

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ УСТАНОВКИ РУЧНОГО ПОЖАРНОГО СТВОЛА С ОПТИМАЛЬНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ НА РАСХОД ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Морозов А.А.

*Цель.* Проведение экспериментальных исследований по определению расхода огнетушащего вещества при различных напорах насоса при изменении высоты расположения ручного пожарного ствола с оптимальными геометрическими параметрами.

*Методы.* Численное моделирование методом конечных элементов, экспериментальные исследования по разработанной методике с применением аттестованного и калиброванного оборудования.

*Результаты.* Установлено, что размерность у первой ячейки сетки конечных элементов в значительной мере влияет на время проведения расчета: при уменьшении размера ячейки в 2 раза время увеличивается более чем в 5 раз, при этом результаты расчета меняются менее чем на 1 %. Исследовано влияние высоты расположения пожарного ствола на расход огнетушащего вещества при различных напорах пожарного насоса. Установлено, что расчетные значения отличаются от экспериментальных не более чем на 8 %, что на практике не сказывается на процессе тушения пожара.

*Область применения исследований.* Полученные результаты являются основой для расчета геометрических параметров проточной части пожарных стволов и всестороннего изучения их тактико-технических характеристик.

*Ключевые слова:* ручной пожарный ствол, проточная часть, расход огнетушащего вещества, гидравлический расчет насосно-рукавных систем.

(Поступила в редакцию 5 октября 2022 г.)

### Введение

Интенсивное строительство и ввод в эксплуатацию зданий и сооружений общественного и жилого назначения в Республике Беларусь требуют современного подхода к ликвидации возможных пожаров с наименьшими затратами на устранение их последствий. В результате анализа пожаров на данных объектах, произошедших в Республике Беларусь за последние пять лет, можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на время тушения и, соответственно, на ущерб, является рациональное использование огнетушащего вещества, а также возможность проведения боевого развертывания в минимально короткое время с использованием маневренных ручных пожарных стволов. Кроме того, основным путем уменьшения последствий пожаров является снижение объема огнетушащего вещества, необходимого для тушения, и сокращение время тушения.

При этом основным огнетушащим веществом по-прежнему остается вода. Повышению ее огнетушащей способности посвящены исследования многих ученых по всему миру [1–17]. С точки зрения экономических затрат наиболее эффективными являются изменение дисперсности огнетушащего вещества путем применения универсальных пожарных стволов с высоким качеством распыленной струи, а также использование пенообразователей на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве добавки к воде с целью получения воздушно-механической пены.

В Республике Беларусь для тушения пожаров в жилом секторе и получения распыленных струй наиболее широкое применение получили советские пожарные стволы РСК-50 и СРК-50 [18], а также стволы импортного производства Protek 360 и Protek 366<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Каталог компании Protek [Электронный ресурс] / Protek. – Режим доступа: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles>. – Дата доступа: 05.10.2022.

В целях импортозамещения были разработаны аналоги пожарного ствола Protek 366 – СПРУ 50/0,7 [19–20] и СПРУК 50/0,7 [21].

Для определения геометрических параметров проточной части пожарного ствола СПРУК 50/0,7 применялся программный продукт ANSYS. На основании численного моделирования движения жидкости в проточной части пожарного ствола методом конечных элементов с последующей оптимизацией значений его геометрических параметров по динамическому давлению на входе и выходе из проточной части, расходу, потерям давления на местных сопротивлениях и скорости потока на выходе из расчетной области получены его оптимальные геометрические параметры.

Суть метода конечных элементов заключается в разбиении некоторой области (жидкости, движущейся в проточной части ручного пожарного ствола), в которой интересующая нас величина изменяется по сложному закону (ищется решение дифференциальных уравнений), на конечное количество подобластей (элементов), связанных между собой в точках соприкосновения. Размер элементов в случае с жидкостью вычисляется на основании числа Рейнольдса и влияет на время и точность расчетов. В работе [21] представлен расчет допустимого размера пристеночной области путем определения размерности параметра у первой ячейки сетки конечных элементов с последующим определением оптимальных размеров проточной части пожарного ствола.

В свою очередь, в работе [22] был выполнен гидравлический расчет насосно-рукавной системы, представляющей собой соединенные в порядке очередности пожарный насос, рукавную линию и пожарный ствол. В данном расчете на основании теоретических данных определяли расход огнетушащего вещества при различных напорах насоса при изменении высоты расположения пожарного ствола. Для проверки результатов данного расчета, а также оценки работы пожарного ствола, изготовленного с оптимальными геометрическими параметрами, представленными в работе [21], были проведены экспериментальные исследования, которые представлены в данной работе.

### Основная часть

Расчет и оптимизация проточной части ручного пожарного ствола представлены в работе [21]. В ней на основе компьютерного моделирования описано движение жидкости по проточной части пожарного ствола, который имеет геометрические размеры, заданные в качестве варьируемых параметров. Модель многофазного течения построена на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса, которые замыкаются с помощью  $k-\omega$  SST модели турбулентности, основанной на линейной комбинации  $k-\omega$  модели Уилкокса в пристеночных областях и  $k-\varepsilon$  модели вдали от стенок. Для корректного использования низкорейнольдсовых моделей турбулентности был обеспечен допустимый размер пристеночной области путем расчета размерности у первой ячейки сетки конечных элементов. Чем меньший размер имеет ячейка сетки, тем больше количество элементов в конечной модели и тем точнее расчет. Время расчета увеличивается по экспоненте, поэтому важным является определение оптимального значения этого параметра:

$$y = \frac{y^+ \mu}{U_\tau \rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup> (для воды – 1000 кг/м<sup>3</sup>);

$\mu$  – динамическая вязкость среды, Па·с (для воды –  $1 \cdot 10^{-3}$  Па·с);

$U_\tau$  – скорость сдвига, м/с;

$y^+$  – параметр.

Размеры последующих ячеек вычисляются ANSYS в ходе численного моделирования.

Для расчета размера первой ячейки оценим число Рейнольдса, сдвиговые напряжения у стенки и скорость сдвига.

Число Рейнольдса:

$$Re_d = \frac{\rho U_{cp} d_{\Gamma}}{\mu} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 3 \cdot 10^5, \quad (2)$$

где  $d_{\Gamma}$  – гидравлический диаметр проточного канала, м;

$U_{cp}$  – средняя скорость в потоке, м/с.

Сдвиговые напряжения у стенки:

$$\tau_w = \frac{1}{2} C_f \rho U_{cp}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0143 \cdot 1000 \cdot 30^2 = 6435 \text{ (Па)}, \quad (3)$$

где  $C_f$  – коэффициент трения, определяли по формуле Конакова:

$$C_f = \frac{1}{(1,8 \lg Re_d - 1,5)^2} = \frac{1}{(1,8 \lg(3 \cdot 10^5) - 1,5)^2} = 0,0143. \quad (4)$$

Скорость сдвига:

$$U_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} = \sqrt{\frac{6435}{1000}} = 2,54 \text{ (м/с)}. \quad (5)$$

Приняв значение  $y^+ = 1$ , размер первой ячейки из (2) будет

$$y = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2,54 \cdot 1000} = 0,00039 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}. \quad (6)$$

Таким образом, пристеночная область состоит из 20 слоев, ширина которых постепенно возрастает от 0,00039 до 0,16 мм (для значений  $y^+$  от 1 до 400), что в 2 раза меньше значений, представленных в работе [21].

В результате последующих расчетов и проведенной оптимизации установлено, что время их проведения увеличивается более чем в 5 раз, при этом оптимальные значения геометрических параметров проточной части ручного пожарного ствола, обеспечивающие наибольшую скорость выхода струи и наименьшие потери давления при необходимом расходе жидкости меняются менее, чем на 1 % по сравнению с параметрами, приведенными в работе [21]: диаметр дефлектора – 20 мм, диаметр втулки – 9 мм, толщина дефлектора – 4 мм, радиус скругления дефлектора – 2 мм, величина выходного зазора – 3 мм.

**Методы исследования.** Принципиальная схема экспериментальной установки и ее общий вид представлены на рисунках 1 и 2.

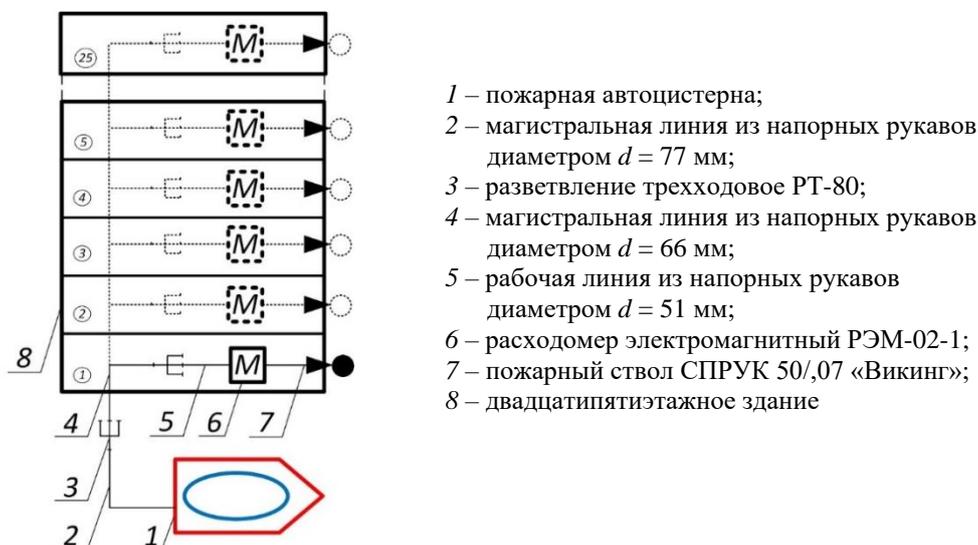


Рисунок 1. – Схема экспериментальной установки

Для подачи в рукавную линию воды использовали центробежный насос НЦПН 40/100 (рис. 2), установленный на автоцистерну АЦ 10,0-40 (6317). Данный насос обеспечивает максимальное давление на выходе 1500 кПа, что соответствует напору в 153 м. Помимо того, в руководстве по эксплуатации<sup>2</sup> НЦПН 40/100 приведено, что номинальная производительность насоса составляет 40 л/с при номинальном напоре 100 м, что достаточно для проведения испытаний с учетом расчетных характеристик ствола [21].



1 – автоцистерна с насосом НЦПН 40/100; 2 – магистральная линия из напорных рукавов диаметром  $d = 77$  мм; 3 – магистральная линия из напорных рукавов диаметром  $d = 66$  мм; 4 – СПРУК 50/0,7 «Викинг»

**Рисунок 2. – Общий вид экспериментальной установки**

Выбор пожарных напорных рукавов для использования в экспериментальной установке обоснован тем, что пожарными подразделениями МЧС Республики Беларусь для доставки огнетушащего вещества (воды, раствора воды и ПО) от автоцистерн к очагу пожара широко используются напорные пожарные рукава с внутренним диаметром 77, 66 и 51 мм. Указанные рукава обладают удельным сопротивлением, которое в значительной мере зависит от диаметра рукава. Согласно техническим характеристикам напорный патрубок насоса НЦПН 40/100 оборудован соединительной головкой для рукавов внутренним диаметром 77 мм, поэтому горизонтальную рукавную линию прокладывали соответствующими рукавами.

Согласно рекомендациям<sup>3</sup> по тушению пожаров в зданиях высотой от 30 м и более прокладка вертикальных магистральных рукавных линий осуществляется напорными рука-

<sup>2</sup> Насос пожарный НЦПН 40/100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pozhgidravlika.ru/catalog/ncpn\\_40\\_100\\_v1u](http://www.pozhgidravlika.ru/catalog/ncpn_40_100_v1u). – Дата доступа: 05.10.2022.

<sup>3</sup> Рекомендации по тушению пожаров в зданиях высотой 30 метров и более, кроме высотных: утв. заместителем Министра по ЧС Республики Беларусь от 31.03.2016. – 15 с.

вами внутренним диаметром 66 мм, подсоединенными к горизонтальной магистральной линии с помощью трехходового разветвления. Непосредственно в пожарный ствол огнетушащее вещество поступало по рабочей линии из напорных рукавов с внутренним диаметром 51 мм. При этом рабочая, горизонтальная и вертикальная магистральные линии соединялись между собой трехходовыми разветвлениями.

Таким образом, при выполнении исследований применяли экспериментальное оборудование в соответствии с таблицей 1.

**Таблица 1. – Экспериментальное оборудование**

Наименование оборудования	Характеристика
Центробежный насос НЦПН 40/100	Максимальное давление 1500 кПа; номинальная производительность 40 л/с при номинальном напоре 100 м
Рукав пожарный напорный	Длина – 20 ± 1 м; внутренний диаметр – 77 мм в количестве 1 шт.; длина – 20 ± 1 м; внутренний диаметр – 66 мм в количестве до 2 шт.; длина – 20 ± 1 м; внутренний диаметр – 51 мм в количестве 1 шт.
Разветвление трехходовое РТ-80	Условный проход выходных патрубков: центрального – 77 мм; боковых – 2×51 мм
Переходная головка ГП 70×50	Внутренний диаметр 70×50 мм
Пожарный ствол СПРУК 50/0,7	При третьем положении дозатора и рабочем давлении 700 кПа расход огнетушащего вещества составляет 2,42 л/с

Помимо описанного выше экспериментального оборудования для исследования использовали средства измерения, приведенные в таблице 2.

**Таблица 2. – Средства измерений**

Средства измерений	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности	Характеристика измеряемых величин
Расходомер-счетчик электромагнитный РЭМ-02-1 (Dy = 80 мм)	0,8–160 м <sup>3</sup> /ч	Относительная: ± 1 %	Средний объемный расход жидкости
Манометр МВПЗ-Ум-1,5-М20×1,5	0–1000 кПа	Приведенная: ± 0,15 % (± 1,5 кПа)	Измерение избыточного давления
Дальномер лазерный GLM 80	0,05–80 м	Абсолютная: ± 0,01 м	Дальность подачи огнетушащего вещества

*Примечание.* Средства измерений внесены в государственный реестр средств измерений Республики Беларусь<sup>4</sup> и на период проведения исследований имели действующие аттестаты, свидетельства о поверке и (или) калибровке. Условия проведения исследований соответствовали условиям эксплуатации измерительного оборудования.

Для определения расхода воды использовали расходомер-счетчик электромагнитный РЭМ-02-1. Он предназначен для измерения среднего объемного расхода и объема различных электропроводящих жидкостей в широком диапазоне температур и вязкостей в различных условиях эксплуатации<sup>5</sup>. Чувствительность данного прибора по скорости потока составляла 0,02 м/с. Расходомер был установлен в линию, подводящую воду к испытываемому пожарному стволу от насоса автоцистерны (рис. 2).

Сущность методики экспериментальных исследований заключалась в определении расхода огнетушащего вещества при различных напорах насоса (от 10 до 150 м) при изменении высоты расположения пожарного ствола. Ее определяли с помощью лазерного дальномера GLM 80 (табл. 2). Методика экспериментальных исследований разработана в соответствии с требованиями к ручным пожарным стволам, предназначенным для формирования и направления сплошной или распыленной струи огнетушащего вещества<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> Государственный реестр средств измерений (стандартных образцов) Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oei.by/grsi?GrsiSearch\[grsi\\_status\]=1](http://www.oei.by/grsi?GrsiSearch[grsi_status]=1). – Дата доступа: 05.10.2022.

<sup>5</sup> Расходомер РЭМ-02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://termok.nt-rt.ru/images/manuals/Rem\\_02\\_passport.pdf](https://termok.nt-rt.ru/images/manuals/Rem_02_passport.pdf). – Дата доступа: 05.10.2022.

<sup>6</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Стволы пожарные ручные. Общие технические условия: СТБ 11.13.14-2009. – Введ. 21.08.09. – Минск: Госстандарт, 2009. – 12 с.

Исследования проводились на территории двадцатипятиэтажного жилого многоквартирного дома по адресу г. Минск, ул. Илимская д. 8. В качестве огнетушащего вещества использовали водопроводную воду. Исследования проводили для третьего положения дозатора ручного пожарного ствола. Эксперимент выполняли в следующей последовательности:

1. Ручной пожарный ствол присоединяли к рукавной линии, проложенной от пожарного насоса автоцистерны АЦ 10,0-40 (6317) на второй этаж здания согласно схеме (рис. 1). При этом проводили измерение высоты расположения ствола по отношению к уровню земли.

2. Дозатор пожарного ствола устанавливали в третье положение (из шести возможных).

3. От насоса автоцистерны в рукавную линию подавали воду. При этом напор насоса повышали до первого контрольного значения 10 м, фиксируя показания манометра в соответствующих записях.

4. Через 20 с после установления течения по расходомеру фиксировали значение расхода.

5. Далее, повторяя п. 3 и 4, напор насоса поэтапно повышали на 10 м до пятнадцатого контрольного значения 150 м. При этом для каждого контрольного значения напора фиксировали данные пяти измерений.

6. Выполняли п. 3–5 на всех этажах здания, фиксируя на каждой высоте расположения пожарного ствола по отношению к уровню земли.

**Результаты и обсуждение.** При обработке экспериментальных данных применяли методики, приведенные в работе [23]. При этом полагали, что распределение случайных ошибок измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Для оценки точности измерений при определении расхода и высоты расположения пожарного ствола применялась методика обработки прямых измерений. Установлено, что относительная погрешность измерений при определении расхода не превысила 4 %, высоты расположения ствола – 10 %.

Результаты экспериментальных исследований по определению расхода огнетушащего вещества приведены в таблице 3 и на рисунке 3.

**Таблица 3. – Результаты экспериментальных исследований**

Высота расположения ствола, м	Напор пожарного насоса, м														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	Расход ручного пожарного ствола, л/с														
5,9	0,55	1,00	1,33	1,61	1,79	2,03	2,18	2,36	2,56	2,70	2,84	2,97	3,12	3,25	3,38
8,8	0,27	0,89	1,23	1,53	1,76	1,95	2,12	2,33	2,50	2,64	2,79	2,91	3,07	3,20	3,33
11,8	–	0,76	1,14	1,46	1,69	1,88	2,09	2,28	2,43	2,59	2,75	2,87	3,03	3,16	3,29
14,7	–	0,61	1,04	1,37	1,62	1,84	2,02	2,20	2,37	2,55	2,70	2,83	2,96	3,12	3,25
17,7	–	0,38	0,95	1,28	1,55	1,74	1,98	2,14	2,32	2,49	2,66	2,78	2,92	3,10	3,21
20,6	–	–	0,81	1,18	1,48	1,71	1,92	2,10	2,28	2,44	2,60	2,73	2,88	3,05	3,17
23,6	–	–	0,67	1,08	1,36	1,64	1,86	2,05	2,24	2,40	2,55	2,68	2,82	3,02	3,13
26,5	–	–	0,47	0,97	1,29	1,57	1,82	2,02	2,19	2,35	2,49	2,65	2,78	2,97	3,08
29,5	–	–	–	0,85	1,21	1,52	1,75	1,96	2,11	2,29	2,45	2,62	2,74	2,91	3,02
32,4	–	–	–	0,71	1,10	1,42	1,66	1,86	2,07	2,22	2,38	2,55	2,70	2,85	3,00
35,4	–	–	–	0,55	1,01	1,33	1,58	1,83	1,99	2,19	2,34	2,50	2,66	2,83	2,94
38,3	–	–	–	0,27	0,92	1,27	1,55	1,71	1,94	2,12	2,31	2,45	2,62	2,78	2,91
41,3	–	–	–	–	0,75	1,16	1,44	1,64	1,91	2,06	2,25	2,42	2,57	2,73	2,88
44,2	–	–	–	–	0,61	1,03	1,34	1,57	1,81	2,02	2,19	2,35	2,53	2,69	2,84
47,2	–	–	–	–	0,39	0,93	1,26	1,52	1,75	1,97	2,15	2,30	2,45	2,65	2,78
50,1	–	–	–	–	–	0,82	1,17	1,46	1,70	1,90	2,08	2,23	2,42	2,60	2,74
53,1	–	–	–	–	–	0,65	1,10	1,39	1,65	1,86	2,00	2,21	2,36	2,55	2,71
56,0	–	–	–	–	–	0,47	0,99	1,28	1,54	1,79	1,94	2,15	2,30	2,51	2,67
59,0	–	–	–	–	–	–	0,86	1,21	1,51	1,70	1,89	2,09	2,26	2,46	2,62
61,9	–	–	–	–	–	–	0,71	1,13	1,43	1,65	1,84	2,04	2,22	2,41	2,58
64,9	–	–	–	–	–	–	0,54	1,04	1,34	1,58	1,82	2,02	2,16	2,38	2,52
67,8	–	–	–	–	–	–	0,27	0,89	1,24	1,51	1,71	1,93	2,10	2,33	2,48
70,8	–	–	–	–	–	–	–	0,76	1,14	1,44	1,65	1,90	2,06	2,25	2,44
73,7	–	–	–	–	–	–	–	0,61	1,04	1,38	1,60	1,78	2,00	2,20	2,39

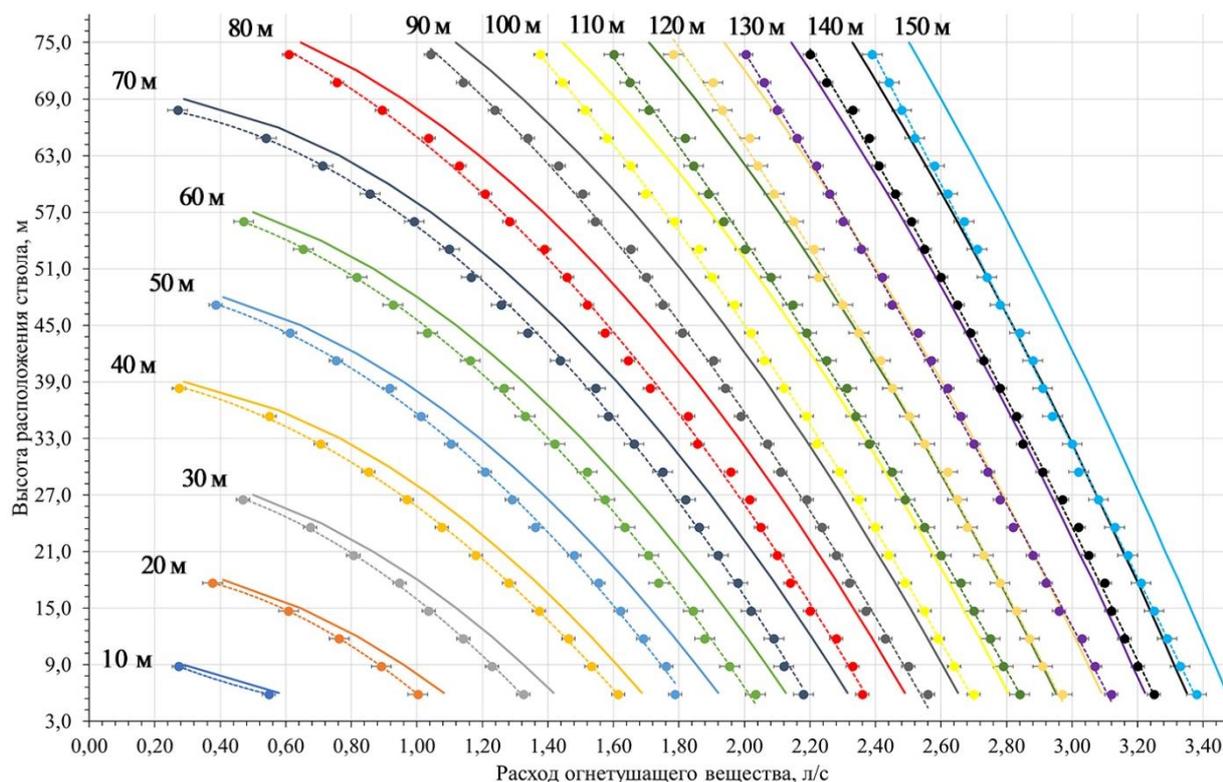


Рисунок 3. – Результаты экспериментальных исследований

Сравним полученные экспериментальные данные и расчетные значения, представленные в работе [22]. В обоих случаях представленные на графиках кривые имеют нелинейный вид. При этом экспериментальные данные несколько меньше расчетных. Так, при напоре насоса в 120 м и высоте подъема ствола 73,7 м расход огнетушащего вещества составляет 1,78 л/с, в то время как расчетным является значение 1,94 л/с, что на 8 % больше. Это обусловлено наличием гидравлического сопротивления рукавной линии, которое хотя и учитывалось при расчетах, но его фактическое значение оказалось большим, что требует дополнительного изучения.

Для подтверждения сходимости расчетных и экспериментальных данных определим степень влияния их различия на процесс тушения пожара.

Успех тушения пожара зависит не только от правильного выбора вида огнетушащего вещества и способа его подачи, но и от количества, которое подают на тушение данного пожара [24]. Огнетушащее вещество можно подавать длительное время малыми дозами, затратить его много, но пожара не потушить. Подача большого количества огнетушащего вещества потребует значительных затрат сил и средств и может причинить дополнительный материальный ущерб. Поэтому в зависимости от вида пожара, способа прекращения горения и применяемого огнетушащего вещества расход его принимают на различные параметры пожара, называемые расчетными. При тушении водой (водой с добавлением поверхностно-активных веществ) способами охлаждения и изоляции за расчетный параметр пожара на практике принимают площадь пожара  $S_{п}$ . В практических расчетах количество огнетушащих веществ  $Q_{тр}$ , требуемое для прекращения горения, определяют по интенсивности подачи этих веществ – количеству огнетушащего вещества, подаваемого в единицу времени на единицу площади (или объема) помещения, где произошел пожар<sup>7</sup>:

<sup>7</sup> Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Порядок определения необходимого количества сил и средств подразделений по чрезвычайным ситуациям для тушения пожаров: НПБ 64-2017. – Введ. 01.11.17. Минск: Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2017. – 31 с.

$$Q_{\text{тр}} = S_{\text{п}} \cdot I_{\text{тр}}, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{тр}}$  – требуемый расход огнетушащего вещества, л/с;

$S_{\text{п}}$  – площадь пожара, м<sup>2</sup>;

$I_{\text{тр}}$  – интенсивность подачи огнетушащего вещества, л/(с·м<sup>2</sup>) (для жилых зданий принимается равной 0,15 л/(с·м<sup>2</sup>)).

Очевидно, что с уменьшением расхода огнетушащего вещества при постоянной интенсивности его подачи уменьшается возможная площадь тушения одним стволом. Разница возможных площадей тушения  $\Delta S_{\text{т}}$  (м<sup>2</sup>) может быть найдена из формулы (7) путем определения разности фактических расходов огнетушащего вещества. Так, при напоре насоса в 120 м и высоте подъема ствола 73,7 м имеем

$$\Delta S_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{ф}} / I_{\text{тр}} = (1,94 - 1,78) / 0,15 = 1,1 \text{ (м}^2\text{)}, \quad (8)$$

где  $\Delta Q_{\text{ф}}$  – разность фактического расхода огнетушащего вещества, л/с.

Таким образом, отклонение значений экспериментальных данных от расчетных приводит к уменьшению возможной площади тушения одним стволом максимум на 1,1 м<sup>2</sup>. Исходя из практики пожаротушения такая незначительная площадь не влияет на успех тушения пожара, в особенности, когда горением охвачено намного большее пространство (15 м<sup>2</sup> и более).

### Заключение

В результате расчета допустимого размера пристеночной области сетки конечных элементов установлено, что размерность параметра у первой ячейки сетки в значительной мере влияет на время проведения расчета – при уменьшении размера ячейки в 2 раза время увеличивается более чем в 5 раз, при этом точность расчета не дает принципиально новой информации по геометрическим параметрам проточной части пожарного ствола.

На основании анализа проведенных экспериментальных исследований по определению влияния высоты расположения пожарного ствола на расход огнетушащего вещества при различных напорах пожарного насоса можно сделать вывод, что расчетные значения отличаются от экспериментальных не более чем на 8 %, что на практике не сказывается на процессе тушения пожара. Так, отклонение значений экспериментальных данных от расчетных приводит к уменьшению возможной площади тушения одним стволом максимум на 1,1 м<sup>2</sup>, что является незначительным в условиях пожара и может не учитываться. Установлено, что на расхождение экспериментальных и расчетных данных в значительной степени влияет гидравлическое сопротивление пожарных рукавов, которое на практике оказалось большим, чем при расчетах. Этот факт в дальнейшем требует дополнительного изучения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Takahashi, S. Extinguishment of plastics fires with plain water and wet water / S. Takahashi // Fire Safety Journal. – 1994. – Vol. 22, Iss. 2 – P. 169–179. – DOI: 10.1016/0379-7112(94)90071-X.
2. Grant, G. Fire suppression by water sprays / G. Grant, J. Brenton, D. Drysdale // Progress in Energy and Combustion Science. – 2000. – Vol. 26, Iss. 2. – P. 79–130. DOI: 10.1016/S0360-1285(99)00012-X. – EDN: AELJYB.
3. Torvi, D. Estimating Water Requirements for Firefighting Operations Using FIERA system / D. Torvi [et al.] // Fire Technology. – 2001. – Vol. 37. – P. 235–262. – DOI: 10.1023/A:1012487619577. – EDN: APZGQT.
4. Jinsong, H. A numerical study of the interaction of water spray with a fire plume / H. Jinsong [et al.] // Fire Safety Journal. – 2002. – Vol. 37, Iss. 7. – P. 631–657. DOI: 10.1016/S0379-7112(02)00026-7.
5. Hadjisophocleous, G.V. Water Flow Demands for Firefighting / G.V. Hadjisophocleous, J.K. Richardson // Fire Technology. – 2005. – Vol. 41. – P. 173–191. DOI: 10.1007/s10694-005-1269-6.
6. Xiaomeng, Z. Improvement of water mist's fire-extinguishing efficiency with MC additive / Z. Xiaomeng, L. Guangxuan, C. Bo // Fire Safety Journal. – 2006. – Vol. 41, Iss. 1. – Pp. 39–45. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.08.004.

7. Liu, Z. A study of portable water mist fire extinguishers used for extinguishment of multiple fire types / Z. Liu, A.K. Kim, D. Carpenter // *Fire Safety Journal*. – 2007. – Vol. 42, Iss. 1. – P. 25–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.06.008.
8. LeFort, G. Evaluation of Surfactant Enhanced Water Mist Performance / G. LeFort, A.W. Marshall, M. Pabon // *Fire Technology*. – 2009. – Vol. 45. – P. 341–354. DOI: 10.1007/s10694-008-0068-2.
9. Вагапов, Р.Р. Новые возможности повышения огнетушащих свойств воды и водных растворов ПАВ / Р.Р. Вагапов, В.А. Родионов // *Нефтяное хозяйство*. – 2010. – № 11. – С. 123–125. – EDN: NCUOJL.
10. Богданов, П.Н. Перспективы создания комбинированных огнетушащих составов на основе воды и озононеразрушающих хладонов / П.Н. Богданов, Ф.А. Дементьев // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. – 2012. – № 4. – С. 147–150. – EDN: RRVGTGJ.
11. Yao, B. Experimental study of suppressing Poly (methyl methacrylate) fires using water mists / B. Yao [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 2012. – Vol. 47. – P. 32–39. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.08.004.
12. Гаджиев, Ш.Г. Исследование огнетушащих и теплозащитных свойств водногелевых составов на основе модифицированных наножидкостей / Ш.Г. Гаджиев [и др.] // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. – 2014. – № 2. – С. 31–37. EDN: STANXR.
13. Таранцев, А.А. Применение модифицированных водных растворов для целей пожаротушения на объектах железнодорожного транспорта / А.А. Таранцев, А.С. Чашин // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. – 2015. – № 2. – С. 30–37. – EDN: UGYDYR.
14. Conroy, M.W. Fuel Surface Cooling by Aqueous Foam: A Pool Fire Suppression Mechanism / M.W. Conroy, R. Ananth // *Fire Technology*. – 2015. – Vol. 51. – P. 667–689. – DOI: 10.1007/s10694-015-0470-5.
15. Yoshida, A. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter / A. Yoshida [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 2015. – Vol. 71. – Pp. 217–225. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.030. – EDN: USVLEP.
16. Волков, Р. С. Особенности тушения жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды / Р.С. Волков, И.С. Войтков, О.В. Высокоморная // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 68–75. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75. – EDN: VWRBLR.
17. Mykhalichko, B. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions / B. Mykhalichko, H. Lavrenyuk, O. Mykhalichko // *Fire Safety Journal*. – 2019. – Vol. 105. – P. 188–195. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005. – EDN: KMPGUZ.
18. Чугунова, Т.М. Применение современных ручных пожарных стволов. Плюсы и минусы / Т.М. Чугунова // *Академическая публицистика*. – 2019. – № 6. – С. 65–70. – EDN: JGCQQP.
19. Шафранский, Д.А. О результатах испытания экспериментального образца ствола ручного пожарного универсального СПРУ-50/0,7 / Д.А. Шафранский // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2013. – № 1 (17). – С. 68–74. – EDN: SNEITH.
20. Карпенчук, И.В. Разработка и оптимизация гидродинамических параметров отечественной модификации экспериментального образца ствола ручного пожарного универсального / И.В. Карпенчук, Д.А. Шафранский, Н.Г. Янкевич // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2013. – № 2 (18). – С. 270–279. – EDN: SNFAMV.
21. Камлюк, А.Н. Расчет и оптимизация геометрии проточного канала пожарного ствола с расходом до 5 л/с / А.Н. Камлюк [и др.] // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2016. – № 1 (23). – С. 51–59. – EDN: VKXNTD.
22. Marozau, A. Pump-hose systems with universal fire barrels for extinguishing buildings / A. Marozau [et al.] // *Magazine of Civil Engineering*. – 2021. – Iss. 103 (3). – Article 10305. – 9 p. – DOI: 10.34910/MCE.103.5. – EDN: ALXOEJ.
23. Логунова, О.С. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: учебник / О.С. Логунова, П.Ю. Романов, Е.А. Ильина. – Москва: Издательский Дом «Инфра-М», 2021. – 377 с. – DOI: 10.12737/1064882. – EDN: CPOFPS.
24. Терещнев, В.В. Пожарная тактика: Основы тушения пожаров: учеб. пособие / В.В. Терещнев, А.В. Подгрушный. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с.

**Влияние высоты установки ручного пожарного ствола с оптимальными геометрическими параметрами на расход огнетушащего вещества**  
**The effect of the height of the installation of a manual fire barrel with optimal geometric parameters on the consumption of extinguishing agent**

**Морозов Артем Александрович**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
ликвидации чрезвычайных ситуаций,  
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

**Artem A. Morozov**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Emergency Elimination,  
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

## THE EFFECT OF THE HEIGHT OF THE INSTALLATION OF A MANUAL FIRE BARREL WITH OPTIMAL GEOMETRIC PARAMETERS ON THE CONSUMPTION OF EXTINGUISHING AGENT

**Morozov A.A.**

*Purpose.* Conducting experimental studies to determine the consumption of extinguishing agent at different pump force when changing the height of the location of the manual fire barrel with optimal geometric parameters.

*Methods.* Numerical modeling by the finite element method, experimental studies according to the developed methodology using certified and calibrated equipment.

*Findings.* It is found that the dimension  $y$  of the first cell of the finite element grid significantly affects the calculation time – when the cell size is reduced by 2 times, the time increases by more than 5 times, while the calculation results change by less than 1 %. The influence of the height of the location of the fire barrel on the consumption of extinguishing agent at different fire pump forces is investigated. It was found that the calculated values differ from the experimental ones by no more than 8 %, which in practice does not affect the fire extinguishing process.

*Application field of research.* The results obtained are the basis for calculating the geometric parameters of the flow part of fire barrels and a comprehensive study of their tactical and technical characteristics.

*Keywords:* manual fire barrel, flow part, consumption of extinguishing agent; hydraulic calculation of pumping-hose systems.

(The date of submitting: October 5, 2022)

### REFERENCES

1. Takahashi S. Extinguishment of plastics fires with plain water and wet water. *Fire Safety Journal*, 1994. Vol. 22, Iss. 2. Pp. 169–179. DOI: 10.1016/0379-7112(94)90071-X.
2. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2000. Vol. 26, Iss. 2. Pp. 79–130. DOI: 10.1016/S0360-1285(99)00012-X. EDN: AELJYB.
3. Torvi D., Hadjisophocleous G., Guenther M.B., Thomas G. Estimating Water Requirements for Fire-fighting Operations Using FIERAsystem. *Fire Technology*, 2001. Vol. 37. Pp. 235–262. DOI: 10.1023/A:1012487619577. EDN: APZGQT.
4. Jinsong H., Kurichi K., Boo C.K., Hong X. A numerical study of the interaction of water spray with a fire plume. *Fire Safety Journal*, 2002. Vol. 37, Iss. 7. Pp. 631–657. DOI: 10.1016/S0379-7112(02)00026-7.
5. Hadjisophocleous G.V., Richardson J.K. Water Flow Demands for Firefighting. *Fire Technology*, 2005. Vol. 41. Pp. 173–191. DOI: 10.1007/s10694-005-1269-6.
6. Xiaomeng Z., Guangxuan L., Bo C. Improvement of water mist's fire-extinguishing efficiency with MC additive. *Fire Safety Journal*, 2006. Vol. 41, No. 1. Pp. 39–45. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.08.004.
7. Liu Z., Kim A.K., Carpenter D. A study of portable water mist fire extinguishers used for extinguishment of multiple fire types. *Fire Safety Journal*, 2007. Vol. 42, Iss. 1. Pp. 25–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.06.008.
8. LeFort G., Marshall A.W., Pabon M. Evaluation of Surfactant Enhanced Water Mist Performance. *Fire Technology*, 2009. Vol. 45. Pp. 341–354. DOI: 10.1007/s10694-008-0068-2.
9. Vagapov R.R., Rodionov V.A. Novye vozmozhnosti povysheniya ognetyushashchikh svoystv vody I vodnykh rastvorov PAV [New possibilities of fire-extinguishing performance improvement of water and water-based surfactant solutions]. *Oil Industry*, 2010. No. 11. Pp. 123–125. (rus). EDN: NCUOJL.
10. Bogdanov P.N., Demytyev F.A. Perspektivy sozdaniya kombinirovannykh ognetyushashchikh sostavov na osnove vody i ozononerazrushayushchikh khladonov [Prospects of creation of combined extinguishing agent based on water and ozone nondestructive chladones]. *Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia*, 2012. No. 4. Pp. 147–150. (rus). EDN: RRVTGJ.
11. Yao B., Cong B.H., Qin J., Chow W.K. Experimental study of suppressing Poly (methyl methacrylate) fires using water mists. *Fire Safety Journal*, 2012. Vol. 47. Pp. 32–39. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.08.004.
12. Gadzhiev Sh.G., Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K., Kadochnikova E.N. Issledovanie ognetyushashchikh i teplozashchitnykh svoystv vodnogelevykh sostavov na osnove modifitsirovannykh nanozhidkostey

- [Research extinguishing and thermal insulation properties of hydrogels prepared from modified nanofluids]. *Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia*, 2014. No. 2. Pp. 31–37. (rus). EDN: STAHR.
13. Tarantsev A.A., Chashchin A.S. Primenenie modifitsirovannykh vodnykh rastvorov dlya tseyley pozharotusheniya na ob"ektakh zhelezнодорожного транспорта [Application of modified water solutions for fire on the objects of railways] *Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia*, 2015. No. 2. Pp. 30–37. (rus). EDN: UGYDYR.
  14. Conroy M.W., Ananth R. Fuel Surface Cooling by Aqueous Foam: A Pool Fire Suppression Mechanism. *Fire Technology*, 2015. Vol. 51. Pp. 667–689. DOI: 10.1007/s10694-015-0470-5.
  15. Yoshida A., Kashiwa K., Hashizume S., Naito H. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter. *Fire Safety Journal*, 2015. Vol. 71. Pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.030. EDN: USVLEP.
  16. Volkov R.S., Voytkov I.S., Vysokomornaya O.V. Osobennosti tusheniya zhidkikh topliv i organicheskikh goryuchikh zhidkostey raspylenym potokom vody [Features of extinguishing liquid fuels and organic flammable liquids by an atomized water flow]. *Fire and explosion safety*, 2016. Vol. 25. No. 4. Pp. 68–75. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75. EDN: VWRBLR.
  17. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 105. Pp. 188–195. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005. EDN: KMPGUZ.
  18. Chugunova T.M. Primenenie sovremennykh ruchnykh pozharnykh stvolov. Plyusy i minusy [The use of modern manual fire barrels. Advantages and disadvantages]. *Akademicheskaya publitsistika*, 2019. No. 6. Pp. 65–70. (rus). EDN: JGCQQP.
  19. Shafranskiy D.A. O rezul'tatakh ispytaniya eksperimental'nogo obraztsa stvola ruchnogo pozharnogo universal'nogo SPRU-50/0,7 [About the test results of an experimental sample of a universal manual fire barrel SPRU-50/0.7]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. No. 1 (17). Pp. 68–74. (rus). EDN: SNEITH.
  20. Karpenchuk I.V., Shafranskiy D.A., Yankevich N.G. Razrabotka i optimizatsiya gidrodinamicheskikh parametrov otechestvennoy modifikatsii eksperimental'nogo obraztsa stvola ruchnogo pozharnogo universal'nogo [Development and optimization of hydrodynamic parameters of the domestic modification of the experimental sample of universal manual fire barrel] *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. No. 2 (18). Pp. 270–279. (rus). EDN: SNFAMV.
  21. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Striganova M.Yu., Shirko A.V., Morozov A.A. Raschet i optimizatsiya geometrii protochnogo kanala pozharnogo stvola s raskhodom do 5 l/s [Calculation and optimization of the geometry of the flow channel at a rate of fire of the barrel to 5 l/s]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 51–59. (rus). EDN: VKXNTD.
  22. Marozau A., Tran Duc H., Kamluk A., Parmon V., Striganova M. Pump-hose systems with universal fire barrels for extinguishing buildings. *Magazine of Civil Engineering*, 2021. Vol. 103. No 3. Article 10305. 9 p. DOI: 10.34910/MCE.103.5. EDN: ALXOEJ.
  23. Logunova O.S., Romanov P.Yu., Il'ina E.A. *Obrabotka eksperimental'nykh dannykh na EVM [Processing of experimental data on a computer]*: textbook. Moscow: Infra-M, 2021. 377 p. (rus). DOI: 10.12737/1064882. EDN: CPOFPS.
  24. Terebnev V.V., Podgrushnyy A.V. *Pozharnaya taktika: Osnovy tusheniya pozharov*: [Fire tactics: The basics of fire extinguishing]: tutorial. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2012. 322 p. (rus)