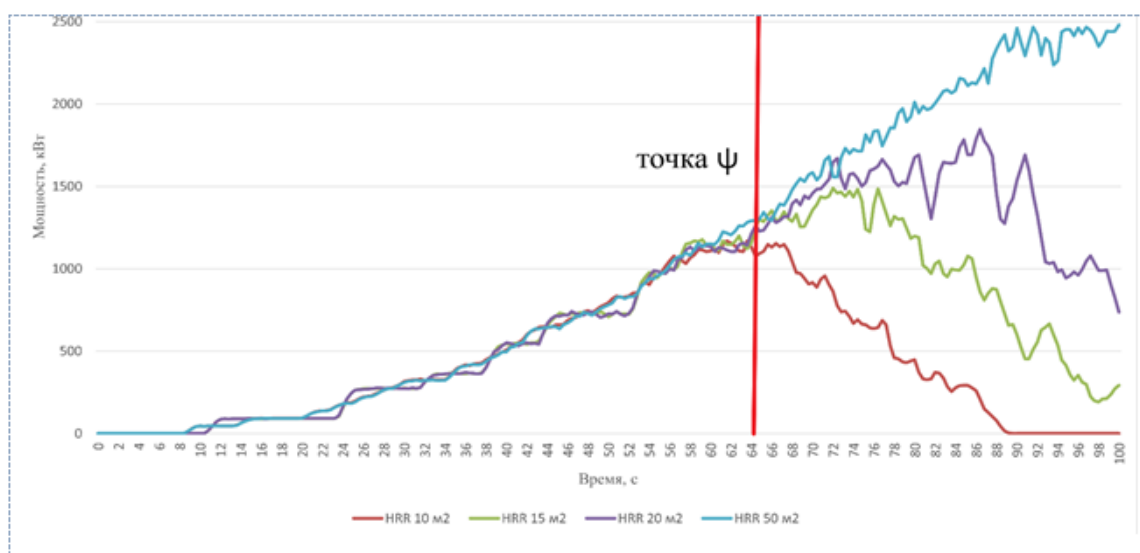


Рис. 2. Визуализация динамики МТВ в программе Smokeview

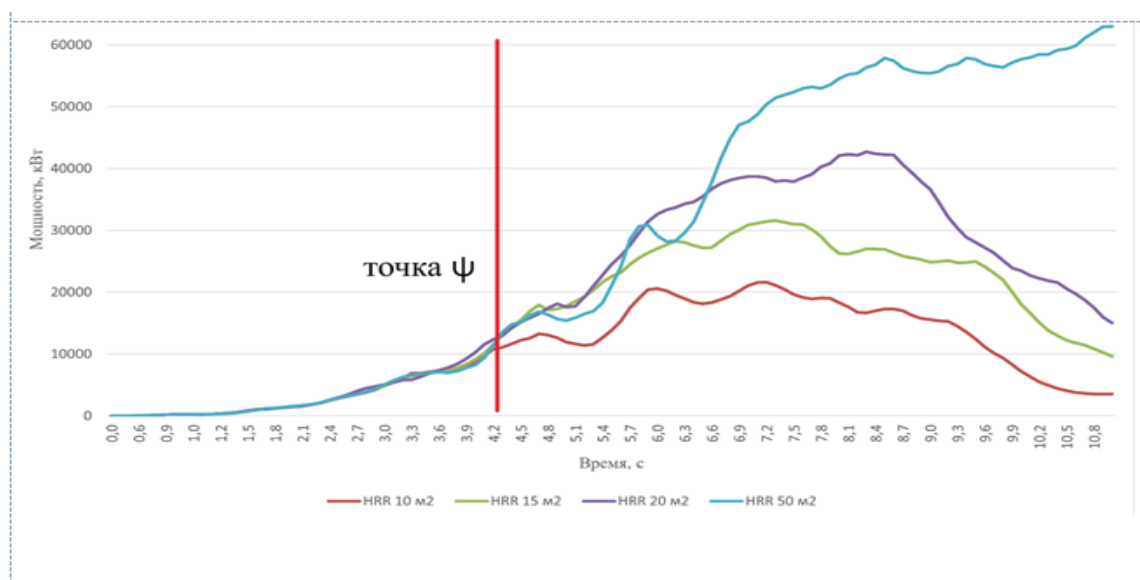
По результатам моделирования для справочной пожарной нагрузки в программном продукте Pyrosim были построены диаграммы изменения МТВ от времени (рис. 3).



а) административное помещение судна



б) грузовое помещение



в) машинно-котельное отделение судна

Рис. 3. Диаграмма мощности тепловыделения

Таблица 3

МТВ при достижении точки ψ (сценарий № 1)

Функциональное назначение судна	Площадь помещения, м ²	Точка ψ , с	МТВ, кВт	Среднее значение МТВ, кВт
Административное помещение судна	10 м ²	228,0	560	578
	15 м ²		582	
	20 м ²		570	
	50 м ²		602	
Грузовое помещение	10 м ²	64,0	1170	1173
	15 м ²		1121	
	20 м ²		1143	
	50 м ²		1259	
МКО	10 м ²	4,2	10731	11497
	15 м ²		11571	
	20 м ²		12356	
	50 м ²		11333	

При анализе экспериментальных данных было установлено, что на начальной стадии развития пожара во всех административных помещениях (рис. 3 а, табл. 3) наблюдалось экспоненциальное увеличение МТВ до момента достижения точки ψ ($t = 228$ с). Средняя МТВ при достижении точки ψ при пожаре в административных помещениях независимо от площади помещения составляет 578 кВт.

Анализ данных моделирования для грузовых помещений (рис. 3 б, табл. 3) позволил установить схожую закономерность развития МТВ во временном интервале. Развитие пожара в грузовом помещении сопровождалось выделением большей МТВ, что обусловлено заданной пожарной нагрузкой при моделировании пожара. Точка ψ была достигнута на 64 с со средней МТВ 1173 кВт, что в 3,5 раза быстрее и 2 раза выше МТВ, чем при пожаре в административном помещении судна.

Моделирование пожара в МКО (рис. 3 в, табл. 3) позволило выявить интенсивное развитие процесса горения с высокими значениями МТВ, что типично для горения проливов ЛВЖ. Точка ψ была зафиксирована на отметке 4,2 с, где средняя МТВ составила 11 497 кВт.

Проведенное комплексное численное моделирование развития пожара в помещениях судна различного функционального назначения (административные, грузовые помещения, машинно-котельные отделения) с вариацией очагов пожара на разной площади помещений позволило установить закономерности и сделать следующие выводы:

- до достижения точки ψ МТВ выделяется равномерно независимо от площади помещения. Далее увеличение площади приводит к росту пиковой МТВ и сдвигу момента её достижения на более поздние временные отметки (после преодоления точки ψ). Однако динамика процесса принципиально различается в зависимости от свойств пожарной нагрузки;

- развитие пожара в административных помещениях носит наиболее протяженный и инерционный характер. Рост МТВ плавный, с длительной фазой развития. Наблюдается выраженная фаза спада после достижения пика, что характерно для горения твердых материалов. Пиковые значения МТВ относительно низкие (562–1 488 кВт);

- в грузовых помещениях процесс развивается существенно быстрее. Анализ данных МТВ позволил выявить процесс самозатухания (сразу после достижения точки ψ) в помещении малого объема (10 м²) на отметке $t = 90$ с. Это прямо указывает на переход горения в режим, лимитированный концентрацией кислорода, в условиях замкнутого объема. Пиковые значения МТВ (1 170–2 664 кВт) превышают показатели административных помещений, что, связано с использованием более энергоемких горючих материалов (древесины, картона и полистирола) свойственных при транспортировке в грузовых помещениях;

- в МКО выявлен иной сценарий развития пожара, характерный для горения ЛВЖ. Процесс характеризуется высокими значениями МТВ (до 63 МВт). Рост МТВ кратно превышает показатели других помещений. В данном случае необходимо применять огнетушитель для ликвидации пожара при локальных проливах ЛВЖ.

Экспериментально подтверждено, что на начальной стадии развития пожара рост МТВ происходит равномерно независимо от площади помещения, где развивается пожар до наступления точки ψ во времени. Следовательно, на начальной стадии развития пожара до момента достижения точки ψ независимо от площади помещения, где происходит пожар, может применяться огнетушитель одного типоразмера, исходя из его теплопоглощающей способности [4].

Результаты моделирования и анализ полученных данных сценария № 2

В рамках второго сценария проведено компьютерное моделирование развития пожара с использованием расчетных параметров реакций горения, соответствующих удельной пожарной нагрузке судовых помещений. Моделирование осуществлялось в восьми служебно-бытовых различной площади (табл. 2, 4).

На основании данных, представленных судостроительными заводами (табл. 1), 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. 4), которые были применены в качестве входных данных для каждого очага пожара в программном продукте Pyrosim.

Таблица 4

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	

Время моделирования пожара принято равным 400 с для каждого помещения. Характеристики пожара для моделирования в Pyrosim приведены на рис. 4.

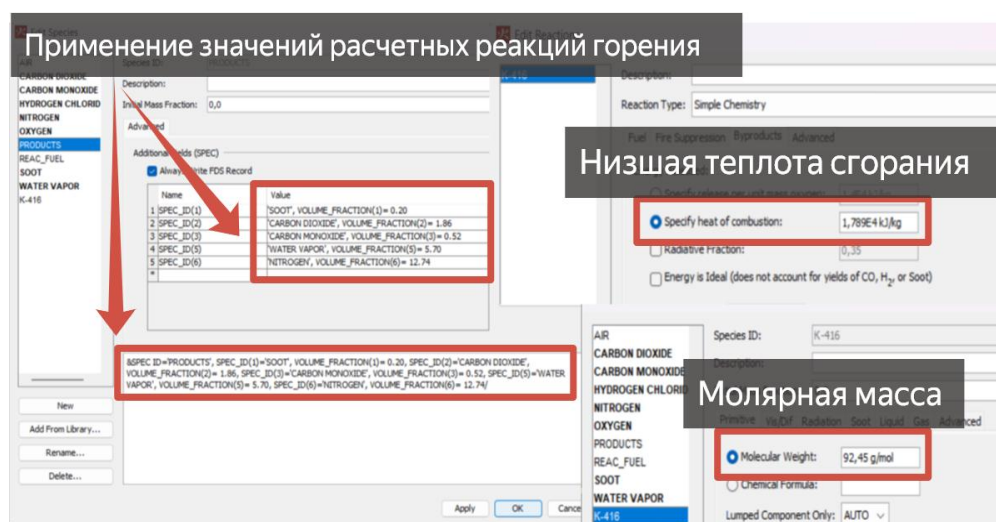


Рис. 4. Применение расчетных значений реакций горения (входные данные) в программном продукте Pyrosim

Для пожарной нагрузки, приведенной в табл. 1, в программном продукте Pyrosim были получены данные для диаграмм МТВ (рис. 5).

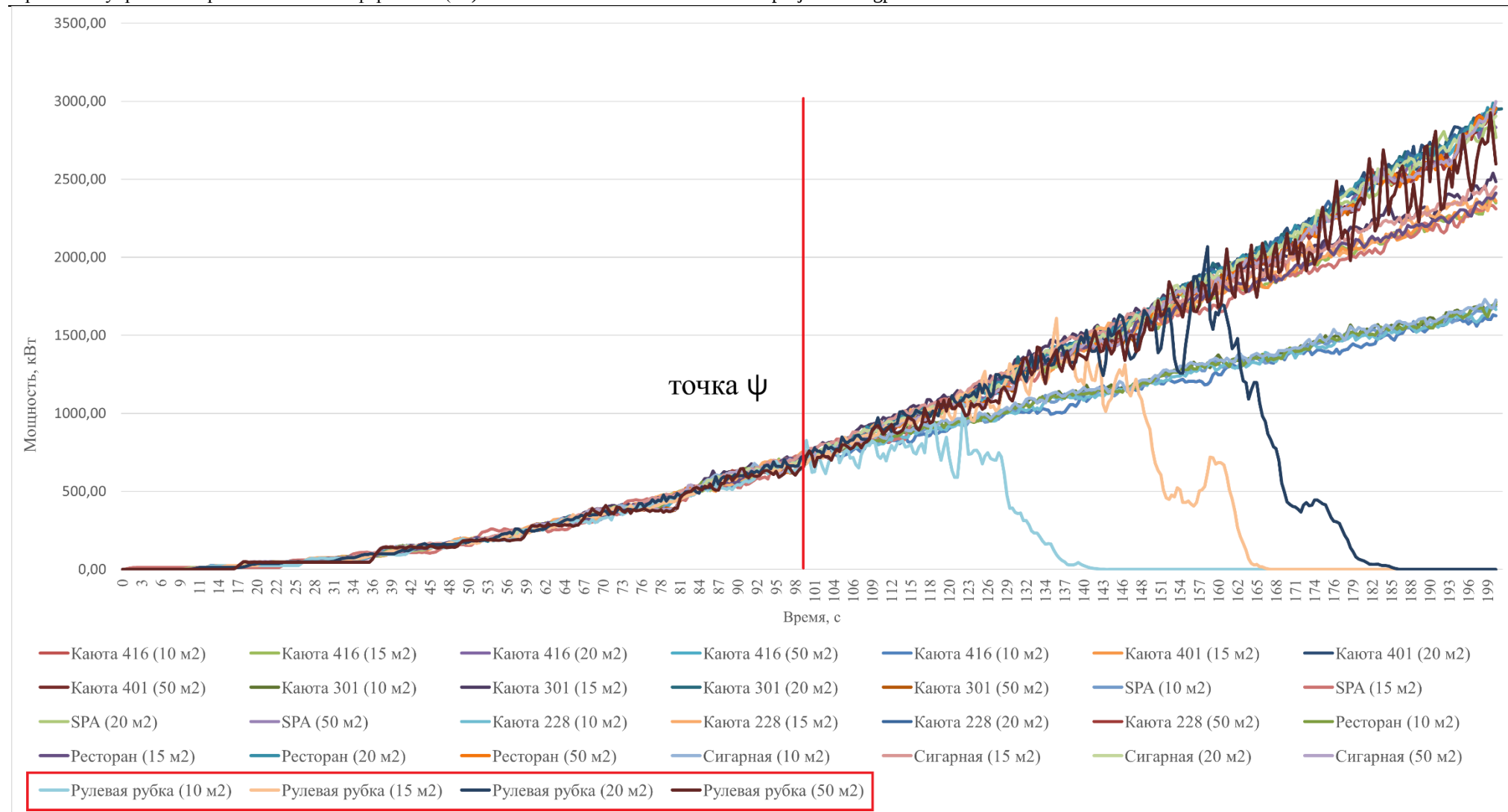


Рис. 5. Диаграмма мощности тепловыделения помещений, где применялись расчетные значения реакций горения

Таблица 5

Карта мощности тепловыделения из очага пожара судовых помещений

Помещение судна	Мощность тепловыделения из очага пожара, кВт															
	100				300				500				1000			
	Площадь судового помещения, м²															
	10	15	20	50	10	15	20	50	10	15	20	50	10	15	20	50
	Время, с															
Каюта № 416	41,2	38,9	37,3	37,3	62,4	64,0	65,2	65,9	83,6	83,3	82,5	83,3	128,8	118,4	116,0	116,8
Гостиная № 401	37,6	38,8	37,6	37,1	64,0	64,8	63,6	66,8	83,7	82,9	83,3	81,9	129,6	119,2	115,2	118,1
Каюта № 301	36,4	36,4	37,6	37,0	62,8	62,8	63,2	66,4	83,6	82,8	83,2	82,1	127,6	114,0	114,4	118,0
SPA-центр	37,7	34,0	39,3	37,2	64,0	66,4	64,4	66,7	82,8	83,2	82,8	82,0	128,0	116,8	116,0	117,4
Каюта № 228	38,0	37,7	38,0	37,2	63,6	62,4	64,1	65,9	83,6	83,2	84,0	82,0	127,7	116,0	115,6	117,2
Ресторан	36,9	38,8	37,6	37,4	62,9	62,0	63,2	66,8	83,3	82,0	83,7	81,7	128,0	117,6	115,2	118,0
Рулевая рубка	41,6	38,0	39,7	37,3	63,2	64,0	64,0	66,9	84,4	84,0	84,4	81,3	–	116,9	115,6	118,4
Сигарная	37,6	36,0	38,0	36,8	62,8	64,0	63,6	67,1	83,6	81,6	83,6	82,4	128,0	113,2	115,6	117,6
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	38,38	37,33	38,14	37,16	63,21	63,80	63,91	66,56	83,58	82,88	83,44	82,09	128,24	116,51	115,45	117,69

Анализируя данные МТВ (рис. 5, табл. 5, 6) точка ψ была зафиксирована в диапазоне времени 99,6–101,6 с для заданных помещений со средней МТВ 727,7 кВт. Независимо от площади помещения, где развивается пожар, зарегистрировано равномерное повышение МТВ до момента достижения точки ψ . Исключением является пожар в помещениях рулевой рубки, где точка ψ была достигнута на 61,6 с, МТВ составила – 268 кВт. Динамика развития пожара в помещениях рулевой рубки существенно выше относительно других помещений, заданных при моделировании сценария № 2. Данный факт обусловлен выделением хлороводорода при термическом разложении материалов, содержащих поливинилхлорид.

Таблица 6

МТВ при достижении точки ψ (сценарий № 2)

Функциональное назначение судна	Площадь помещения, м ²	Точка ψ , с	МТВ, кВт	Среднее значение МТВ, кВт
Каюта № 416	10 м ²	101,0	720	731
	15 м ²		750	
	20 м ²		736	
	50 м ²		721	
Гостиная № 401	10 м ²	100,9	725	725
	15 м ²		736	
	20 м ²		722	
	50 м ²		717	
Каюта № 301	10 м ²	99,6	729	723
	15 м ²		731	
	20 м ²		719	
	50 м ²		716	
SPA-центр	10 м ²	100,4	719	727
	15 м ²		729	
	20 м ²		734	
	50 м ²		727	
Каюта № 228	10 м ²	101,6	738	740
	15 м ²		751	
	20 м ²		745	
	50 м ²		727	
Ресторан	10 м ²	99,6	729	719
	15 м ²		717	
	20 м ²		709	
	50 м ²		720	
Сигарная	10 м ²	99,6	726	729
	15 м ²		756	
	20 м ²		716	
	50 м ²		719	
Рулевая рубка	10 м ²	61,6	270	268
	15 м ²		264	
	20 м ²		263	
	50 м ²		277	

Соответственно, для эффективного оснащения объекта защиты огнетушителями необходимо учитывать функциональное назначение помещения, основываясь на удельной пожарной нагрузке, площади данного помещения и типоразмере огнетушителя, исходя из мощности его теплопоглощающей способности.

$$\psi = \frac{Q_{\text{помещения}} \cdot S}{W_{\text{теплопоглощения}}},$$

где ψ – временной интервал, до которого целесообразно применение огнетушителя данного типоразмера исходя из мощности тепловыделения защищаемого помещения, с; $Q_{\text{помещения}}$ –

удельная пожарная нагрузка помещения, кДж/м²; S – площадь помещения, м²; $W_{\text{теплопоглощения}}$ – мощность теплопоглощения огнетушителя, кДж/с.

Точка ψ – это временной интервал, при котором МТВ очага пожара достигает величины, соответствующей максимальной эффективной мощности теплопоглощения выбранного типоразмера огнетушителя, но не позднее момента перехода к устойчивому развитию пожара.

Заключение

В целях повышения эффективности применения ПСП на судах и разработки методики оснащения судов огнетушителями необходим иной подход параметризации огнетушителей. Оснащать объекты защиты огнетушителями исходя из площади помещения и его функционального назначения является недостаточным. Необходимо классифицировать помещения объекта исходя из теплофизических характеристик пожарной нагрузки и огнетушащего вещества, то есть по мощности тепловыделения и теплопоглощения [5, 6]. Также необходимо учитывать места размещения огнетушителей на объекте. Ранее авторами была проведена серия натурных испытаний по определению скорости движения людей с огнетушителями различного типоразмера [14, 15]. Для каждого типоразмера огнетушителя были определены поправочные коэффициенты, учитывающие влияние массы и габаритов огнетушителя на человека. Полученные расчетно-экспериментальные значения и коэффициенты были апробированы в программных продуктах^{7,8} [16].

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. Шарапов С.В., Крутолапов А.С., Копейкин Н.Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 52–60.
3. Анализ нормативных требований к огнетушителям, размещаемым на судах / Д.Ф. Кожевин [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 3. Ч. 1. С. 170–178.
4. Кожевин Д.Ф. Концепция перспективного развития первичных средств порошкового пожаротушения // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 7 (259). С. 44–50. EDN ZDKCDW.
5. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 4. С. 60–82. EDN OZZUSH.
6. Кожевин Д.Ф. Обоснование механизма огнетушащего действия порошка на основании анализа его фракционного состава в нестационарном газопорошkovом потоке // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 175–189. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-175-189
7. 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
8. 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
9. Ioanna A. Koromila, Kostas J. Spyrou Design Fire Methodology for Vehicle Spaces Onboard Ships // Journal Fire Technology. 2023. № 59. P. 1725–1759.

⁷ Программа Pathfinder – расчет времени эвакуации людей

⁸ Программа Pyrosim – полевая модель пожара.

10. 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
11. 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
12. 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
13. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. 119 с.
14. 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.
15. 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/vniipro.pb.2025.118.1.003
16. Кожевин Д.Ф., Естехин В.Г. Моделирование движения людей с отягощением в виде огнетушителя на объектах транспортной инфраструктуры // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2025. № 3. С. 42–51.

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. Sharapov S.V., Krutolapov A.S., Kopejkin N.N. Analiz informacii o pozharah na sudah i o praktike ih tusheniya v portah // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 1. S. 52–60.
3. Analiz normativnyh trebovanij k ognetushitel'nyh, razmeshchaemym na sudah / D.F. Kozhevin [i dr.] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2023. № 3. Ch. 1. S. 170–178.
4. Kozhevin D.F. Konceptiya perspektivnogo razvitiya pervichnyh sredstv poroshkovogo pozharotusheniya // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2022. № 7 (259). S. 44–50. EDN ZDKCDW.
5. Abduragimov I.M. O mekhanizmah ognetushashchego dejstviya sredstv pozharotusheniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. № 4. S. 60–82. EDN OZZUSH.
6. 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
7. 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.
8. 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
9. Ioanna A. Koromila, Kostas J. Spyrou Design Fire Methodology for Vehicle Spaces Onboard Ships // Journal Fire Technology. 2023. № 59. P. 1725–1759.
10. 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
11. 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
12. 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
13. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii: ucheb. posobie / Yu.A. Koshmarov [i dr.]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2000. 119 s.

14. 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.
15. 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
16. Kozhevin D.F., Estekhin V.G. Modelirovanie dvizheniya lyudej s otyagoshcheniem v vide ognetushitelya na ob"ektah transportnoj infrastruktury // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*. 2025. № 3. S. 42–51.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.11.2025; одобрена после рецензирования: 26.01.2026;
принята к публикации: 02.03.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.11.2025; approved after review: 26.01.2026;
accepted for publication: 02.03.2026

Информация об авторах:

Кожевин Дмитрий Федорович, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru, SPIN-код: 9647-7196

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:

Kozhevin Dmitrii F., chief of the physical and chemical bases of the burning and extinguishing processes department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: Yagmort_KDF@mail.ru, SPIN: 9647-7196

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