

Научная статья
УДК 614.843.4
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.25.15.013

Экспериментальное исследование зависимости расхода от напора в переносном лафетном стволе с кольцевой распыляющей насадкой

Сергей Олегович Куртов
Виталий Петрович Малый
Сергей Геннадьевич Каврига
Николай Михайлович Лоран

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Сергей Олегович Куртов, kurtovsergej1983@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию гидравлических характеристик универсального переносного лафетного ствола ЛС-П20У, направленному на повышение точности тактических расчетов при тушении пожаров. Авторы разработали экспериментальную методику, основанную на измерении расхода воды и потерь напора с использованием специализированной установки Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Исследования проводились при различных положениях регулятора расхода, что позволило установить зависимости между гидравлическими параметрами и рабочими режимами ствола. Определены значения гидравлического сопротивления ствола, которые рекомендуется использовать для прогнозирования расхода воды в широком диапазоне рабочих давлений. Предложенная методика обеспечивает высокую степень достоверности данных благодаря статистической обработке результатов с доверительной вероятностью 95%. Перспективы дальнейших исследований включают изучение влияния угла наклона ствола и напора на дальность струи, что расширит применимость полученных данных в реальных условиях. Результаты работы способствуют унификации подходов к оценке эффективности пожарного оборудования и повышению безопасности при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Полученные параметры рекомендованы для повышения точности тактических расчетов подачи огнетушащих веществ. Перспективы исследований связаны с интеграцией международного опыта, уточнением алгоритмов прогнозирования и развитием студенческих конструкторских бюро для подготовки кадров и внедрения инноваций.

Ключевые слова: лафетный ствол, напор, давление, расход, водяная струя

Для цитирования: Куртов С.О., Малый В.П., Каврига С.Г., Лоран Н.М. Экспериментальное исследование зависимости расхода от напора в переносном лафетном стволе с кольцевой распыляющей насадкой // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 2 (37). С. 158-166. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.25.15.013>.

Original article.

Experimental study of flow rate-pressure dependence in a portable gun barrel with a ring atomizing nozzle

Sergei O. Kurtov

Vitaly P. Maly

Sergei G. Kavriga

Nikolay M. Laurent

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Sergei O. Kurtov, kurtovsergej1983@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the study of hydraulic characteristics of the universal portable laphnet LS-P20U aimed at improving the accuracy of tactical calculations when extinguishing fires. The authors developed an experimental methodology based on the measurement of water flow rate and head losses using a specialised installation of the Siberian Fire and Rescue Academy. Studies were carried out at different positions of the flow regulator, which made it possible to establish dependencies between hydraulic parameters and operating modes of the trunk. The values of hydraulic resistance of the trunk were determined, which are recommended to be used for predicting the water flow rate in a wide range of operating pressures. The proposed methodology provides a high degree of data reliability due to statistical processing of the results with a confidence level of 95%. Prospects for further research include the study of the influence of the barrel inclination angle and head on the jet range, which will expand the applicability of the obtained data in real conditions. The results of the work contribute to the unification of approaches to assessing the effectiveness of firefighting equipment and improving safety in emergency response. The obtained parameters are recommended to improve the accuracy of tactical calculations of fire extinguishing agent supply. The research prospects are related to the integration of international experience, refinement of forecasting algorithms and development of student design bureaus for training and innovation implementation.

Keywords: gun barrel, head, pressure, flow, water jet

For citation: Kurtov S.O., Maly V.P., Kavriga S.G., Loran N.M. Experimental study of flow rate-pressure dependence in a portable gun barrel with a ring atomizing nozzle // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 2 (37). С. 158-166. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.25.15.015>.

Введение

Современный рынок пожарно-технического оборудования предлагает широкий ассортимент универсальных лафетных стволов отечественного и импортного производства. Эти устройства отличаются возможностью регулировки расхода огнетушащих веществ, а также способностью формировать различные виды струй в зависимости от условий применения. Разработке новых и модернизации существующих моделей лафетных стволов посвящены исследования [1-3]. В работах [4,5] рассматриваются экспериментальные исследования подачи воды и пены низкой кратности с использованием пожарных лафетных стволов. Кроме того, растущее количество научных изысканий, направленные на определение эксплуатационных параметров (расход, дальность струи) ручных и лафетных стволов, применяемых в пожарных подразделениях [6,7], подтверждают высокую актуальность и практическую значимость работ в этой сфере.

Цель исследования – повысить точность тактических расчетов сил и средств тушения пожаров за счет расчетно-экспериментального уточнения расходных параметров универсального переносного лафетного ствола ЛС-П20У фирмы-изготовителя ООО «ПОЖТЕХСПАС» при различных напорах подачи воды.

Методы и приборы исследования

Для достижения поставленной цели авторы разработали методику и схему использования экспериментально-исследовательской установки Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (далее – ЭИУ СПСА) [8]. На Рис.1. представлена принципиальная авторская схема установки, позволяющая измерять расходы огнетушащего вещества лафетного ствола при заданных контролируемых значениях напора.

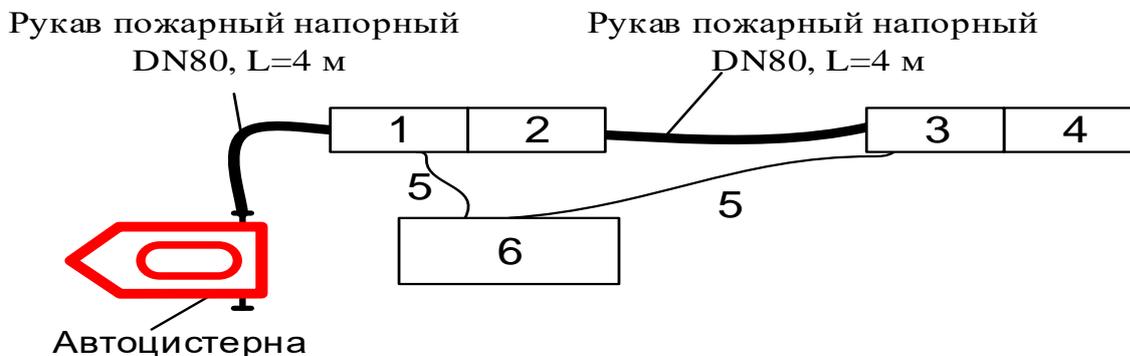


Рис.1. Принципиальная схема, использованная для измерения расходов ЛС-П20У в зависимости от устанавливаемых значений напора

На Рис.1 представлены следующие элементы и приборы ЭИУ СПСА:

1. Измерительная рукавная вставка с номинальным диаметром DN80 (с электромагнитным расходомером МФ-80 (5.2.2) класс Б (0,1 м/имп) [8].
2. Устройство, обеспечивающее безопасность проводимых гидравлических исследований [9].
3. Вставка с электронным манометром СДВ-И-2,50-1,60-1,00 М(1,6)-4-20 МА для измерения давления [10].
4. Универсальный переносной лафетный ствол (ЛС-П20У фирмы-изготовителя ООО «ПОЖТЕХСПАС»).
5. Линии связи от приборов измерения к тепловычислителю СПТ941.20 [8].
6. Тепловычислитель СПТ941.20: приемно-контрольный прибор, предназначенный для регистрации и визуализации параметров (избыточного давления, температуры, расхода) [8].

Общий вид реализованной схемы измерений представлен на фото (Рис.2).



Рис.2. Общий вид реализованной схемы, используемой для получения расходов ЛС-П20У в условиях переменных значений напора (фото авторов)

В ходе экспериментальных исследований измеряли следующие параметры: объемный расход воды ЛС-П20У при двух режимах работы регулятора (20 л/с и 25 л/с) – Рис.3, избыточное давление воды непосредственно перед входом в пожарный ствол, температурный режим воды в исследуемой гидравлической системе.

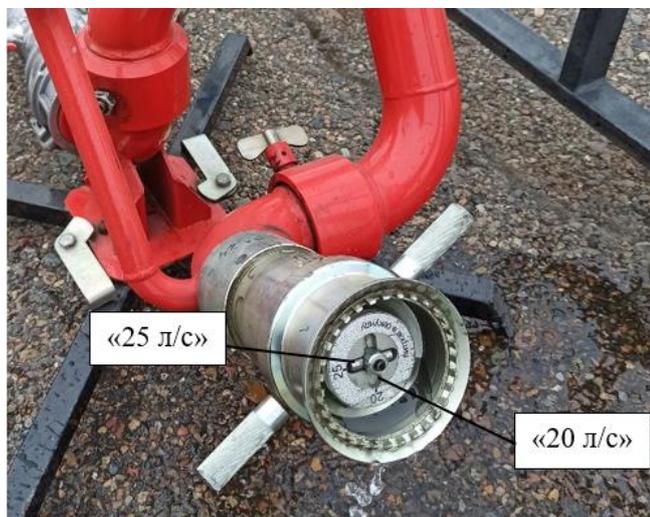


Рис.3. Два положения «25 л/с» и «20 л/с» регулятора расхода ЛС-П20У (фото авторов)

Для проведения измерений в исследуемой гидравлической системе от автоцистерны подавали контролируемый поток воды в виде сплошной (компактной) струи – Рис.4.



Рис.4. Фрагмент процесса проводимых экспериментальных исследований зависимости расхода ЛС-П20У от напора (фото авторов)

В ходе эксперимента фиксировали значения расхода, избыточного давления при температуре воды 18°C.

Основная часть

Полученные значения расхода переносного пожарного лафетного ствола ЛС-П20У фирмы-изготовителя ООО «ПОЖТЕХСПАС» г. Миасс, Челябинская область представлены в Табл.1.

Табл.1. Экспериментальные значения расхода ЛС-П20У при изменении давления у ствола

Давление перед пожарным стволом ЛС-П20У, кгс/см ²	Расход воды из пожарного ствола ЛС-П20У, м ³ /ч	Расход воды из пожарного ствола ЛС-П20У, л/с
Регулятор в положении «25»		
3,86	59,99	16,66

4,10	64,84	18,01
5,37	71,23	19,79
6,70	80,31	22,31
6,94	81,53	22,65
8,51	90,56	25,16
Регулятор в положении «20»		
4,58	59,00	16,39
5,85	66,48	18,47
6,12	68,23	18,95
7,28	74,22	20,62
8,17	78,39	21,78
8,76	80,98	22,49

Расчетные параметры гидравлического сопротивления ЛС-П20У с кольцевой распыляющей насадкой при указанных выше положениях работы регулятора рассчитывали по формуле для потерь напора в рукавных системах при турбулентном режиме течения [11]:

$$\Delta H_{\text{ствола}} = S_{\text{ствола}} \times Q^2, \text{ м.}$$

$S_{\text{ствола}}$ – гидравлическое сопротивление лафетного ствола при различных положениях работы регулятора расхода $((\text{с/л})^2 \times \text{м})$;

Q – объемное количество огнетушащих веществ (расход), проходящих через пожарный ствол в единицу времени, л/с.

Потери напора $\Delta H_{\text{ствола}}$ на лафетном стволе рассчитывали с использованием данных по перепаду давлений $\Delta P_{\text{ствола}}$ по следующей классической формуле:

$$\Delta H_{\text{ствола}} = \frac{\Delta P_{\text{ствола}}}{\rho \times g}$$

$\Delta P_{\text{ствола}}$ – перепад давления воды в Паскалях, $1 (\text{кгс}/\text{см}^2) = 98\,066,5 \text{ Па} \left(\frac{\text{кг}}{\text{м} \times \text{с}^2}\right)$

$\rho_{15\text{Гр}}$ – плотность воды при 18 °С, 998,6 кг/м³;

$g_{\text{кр}}$ – значение ускорения свободного падения в г. Красноярск, 9,81 м/с².

Учли, что при потере давления $\Delta P_{\text{ствола}} = 1 (\text{кгс}/\text{см}^2)$ на лафетном стволе потеря напора $\Delta H_{\text{ствола}}$ равна

$$\Delta H_{\text{ствола}} = \frac{1 (\text{кгс}/\text{см}^2)}{\rho \times g} = \frac{98066,5 \text{ Па}}{998,6 \text{ кг/м}^3 \times 9,81 \text{ м/с}^2} = 10,00 \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} \equiv 10,00 \text{ м.}$$

Из формулы (1) выразили гидравлическое сопротивление лафетного стволов $S_{\text{ствола}}$ через расчетно-экспериментальные значения потерь напора $\Delta H_{\text{ствола}}$ и объёмных расходов Q :

$$S_{\text{ствола}} = \frac{\Delta H_{\text{ствола}}}{Q^2}, ((\text{с/л})^2 \times \text{м}).$$

Результаты расчетов гидравлического сопротивления ЛС-П20У при положениях «25» и «20» регулятора расхода представлены в Табл.2.

Табл.2. Значения гидравлического сопротивления ЛС-П20У при положениях «25» и «20» работы регулятора расхода

Потери напора ($\Delta H_{\text{ствола}}$) на пожарном стволе ЛС-П20У, м	Расход воды из пожарного ствола ЛС-П20У, л/с	Расчетно-экспериментальные значения $\bar{S}_{\text{ствола}}^{20,25}, ((\text{с/л})^2 \times \text{м})$.
Регулятор в положении «25»		
38,6	16,66	0,139
41,0	18,01	0,126
53,7	19,79	0,137
67,0	22,31	0,135
69,4	22,65	0,135
85,1	25,16	0,135
Среднее значение $\bar{S}_{\text{ствола}}^{25}$		0,135
Регулятор в положении «20»		
45,8	16,39	0,171

58,5	18,47	0,172
61,2	18,95	0,170
72,8	20,62	0,171
81,7	21,78	0,172
87,6	22,49	0,173
Среднее значение $\bar{S}_{\text{ствола}}^{20}$		0,172

Для определения случайной погрешности $\Delta S_{N,\alpha}$ для N результатов выполненных измерений ${}_{i=1\dots N}^{20,25}S_{\text{ствола}}$ расчетно-экспериментальные данные были подвергнуты компьютерной статистической обработке, предусматривающей проверку на нормальность распределений выборок $\langle {}_{i=1\dots N}^{20,25}S_{\text{ствола}}, i = 1 \dots 6 \rangle$ по критериям Пустыльника и Плохинского с последующим расчетом среднего арифметического значения ${}_{N=6}^{20,25}\bar{S}_{\text{ствола}}$ и размеров доверительного интервала $\Delta S_{N,\alpha}$ по таблицам поправок $t_{\alpha,N}$ Стьюдента при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и количестве измерений $N = 6$:

$$\begin{aligned} {}_{i=1\dots 6}^{25}S_{\text{ствола}} &= {}_{N=6}^{25}\bar{S}_{\text{ствола}} \pm {}^{25}t_{0,95; N=6} \times {}^{25}\Delta S_{6;0,95} = \\ &= (0,135 \pm 0,005)((\text{с/л})^2 \times \text{м}) \\ {}_{i=1\dots 6}^{20}S_{\text{ствола}} &= {}_{N=6}^{20}\bar{S}_{\text{ствола}} \pm {}^{20}t_{0,95; N=6} \times {}^{20}\Delta S_{6;0,95} = \\ &= (0,172 \pm 0,001)((\text{с/л})^2 \times \text{м}) \end{aligned}$$

Для выявления возможного отличия реальной связи потерь напора $\Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}}$ от расхода ${}^{\text{экспер}}Q$ – с теоретической для развитого турбулентного течения $\Delta H_{\text{ствола}}^{\text{теор}} = S_{\text{ствола}} \times Q^2$, м. построили графики $\Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}} = A_{\text{экспер}} \times Q^{B_{\text{экспер}}}$ для обоих положений регуляторов расхода.

Для проведения визуального анализа достоверности полученных результатов (Табл.1) на Рис.5 и 6 представлены квадратичные графоаналитические аппроксимации экспериментальных зависимостей потерь напора от расхода лафетного ствола при положениях регулятора «25 л/с» и «20 л/с».

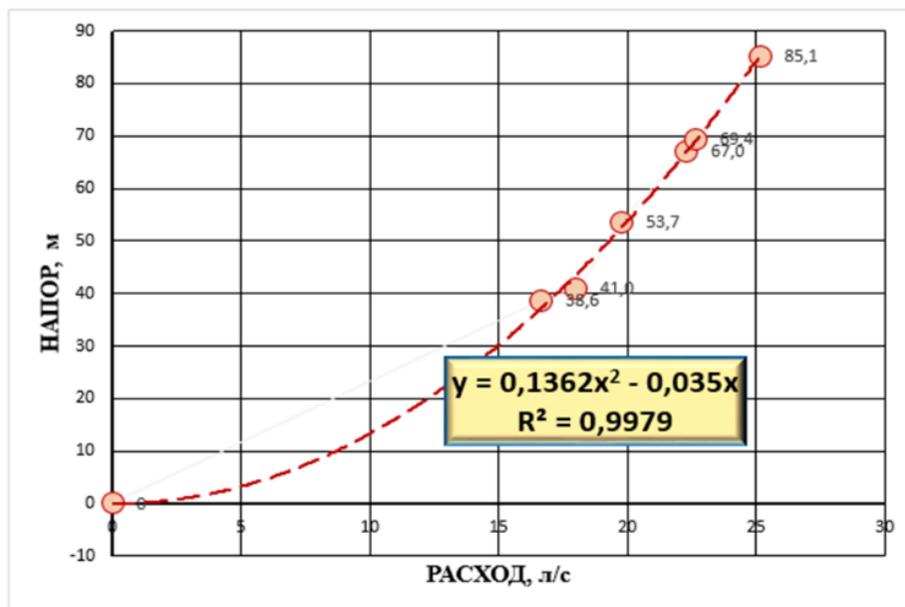


Рис.5. Квадратичная графоаналитическая аппроксимация экспериментальной зависимости потерь напора от расхода лафетного ствола при положении регулятора «25 л/с»

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}}_{25} &= A_{\text{тренд}} \times Q^{\text{Втренд}} \cong 0,136_{\text{тренд}} \times Q^2 \cong \\ &\cong \Delta H_{\text{ствола}}^{\text{теор}}_{\text{Стьюдент}} = (0,135_{\text{Стьюд}} \pm 0,001) \times Q^2 \end{aligned}$$

Видно, что разница в оценке сопротивления ствола двумя различными методами в положении регулятора «25 л/с» не превышает 2%.

Разумно принять в качестве наиболее достоверного их среднее арифметическое значение:

$$\Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}}_{25} \cong (0,135_{\text{Стьюд}} \pm 0,001) \times Q^2$$

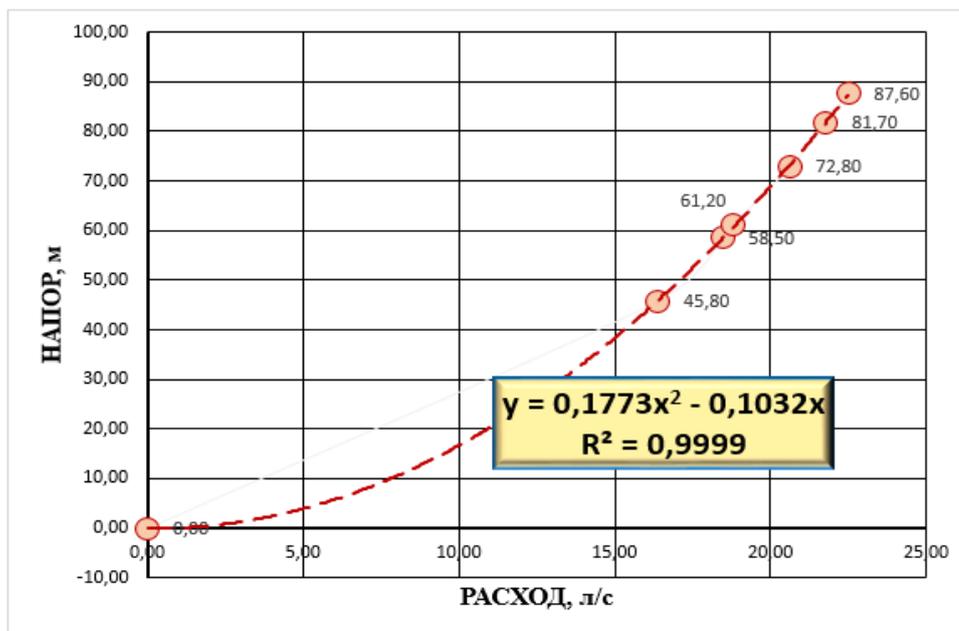


Рис.6. Квадратичная графоаналитическая аппроксимация экспериментальной зависимости потерь напора от расхода лафетного ствола при положении регулятора «20 л/с»

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}}_{20} &= A_{\text{тренд}} \times Q^{\text{Втренд}} \cong 0,177_{\text{тренд}} \times Q^2 \cong \\ &\cong \Delta H_{\text{ствола}}^{\text{теор}}_{\text{Стьюдент}} = (0,172_{\text{Стьюд}} \pm 0,005) \times Q^2 \end{aligned}$$

Видно, что разница в оценке сопротивления ствола двумя различными методами в положении регулятора «20» не превышает 3,5 %.

Разумно принять в качестве наиболее достоверного их среднее арифметическое значение:

$$\Delta H_{\text{ствола}}^{\text{экспер}}_{20} \cong (0,172_{\text{Стьюд}} \pm 0,005) \times Q^2.$$

Полученные авторами расчетные значения гидравлического сопротивления лафетного ствола (в двух положениях регулятора) предлагается использовать для определения расхода данного ствола во всем диапазоне рабочего давления, а также использовать разработанную авторами методику при исследовании других моделей пожарных стволов.

В качестве развития исследуемой темы авторы планируют в ближайшее время исследовать зависимость значений дальности струи ЛС-П20У при различных значениях напора и углах наклона ствола.

Список источников

1. Качанов И.В., Карпенчук И.В., Пармон В.В., Шкутник В.А. Методика расчета параметров лафетного ствола пожарного с винтовой структуризацией потока // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2(34). – С. 165-172.
2. Горбань Ю.И. Защита пожаровзрывоопасных объектов нефтяной и газовой промышленности лафетными стволами и пожарными роботами // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – №8. – С. 73-76.

3. Патент № 2392992 С1 Российская Федерация, МПК А62С 31/00, А62С 37/00. Автоматическая установка пожаротушения с осциллирующими лафетными стволами: заявка № 2008147633/12; заявл. 02.12.2008; опубл. 27.06.2010 / Ю. И. Горбань; заявитель – ЗАО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР».
4. Навроцкий О.Д., Романенко Я.А., Камлюк А.Н., Грачулин А.В. Экспериментальные исследования подачи воздушно-механической пены низкой кратности от лафетных стволов: результаты и рекомендации // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2018. – №2 (37). – С. 64-72.
5. Пожаркова И.Н., Цариченко С.Г., Немчинов С.Г. Моделирование траектории струи огнетушащего средства из пожарного лафетного ствола при возмущающих воздействиях // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – №11. – С. 7-13. – DOI 10.24000/0409-2961-2022-11-7-13.
6. Меженов В.А., Ольховский И.А., Щетнев К.П., Косьянова Е.Н. Оценка интенсивности орошения для пожарных лафетных стволов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – №1. – С. 22-29. – DOI 10.25257/FE.2023.1.22-29. – EDN OLJADW.
7. Куртов С.О., Трояк А.Ю., Яровой В.Ю., Андреев Ю.А. О необходимости уточнения основных технических характеристик, стоящих на вооружении в подразделениях МЧС России современных пожарных стволов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – Т. 32, № 1. – С. 136-142. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.22.014.
8. Малый В.П., Куртов С.О., Лунев А.С. [и др.] Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – №2 (54). – С. 60-68. – DOI 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
9. Куртов С.О., Малый В.П. Повышение безопасности проведения исследований на экспериментально-исследовательской установке при проведении диагностики и контроля теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – № 2 (33). – С. 222-231. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026.
10. Куртов С.О., Малый В.П., Макаров В.М. Аналитическое обоснование необходимости экспериментального определения гидравлических сопротивлений пожарных трехходовых разветвлений и переходных соединительных головок различных диаметров // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2024. – № 1 (13). – С. 10-13. – DOI 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002.
11. Качанов И.В., Карпенчук И.В., Красовский А.И. Сопротивление пожарных стволов // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2010. – № 2. – С. 58-63.

References

1. Kachanov I.V., Karpenchuk I.V., Parmon V.V., Shkutnik V.A. Calculation methodology of the parameters of the fireman's lapet barrel with helical flow structuring // Emergencies: prevention and elimination. – 2013. – №2 (34). – С. 165-172.
2. Gorban Yu.I. Protection of the fire-explosive objects of the oil and gas industry by the fire gun barrels and fire robots (in Russian) // Neft. Gaz. innovations. – 2018. – № 8. – С. 73-76.
3. Patent No. 2392992 C1 Russian Federation, МПК А62С 31/00, А62С 37/00. automatic fire extinguishing installation with oscillating gun barrels: No. 2008147633/12: avt. 02.12.2008: published 27.06.2010 / Yu. I. Gorban; applicant Closed Joint Stock Company 'Engineering Centre of Fire Robotics 'EFER".
4. Navrotskiy O.D., Romanenko Y.A., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Experimental studies of air-mechanical foam feeding of low multiplicity from gun barrels: results and recommendations // Scientific and educational problems of civil protection. – 2018. – № 2(37). – С. 64-72.
5. Pozharkova I.N., Tsarichenko S.G., Nemchinov S.G. Modelling of the trajectory of the extinguishing agent jet from the fire lavet barrel under the disturbing effects // Labour safety in industry. – 2022. – №11. – С. 7-13. – DOI 10.24000/0409-2961-2961-2022-11-7-13.

6. Mezhenov V.A., Olkhovskiy I.A., Shchetnev K.P., Kosyanova E.N. Estimation of irrigation intensity for fire lavet barrels // Fires and emergencies: prevention, elimination. – 2023. – №1. – С. 22-29. – DOI 10.25257/FE.2023.1.22-29.
7. Kurtov S.O., Troiak A.Yu., Yarovoy V.Yu., Andreev Yu.A. On the need to clarify the main technical characteristics of the modern fire barrels in service in the units of the Ministry of Emergency Situations of Russia // Siberian fire-rescue bulletin. - 2024. - T. 32, № 1. - С. 136-142. - DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.18.22.014.
8. Malyi V.P., Kurtov S.O., Lunev A.S. [et al.] Justification of the choice of the composition of the experimental and research installation for measuring the thermal-hydraulic parameters of the elements of the pumping-sleeve systems / South-Siberian Scientific Bulletin. – 2024. – № 2 (54). – С. 60-68. – DOI 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
9. Kurtov S.O., Malyi V.P. Increasing the safety of the research on the experimental-research unit when carrying out diagnostics and control of the thermal-hydraulic parameters of the elements of the pump-hose systems (in Russian) // Siberian fire-rescue bulletin. – 2024. – № 2 (33). – С. 222-231. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026.
10. Kurtov S.O., Maly V.P., Makarov V.M. Analytical substantiation of the necessity of the experimental determination of the hydraulic resistance of the fire three-way branching and transition connecting heads of different diameters // Actual problems of safety in the technosphere. – 2024. – № 1 (13). – С. 10-13. – DOI 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002.
11. Kachanov I.V.; Karpenchuk I.V., Krasovsky A.I. Resistance of fire barrels // Vestnik of the Belarusian National Technical University. – 2010. – № 2. – С. 58-63.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.05.2025, одобрена после рецензирования 13.06.2025, принята к публикации 16.06.2025.

The article was submitted 20.05.2025, approved after reviewing 13.06.2025, accepted for publication 16.06.2025.