

О точности и достоверности сравнительной оценки эффективности переносных огнетушителей при пожаротушении конструкционных и отделочных материалов автомобилей

© Д.С. Куприн¹ ✉, А.С. Поляков²

- ¹ ООО НПО «СОПОТ» (Россия, 196641, г. Санкт-Петербург, дор. на Металлострой, 5А)
² Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность настоящей работы состоит в необходимости обеспечения объективной сравнительной оценки огнетушителей. При этом особое внимание должно быть уделено эффективности огнетушащего вещества (заряда огнетушителя), поскольку именно оно наибольшим образом влияет на процесс тушения пожара. Целью настоящей работы является подтверждение применимости сформированного безразмерного показателя эффективности переносных огнетушителей, оценка точности (правильности и прецизионности) измерений и их статистической значимости.

Материалы и методы. Использована методика ГОСТ Р 51057–2001 по тушению модельных очагов пожара класса А. Модельный очаг пожара дополнительно оснащен прикрепленными к его верхней грани образцами материалов под углами, значения которых получены на специальном экспериментальном стенде. Испытания проводились на специальном экспериментальном стенде для определения углов наклона образцов из различных материалов, при котором огнетушащее вещество, нанесенное на их поверхности, не стекает или не осыпается. Оценка точности (правильности и прецизионности) измерений проведена по методикам ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 и ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002. Оценка статистической значимости измерений выполнена по t-критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Приведены результаты экспериментов по определению угла наклона поверхности очага пожара, при котором на ней удерживается наносимое при пожаре огнетушащее вещество. Приведены результаты сравнительных огневых испытаний огнетушителей с быстротвердеющей пеной и огнетушителей порошковых. Представлена формула безразмерного показателя эффективности переносных огнетушителей, и доказана ее применимость.

Выводы. Оценка точности измерений, проведенная в соответствии с методиками нормативных документов, показала правомочность использования среднеарифметических значений всех показателей для расчета показателя эффективности P_{30} . Оценка статистической значимости с помощью t-критерия Стьюдента полученных в результате экспериментов значений всех показателей продемонстрировала, что различия их среднеарифметических значений являются достоверными и не носят случайный характер. Экспериментально доказано превосходство огнетушителя с быстротвердеющей пеной над огнетушителем порошковым по показателю P_{30} более чем в 50 раз, что обусловлено комплексным воздействием огнетушащего вещества и конструкции огнетушителя.

Ключевые слова: комплексный показатель эффективности; огнетушитель; быстротвердеющая пена; огнетушащий порошок; тушение пожара; испытания

Для цитирования: Куприн Д. С., Поляков А. С. О точности и достоверности сравнительной оценки эффективности переносных огнетушителей при пожаротушении конструкционных и отделочных материалов автомобилей // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 88–97. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.88-97

✉ Куприн Денис Сергеевич, e-mail: dskuprin@mail.ru

The accuracy and reliability of comparative efficiency assessment of portable fire extinguishers used in the process of fire extinguishing of structural components of motor vehicles and automotive finishing

© Denis S. Kuprin¹ ✉, Aleksandr S. Polyakov²

- ¹ LLC RPA "SOPOT" (Road to Metallostroy, 5A, Saint Petersburg, 196641, Russian Federation)
² Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this work resides in the need to perform an unbiased comparative assessment of fire extinguishers. The focus must be placed on the efficiency of a fire-fighting agent, as it has a major impact on the process of fire extinguishing. The purpose of this work is to confirm the applicability of a dimensionless efficiency indicator of portable fire extinguishers, assess the measurement accuracy (correctness and precision) and their statistical values.

Materials and methods. The co-authors used the methodology specified in GOST R 51057–2001 applicable to the fire extinguishing of class A model fire seats. The model fire seat had samples of materials attached to its upper edge at the angles whose values were obtained using a specialized test bed. A specialized test bed was used to perform the testing and identify the sample's inclination angles that prevented the fire extinguishing agent, applied to their surface, from streaming down or crumbling. The accuracy (correctness and precision) was assessed pursuant to the methodologies specified in GOST R ISO 5725-1–2002, GOST R ISO 5725-6–2002. The statistical significance of measurements was assessed using Student's *t*-test.

Results and discussion. The co-authors offer the results of the experiments aimed at the identification of an inclination angle of the fire seat surface that prevents the fire extinguishing agent from streaming down or crumbling. The results of comparative fire testing of fire extinguishers that contain quick setting foam and powder are provided. The formula of a dimensionless efficiency indicator, applicable to portable fire extinguishers, is provided, and its applicability is proven.

Conclusions. The measurement accuracy assessment, performed pursuant to the methodologies, specified in the regulations, has shown the effectiveness of mean arithmetic values of all indicators applied to calculate P_{eo} efficiency indicator. The assessment of the statistical significance of experimentally obtained values of all indicators, performed with the help of Student's *t*-test, has demonstrated that the discrepancy of their mean arithmetic values is reliable and it doesn't have a random nature. The superiority of the quick setting foam extinguisher over the powder one was proven in an experiment. The value of its P_{eo} efficiency indicator exceeds the one of a powder extinguisher 50-fold due to the comprehensive impact made by the extinguishing agent and the construction of a fire extinguisher.

Keywords: comprehensive efficiency indicator; fire extinguisher; quick setting foam; fire extinguishing powder; fire-fighting; tests

For citation: Kuprin D.S., Polyakov A.S. The accuracy and reliability of comparative efficiency assessment of portable fire extinguishers used in the process of fire extinguishing of structural components of motor vehicles and automotive finishing. *Pozharovzrybobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):88-97. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.88-97 (rus).

✉ Denis Sergeevich Kuprin, e-mail: dskuprin@mail.ru

Введение

Существует большое количество огнетушителей, различающихся по объему, типу огнетушащего вещества (ОТВ), его массе, способу вытеснения и др. [1–6], поэтому необходима методика проведения адекватного сравнения их эффективности. В связи с этим учеными разработаны различные подходы к определению эффективности огнетушителей [7–11].

На основе анализа цитируемых работ и собственного опыта тушения пожаров, в частности, твердых горючих материалов (ТГМ), с помощью огнетушителей авторами сформирован безразмерный комплексный показатель эффективности пожаротушения $\Pi_{\text{эо}}$, включающий в себя, помимо прочих, показатели, которые ранее в научных работах не учитывались [16]:

$$\Pi_{\text{эо}} = \frac{h \Delta t \Delta T F \sin \alpha}{\tau_{\text{лпг}} T_k V_{\text{отв}}}, \quad (1)$$

где h — толщина слоя ОТВ, образовавшегося на поверхности потушенного объекта пожара, м (измеряют с помощью металлической линейки, соответствующей требованиям ГОСТ 427–75¹,

с максимальным относительным отклонением расстояния между делениями 0,03 %);

Δt — время с момента ликвидации пламенного горения до момента полного окончания подачи ОТВ на очаг пожара, с (измеряют с помощью секундомера механического, соответствующего требованиям ГОСТ 8.423–81², с максимальной относительной погрешностью измерения 0,05 %), характеризует временной отрезок, в течение которого на объекте пожара может накапливаться слой ОТВ: чем больше этот временной отрезок, тем больший слой ОТВ может быть создан на поверхности и тем меньше риск повторного воспламенения;

ΔT — разность температур поверхности объекта пожара, °C (рассчитывают после огневого испытания как разность конечной и начальной температур поверхности очага пожара), характеризует степень охлаждения объекта пожара в результате его тушения: чем выше разность температур, тем выше эффективность огнетушителя;

F — площадь свободной поверхности объекта пожара, м² (значение площади свободной поверх-

¹ ГОСТ 427–75. Линейки измерительные металлические. Технические условия : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24 октября 1975 г. № 2690.

² ГОСТ 8.423–81. Государственная система обеспечения единства измерений. Секундомеры механические. Методы и средства поверки : введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 14 мая 1981 г. № 2371.

ности модельного очага пожара установлено Приложением В, табл. В.1 ГОСТ Р 51057–2001³, максимальная относительная погрешность значения площади в результате изготовления очагов пожара составляет 2 %);

$\sin \alpha$ – синус угла наклона поверхности объекта пожара (угол измеряют с помощью специального экспериментального стенда, максимальная относительная погрешность измерения составляет 2,5 %), характеризует угол наклона очага пожара, на поверхности которого может удерживаться огнетушащее вещество. С помощью данной характеристики косвенно определяется адгезионная способность огнетушащего вещества к тому или иному материалу. Адгезионная способность имеет высокое значение в процессе тушения пожара, поскольку способность ОТВ удерживаться на поверхности горящего или подвергаемого высокотемпературному воздействию материала, обеспечивая его защиту, значительно повышает эффективность тушения;

$\tau_{\text{лпг}}$ — время ликвидации пламенного горения, с (измеряют с помощью секундомера механического, соответствующего требованиям ГОСТ 8.423–81, с максимальной относительной погрешностью измерения 0,05 %);

$T_{\text{к}}$ — конечная температура поверхности объекта пожара, °С (измеряют бесконтактным методом с помощью пирометра, соответствующего требованиям ГОСТ 28243–96⁴, с максимальной относительной погрешностью измерения 1,5 %); при этом безопасной может считаться температура не выше 240 °С, которая является температурой воспламенения хвойной древесины [17];

$V_{\text{отв}}$ — объем использованного на тушение ОТВ, м³ (рассчитывают после огневого испытания путем вычитания остатка ОТВ в огнетушителе из его начального объема, остаток ОТВ определяют путем заполнения мерной емкости, соответствующей требованиям ГОСТ 1770–74⁵, с максимальной относительной погрешностью измерения 1 %).

Авторами проведено экспериментальное сравнение огнетушителя ОППТ-6 (в качестве заряда приме-

няется быстротвердеющая пена, выбор которой обусловлен ее высокой эффективностью при тушении ТГМ [12–15]), и огнетушителя порошкового ОП-6(з)-АВСЕ, для каждого определен показатель эффективности. У огнетушителя ОППТ-6 он оказался более чем в 50 раз выше, чем у ОП-6(з)-АВСЕ [16].

В настоящей работе приведены результаты проверки приемлемости огнетушителей в целях пожаротушения (по условиям повторяемости и оценки статистической значимости данных по t -критерию Стьюдента).

Материалы и методы

Для определения угла α (с целью сокращения необходимого количества огневых испытаний) разработан экспериментальный стенд (рис. 1), который позволяет использовать образцы основных твердых материалов, применяемых в автомобилях: резина, твердый пластик, натуральная кожа, окрашенная сталь.

На расположенный горизонтально образец материала 1 наносят ОТВ из огнетушителя в количестве, при котором на поверхности создается слой ОТВ толщиной 3 мм. Образец крепят на платформе 3, после чего ее плавно поднимают со скоростью не более 2 град./с и следят за углом наклона по шкале 2. Платформу поднимают до тех пор, пока с поверхности образца не начнет стекать или осыпаться ОТВ. Искомым углом наклона является максимальный угол наклона платформы, при котором ОТВ не стекает или не осыпается с поверхности образца. Для каждого вида ОТВ и материала образца проводят четыре параллельных испытания и вычисляют среднее значение угла.

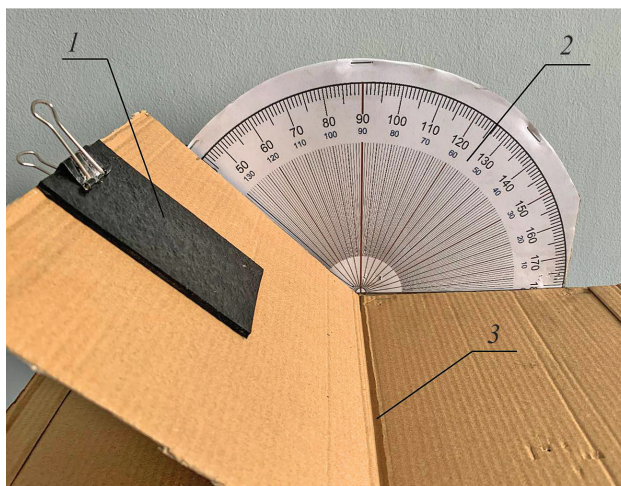


Рис. 1. Экспериментальный стенд для определения угла наклона защищаемой поверхности: 1 — образец защищаемой поверхности; 2 — шкала угла наклона; 3 — наклоняемая платформа

Fig. 1. An experimental test bed designated for the identification of an inclination angle of the protected surface: 1 — sample protected surface; 2 — inclination angle scale; 3 — sloping platform

³ ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний : принят постановлением Госстандарта РФ от 25 октября 2001 г. № 435-ст.

⁴ ГОСТ 28243–96. Пирометры. Общие технические требования : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 9 от 12 апреля 1996 г.).

⁵ ГОСТ 1770–74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 18 ноября 1974 г. № 2547.

Следующий этап определения угла α состоял в подтверждении значений углов результатами огневых испытаний.

Для этого образцы материалов крепили на верхней грани модельного очага пожара (рис. 2) под углами наклона, значения которых были получены в результате предыдущего этапа экспериментов.

Остальные величины формулы (1) также определяли в ходе огневых испытаний по методике ГОСТ Р 51057–2001 на модельном очаге пожара ранга 1А. Возможность использования древесины в качестве горючего материала обусловлена несущественным различием пожароопасных свойств древесины и других твердых материалов, используемых в автомобилях [17–18].

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов по определению значений углов наклона образцов на экспериментальном стенде (см. рис. 1), а также оценка их приемлемости по условиям повторяемости по ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002⁶, ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002⁷ приведены в табл. 1 и 2.

Во всех измерениях значение диапазона (размаха) измерений не превышает своего критического значения. Следовательно, для дальнейших расчетов формулы (1) правомерно использовать среднеарифметические значения.

Среднеарифметическое значение угла наклона образцов разных материалов с нанесенной на их по-

⁶ ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения : принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст.

⁷ ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике : принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст.

Таблица 1. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для ОТПТ-6)

Table 1. Measurements suitability check by repeatability conditions (for ОТПТ-6)

Материал образца Sample of the material	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
Окрашенная сталь Painted steel	50°	60°	55°	60°	10°	19°
Твердый пластик Hard plastic	55°	65°	70°	70°	15°	28°
Резина Rubber	70°	80°	90°	90°	20°	38°
Натуральная кожа Natural leather	80°	80°	85°	85°	5°	11°



Рис. 2. Образцы твердых горючих материалов, закрепленные на модельном очаге пожара ранга 1А: 1 — модельный очаг пожара 1А; 2 — резина; 3 — окрашенная сталь; 4 — натуральная кожа; 5 — твердый пластик

Fig. 2. Samples of solid combustible materials attached to 1A model fire seat: 1 — 1A model fire seat; 2 — rubber; 3 — painted steel; 4 — natural leather; 5 — hard plastic

верхности быстротвердеющей пеной составляет 72° против 38° с огнетушащим порошком.

Значения показателей формулы (1), полученные в результате огневых испытаний на модельном очаге пожара ранга 1А, а также оценка их приемлемости по условиям повторяемости по ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002, ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002 приведены в табл. 3 и 4.

В процессе огневых испытаний слои ОТВ с поверхностей образцов не стекали и не осыпались. Таким образом, значения углов, указанных в табл. 1 и 2, подтверждены.

Во всех измерениях значение диапазона (размаха) измерений не превышает своего критического

Таблица 2. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для ОП-6(з)-ABCE)

Table 2. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OP-6(z)-ABCE fire extinguisher)

Материал образца Sample of the material	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
Окрашенная сталь Painted steel	45°	35°	35°	40°	10°	19°
Твердый пластик Hard plastic	35°	35°	30°	30°	5°	11°
Резина Rubber	40°	40°	40°	35°	5°	10°
Натуральная кожа Natural leather	40°	40°	45°	40°	5°	10°

Таблица 3. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для огнетушителя ОПТ-6)

Table 3. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OPT-6 fire extinguisher)

Показатель Indicator	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
$T_k, ^\circ\text{C}$	52	47	68	54	21	35
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	596	565	597	635	70	112
$h, \text{м} / \text{м}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
$\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$ $\tau_{\text{лрг}}, \text{с}$	18	21	23	16	7	12
$\Delta \tau, \text{с} / \text{с}$	54	51	45	57	12	20
$V_{\text{отв}}, \text{м}^3$ $V_{\text{сет}}, \text{м}^3$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4. Проверка приемлемости измерений по условиям повторяемости (для огнетушителя ОП-6(з)-ABCE)

Table 4. Measurement acceptability check performed using repeatability conditions (for OP-6(z)-ABCE fire extinguisher)

Показатель Indicator	Номер эксперимента Experiment number				Диапазон (размах) измерений $x_{\max} - x_{\min}$ Measurement range (span) $x_{\max} - x_{\min}$	Критическое значение диапазона при $n = 4$ и доверительной вероятности 0,95 Critical range value at $n = 4$ and confidence probability 0.95
	1	2	3	4		
$T_k, ^\circ\text{C}$	126	157	143	185	59	98
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	526	521	518	508	18	30
$h, \text{м} / \text{м}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
$\tau_{\text{лпг}}, \text{с}$ $\tau_{\text{лрг}}, \text{с}$	45	51	48	53	6	14
$\Delta \tau, \text{с}$	22	17	17	11	11	18
$V_{\text{отв}}, \text{м}^3$ $V_{\text{сет}}, \text{м}^3$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Объем огнетушащего порошка в огнетушителе ОП-6 определен с помощью заполнения им мерной емкости и уплотнения порошка путем постукивания емкости о твердую поверхность в течение 5 мин.

значения. Следовательно, для дальнейших расчетов показателя эффективности (1) правомерно использовать среднеарифметические значения.

Для определения достоверности различий среднеарифметических значений полученных результатов по каждому из показателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ использовали t -критерий Стьюдента. Так, для каждого показателя вычислили эмпирическое значение t -критерия по формуле [19]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (2)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — среднеарифметические значения соответствующих показателей ($\bar{x}_1 > \bar{x}_2$);

s_1^2 — дисперсии соответствующих показателей;
 s_2^2 — количество параллельных измерений соответствующих показателей.

Затем сравнили полученное значение t с табличным значением при 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы, вычисленном по формуле $f = n_1 + n_2 - 2$. В случае, если оно больше или равно табличному, то различие между среднеарифметическими одного и того же показателя для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ принимают статистически достоверным при уровне значимости 5 %. В противном случае считают, что различие носит случайный характер. Табличное значение t составляет 2,45.

Результаты определения достоверности различий среднеарифметических значений каждого из по-

Таблица 5. Эмпирические значения t -критерия Стьюдента для показателей ОТПТ-6 и ОП-6(з)-АВСЕ

Table 5. Empirical values of indicators obtained for OTPT-6 and OP-6(z)-ABCE fire extinguishers in the course of Student's t -testing

Огнетушитель Fire extinguisher	Номер эксперимента Experiment number				$\bar{x}$	s^2	t
	1	2	3	4			
Угол наклона окрашенной стали с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of a painted steel sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	50	60	55	60	56	22,92	5,17
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	45	35	35	40	39	22,92	
Угол наклона твердого пластика с нанесенным на его поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of a hard plastic sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	55	65	70	70	65	50,00	8,51
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	35	35	30	30	33	8,33	
Угол наклона резины с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of the rubber sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 / OTPT-6 fire extinguisher	70	80	90	90	83	91,67	8,84
ОП-6(з)-ABCE / OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	40	40	40	35	39	6,25	
Угол наклона натуральной кожи с нанесенным на ее поверхность ОТВ, α, град. Inclination angle of the natural leather sample with the fire extinguishing agent on its surface, α, degrees							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	80	80	85	85	83	8,33	21,60
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	40	40	45	40	41	6,25	
Конечная температура поверхности объекта пожара T_k , °C Final surface temperature of the fire seat T_k , °C							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	52	47	68	54	55	80,92	7,35
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	126	157	143	185	153	622,92	

Огнетушитель Fire extinguisher	Номер эксперимента Experiment number				$\bar{x}$	s^2	t
	1	2	3	4			
Разность температур поверхности объекта пожара, ΔT , °C Temperature difference of the fire seat surface, ΔT , °C							
ОТПТ-6 O TPT-6 fire extinguisher	596	565	597	635	598	820,92	5,40
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	526	521	518	508	518	57,58	
Толщина слоя ОТВ на поверхности потушенного объекта пожара, h , м Fire extinguishing agent layer on the surface of the fire seat, h , m							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	10^{-7}	5,06
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	
Время ликвидации пламенного горения, $\tau_{\text{лпг}}$, с Time of the flame combustion elimination $\tau_{\text{лпг}}$, s							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	18	21	23	16	20	9,67	12,71
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	45	51	48	53	49	12,25	
Время с момента ликвидации пламенного горения до момента полного окончания подачи ОТВ на очаг пожара, $\Delta\tau$, с Time period from the flame combustion elimination till the end of the fire extinguishing agent feed, $\Delta\tau$, s							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	54	51	45	57	52	26,25	10,27
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	22	17	17	11	17	20,25	
Объем использованного на тушение ОТВ, $V_{\text{отв}}$, м³ Amount of the fire extinguishing agent used to extinguish the fire, $V_{\text{отв}}$, m³							
ОТПТ-6 OTPT-6 fire extinguisher	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	13,06
ОП-6(з)-ABCE OP-6(z)-ABCE fire extinguisher	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$	

казателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-ABCE с использованием t -критерия Стьюдента приведены в табл. 5.

Во всех случаях рассчитанное значение показателя α выше табличного, что свидетельствует о достоверности различия среднеарифметических значений всех показателей для ОТПТ-6 и ОП-6(з)-ABCE.

Исходя из результатов статистических проверок, представленных выше, для расчета показателя эффективности огнетушителя по формуле (1) правомерно использовать среднеарифметические значения всех показателей, полученных в резуль-

тате экспериментов. Таким образом, ОТПТ-6 имеет $\Pi_{30} = 38,43$; у ОП-6(з)-ABCE – $\Pi_{30} = 0,69$. Их соотношение друг к другу превышает 50 раз.

Оценка относительной погрешности расчета показателя (1) проведена по формуле [20]:

$$\delta\Pi_{30} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta x_i)^2}, \quad (3)$$

где n — количество показателей в формуле;

δ_{xi} — относительная погрешность показателя x_i .

Тогда

$$\delta\Pi_{30} = \sqrt{(\delta h)^2 + (\delta(\Delta\tau))^2 + (\delta(\Delta T))^2 + (\delta F)^2 + (\delta \sin \alpha)^2 + (\delta \tau_{\text{лпг}})^2 + (\delta T_{\kappa})^2 + (\delta V_{\text{отв}})^2}.$$

Таким образом, для Π_{30} значение относительной погрешности составляет 3,97 %, т.е.

$$\Pi_{30}^{\text{ОПТ-6}} = 38,43 \pm 1,53; \quad \Pi_{30}^{\text{ОП-6(3)-ABCE}} = 0,69 \pm 0,03.$$

Выводы

Оценка точности измерений, проведенная в соответствии с методиками нормативных документов, показала правомочность использования среднеарифметических значений всех показателей для расчета показателя эффективности Π_{30} .

Оценка статистической значимости с помощью t -критерия Стьюдента полученных в результате экспериментов значений всех показателей показала, что различия их среднеарифметических значений являются достоверными и не носят случайный характер.

Экспериментально доказано превосходство огнетушителя с быстротвердеющей пеной над огнетушителем порошковым по показателю Π_{30} более чем в 50 раз, что обусловлено комплексным воздействием огнетушащего вещества и конструкции огнетушителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Собурь С.В.* Огнетушители : справочник. 2-е изд., доп. (с изм.). М. : Спецтехника, 2003. 96 с.
2. *Собурь С.В.* Огнетушители : учеб.-справ. пособие. 11-е изд., с изм. М. : ПожКнига, 2018. 80 с.
3. *Robin M.L., Anderson E.H.* Portable fire extinguishers: Selection and distribution // International Fire Protection. 2004. No. 20. Pp. 32–34.
4. *Walker S.* Portable extinguishers — training is the key to safe and effective use // International Fire Protection. 2008. No. 34. Pp. 67–71.
5. *Collins G.* Portables, the first line of defense // International Fire Protection. 2011. No. 46. Pp. 39–30.
6. *Bristow M.* Servicing fire extinguishers // International Fire Protection. 2019. No. 77. Pp. 34–35.
7. *Пивоваров В.В.* Разработка тактико-технических показателей и оценка эффективности огнетушителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : ВИПТШ, 1988. 22 с.
8. *Сытдыков М.Р.* Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз) : дис. ... канд. тех. наук. СПб. : С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 115 с.
9. *Кожевин Д.Ф.* Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей : дис. ... канд. тех. наук. СПб. : С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011. 120 с.
10. *Сорокин И.А., Поляков А.С., Кожевин Д.Ф.* Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 2. С. 16–23.
11. *Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е.* Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980.
12. *Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V.* Silica foams for fire prevention and firefighting // ACS Applied Materials & Interfaces. 2016. Vol. 8 (1). Pp. 294–301. DOI: 10.1021/acsami.5b08653
13. *Kuprin D.S.* Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles // Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2017. Vol. 81 (1). Pp. 36–41. DOI: 10.1007/s10971-016-4285-8
14. *Kuprin G.N., Kuprin D.S., Cabanzon Z.S.* Las modernas tecnologías de extincion de incendios de la Compania RSL USP “SOPOT” // “24/7”. Edicion № 4. Enero. 2018. Pp. 36–38.
15. *Kuprin G.N., Kuprin D.S.* Fast-hardening foam: Fire and explosion prevention at facilities with hazardous chemicals. Journal of Materials Science Research. 2017; 6(4):56–61. DOI 10.5539/jmsr.v6n4p56
16. *Куприн Д.С., Поляков А.С.* Об эффективности переносных огнетушителей при тушении твердых горючих материалов автомобилей // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 4. С. 32–39.
17. *Корольченко А.Я., Корольченко Д.А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. Ч. 1. М. : Ассоциация «Пожнаука», 2004. 713 с.

18. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. Ч. 2. М. : Ассоциация «Пожнаука», 2004. 774 с.
19. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики : учебник / под ред. И.И. Елисеевой. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Финансы и статистика, 2004. 656 с.
20. Голицына О.М., Меремьянин А.В., Рисин В.Е. Математическая обработка результатов измерений в лабораторном практикуме по курсу общей физики : учеб.-метод. пособие. Издательский дом ВГУ, 2015. 20 с.

REFERENCES

1. Sobur' S.V. *Fire-extinguishers : handbook*. 2nd edition. Moscow, Spectehnika Publ., 2003; 96. (rus).
2. Sobur' S.V. *Fire-extinguishers : learning manual*. 11th edition. Moscow, PozhKniga Publ., 2018; 80. (rus).
3. Robin M.L., Anderson E.H. Portable fire extinguishers: Selection and distribution. *International Fire Protection*. 2004; 20:32-34.
4. Walker S. Portable extinguishers — training is the key to safe and effective use. *International Fire Protection*. 2008; 34:67-71.
5. Graham Collins. Portables, the first line of defense. *International Fire Protection*. 2011; 46:39-30.
6. Mark Bristow. Servicing fire extinguishers. *International Fire Protection*. 2019; 77:34-35.
7. Pivovarov V.V. *Development of tactical and technical indicators and fire-extinguishers efficiency assessment : dissertation abstract ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1988; 22. (rus).
8. Sytdykov M.R. *Efficiency assessment method for the powder fire-extinguisher with built-in porous container (applicable to fire dangerous production oil assets) : dissertation of the candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2013; 115. (rus).
9. Kozhevin D.F. *Method of the complex efficiency assessment of fire-extinguishers : dissertation of the candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2011; 120. (rus).
10. Sorokin I.A., Polyakov A.S., Kozhevin D.F. Method for evaluating the effectiveness of powder fire extinguishers. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MCHS Rossii*. 2020; 2:16-23. (rus).
11. Abduragimov I.M., Govorov V.Yu., Makarov V.E. *Physicochemical foundations of the development and extinguishing of fires*. Moscow, VIPTSh Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1980. (rus).
12. Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V. Silica foams for fire prevention and firefighting. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2016; 8(1):294-301. DOI: 10.1021/acsami.5b08653
13. Kuprin D.S. Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles. *Journal of sol-gel science and technology*. 2016; 81(1):36-41. DOI: 10.1007/s10971-016-4285-8.
14. Kuprin G.N., Kuprin D.S., Sergio Zubizarreta Cabanzon. Las modernas tecnologias de extincion de incendios de la Compania RSL USP "SOPOT". "24/7". *Edicion No 4 Enero*. 2018; 36-38.
15. Kuprin G.N., Kuprin D.S. Fast-hardening foam: Fire and explosion prevention at facilities with hazardous chemicals. *Journal of Materials Science Research*. 2017; 6(4):56-61. DOI: 10.5539/jmsr.v6n4p56
16. Kuprin D.S., Polyakov A.S. *About efficiency of the handle fire-extinguishers for the automobile solid combustible materials fire-extinguishing*. St. Petersburg, St. Petersburg State Fire University of Emercom of Russia Publ., 2020; 4; 32-39. (rus).
17. Korol'shenko A.Ya., Korol'shenko D.A. *Fire and explosion danger of substances and materials and fire-extinguishing means for them : handbook*. Part. 1. Moscow, Association "Pozhnauka", 2004; 713. (rus).
18. Korol'shenko A.Ya., Korol'shenko D.A. *Fire and explosion danger of substances and materials and fire-extinguishing means for them : handbook*. Part. 2. Moscow, Association "Pozhnauka", 2004; 7774. (rus).
19. Eliseeva I.I., Uzbashiev M.M. General theory of statistics ; I.I. Eliseeva (ed.). 5th ed., refined and supplemented. Moscow, Finance and statistics Publ., 2004; 656. (rus).
20. Golicina O.M., Meremyanin A.V., Risin V.E. *Mathematical processing of the measurements results in the lab practice of the general physics studying: Studying and methodical edition*. Voronezh, VGU Publ., 2015; 20. (rus).

Поступила 25.01.2021, после доработки 11.02.2021;

принята к публикации 02.03.2021

Received January 25, 2021; Received in revised form February 11, 2021;

Accepted March 2, 2021

Информация об авторах

КУПРИН Денис Сергеевич, начальник лаборатории пожаровзрывопредотвращения, ООО НПО «СОПОТ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-3087-4895; e-mail: dskuprin@mail.ru

ПОЛЯКОВ Александр Степанович, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 554236; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru

Information about the authors

Denis S. KUPRIN, Head of Fire and Explosion Prevention Laboratory, LLC RPA "SOPOT", St. Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3087-4895; e-mail: dskuprin@mail.ru

Aleksandr S. POLYAKOV, Dr. Sci. (Eng.), Honored Scientist of Russian Federation, Professor of Physical and Technical Basics for Fire-Fighting Safety, Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters; ID RISC: 554236; ORCID: 0000-0002-4743-3941; e-mail: poljakov_as@mail.ru