

УДК 614.843

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАТРУБКА ПОЖАРНОГО ТРЕХХОДОВОГО РАЗВЕТВЛЕНИЯ

С. О. КУРТОВ, В. П. МАЛЫЙ

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск

E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru, sietmen@yandex.ru

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу расчетно-теоретических и экспериментальных значений гидравлического сопротивления центрального патрубка трехходового разветвления, необходимого для составления сложных насосно-рукавных систем при подаче огнетушащих веществ от передвижной пожарной техники.

Авторами статьи предложена расчетно-теоретическая модель центрального патрубка трехходового разветвления. Установлено, что основной вклад ($\cong 70\%$) в общие «расчетно-теоретические» потери напора в центральном патрубке РТ-80 ($\cong 3,66$ м) вносят местные потери напора на его 3-х коленах ($\cong 2,56$ м). Потери напора на вентиле довольно значительны ($\cong 24\%$), а суммарные линейные потери составляют менее 6 %.

Для тестирования полученных расчетно-теоретических значений авторами разработана и изготовлена экспериментально-исследовательская установка.

Зафиксированные авторами экспериментальные значения гидравлического сопротивления центрального патрубка трехходового разветвления РТ-80 отличаются от расчетно-теоретических результатов не более чем на 5 %, что подтверждает удовлетворительное качество как созданной модели, так и проведенных экспериментов.

Полученные авторами фактические значения гидравлических сопротивлений центрального патрубка РТ-80 предложено использовать для корректировки существующих методик по определению работоспособности насосно-рукавных систем как при тушении реальных пожаров, так и при изучении дисциплин «Гидравлика и противопожарное водоснабжение» и «Пожарная тактика» в учебных заведениях МЧС России.

Ключевые слова: пожарное трехходовое разветвление, гидравлическое сопротивление, напор, давление, расход.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DESIGN-THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF HYDRAULIC RESISTANCE OF THE CENTRAL BRANCH OF FIRE THREE-WAY BRANCHING

S. O. KURTOV, V. P. MALY

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russia Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Zheleznogorsk

E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru, sietmen@yandex.ru

The present work is devoted to a comparative analysis of design-theoretical and experimental values of hydraulic resistance of each branch pipe of three-way branching, necessary for the compilation of complex pump and hose systems for the supply of fire extinguishing agents from mobile fire fighting equipment.

The authors of the article proposed a calculation-theoretical model of the central branch of three-way branching. It is established that the main contribution ($\cong 70\%$) to the total “design-theoretical” head losses in the central branch pipe of PT-80 ($\cong 3,66$ m) is made by local head losses at its 3 elbows ($\cong 2,56$ m). The head losses at the valve are quite significant ($\cong 24\%$), and the total linear losses are less than 6 %.

To test the obtained design-theoretical values, the authors designed and fabricated an experimental and research setup.

The experimental values of hydraulic resistance of the central branch pipe of three-way branching PT-80 recorded by the authors differ from the calculated-theoretical results by no more than 5 %, which confirms the satisfactory quality of both the created model and the conducted experiments.

The actual values of hydraulic resistances of the central branch pipe of PT-80 obtained by the authors are proposed to be used to adjust the existing methods for determining the performance of pump-hose systems both when extinguishing real fires and when studying the disciplines "Hydraulics and Fire Water Supply" and "Fire Tactics" in educational institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Keywords: fire three-way branching, hydraulic resistance, head, pressure, pressure, flow.

Введение

Проведенный анализ научных работ [1-9], посвященных исследованию особенностей расчета и эксплуатации сложных насосно-рукавных систем (НРС), используемых для подачи огнетушащих веществ при тушении пожаров, показал, что уточнение гидравлических сопротивлений элементов НРС является актуальной задачей в современных условиях. Отметим также, что авторами научной публикации [10] была обоснована острая необходимость в получении расчетно-экспериментальных значений гидравлических сопротивлений каждого из патрубков трехходовых пожарных разветвлений (далее – РТ), которые широко используются пожарными подразделениями при подаче огнетушащих веществ на месте пожаротушения. При анализе статистических данных с 2019 по 2023 годы [11] установлено, что ежегодно более 81 % произошедших пожаров были ликвидированы с применением основной пожарной техники общего назначения – автоцистерн (далее – АЦ). Каждая пожарная АЦ оснащается двумя РТ-80 и РТ-70¹. Разветвление трехходовое предназначено для разделения потока огне-

тушащей жидкости, подаваемой по магистральной рукавной линии, на три рабочих потока с возможностью «вентильного» регулирования количества подаваемой жидкости в каждой из рабочих линий².

В зависимости от номинального (условного) диаметра (прохода) входного патрубка РТ подразделяют на следующие типы:

- разветвления с номинальным (условным) диаметром DN70;
- разветвления с номинальным (условным) диаметром DN80.

Правый и левый выходные патрубки РТ изготавливают с номинальным (условным) диаметром DN50. Номинальный (условный) диаметр (проход) – приближенное числовое обозначение внутреннего диаметра, общее для всех присоединяемых компонентов трубопроводных систем, не являющееся измеряемой величиной³.

Основные параметры трехходовых разветвлений нормального давления должны соответствовать значениям, указанным в табл. 1⁴.

Таблица 1. Основные параметры трехходовых разветвлений нормального давления

Показатель	Значение показателя	
	РТ-70	РТ-80
Рабочее давление, МПа, не более	1,2	1,2
Условный проход входного патрубка	DN70	DN80
Число выходных патрубков	3	3
Условный проход выходных патрубков: центрального боковых	DN70 DN50	DN80 DN50
Коэффициент гидравлического сопротивления, не более	2	1,5

¹Приказ МЧС России от 25.07.2006 N 425 (с изм. от 28.03.2014) «Об утверждении Норм табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 года».

²ГОСТ Р 50400 – 2011 Техника пожарная. Разветвления рукавные. Общие технические требования. Методы испытаний.

³ Там же.

⁴ Там же

Подставив коэффициент Дарси в формулу (1), получим известную общую формулу Дарси-Вейсбаха для расчета потерь напора по длине трубопровода:

$$h_i^{\text{лин}} = \lambda_i \times \frac{l_i}{d_{\text{экв}}} \times \frac{\bar{V}_i^2}{2g}, \left(\frac{\text{Дж}}{\text{Н}} \right) \equiv (\text{м}). \quad (3)$$

Из формулы (3) вытекает, что линейные потери напора $h_i^{\text{лин}}$ в трубе пропорциональны:

- скоростному напору $\frac{\bar{V}_i^2}{2g}$, м;
- относительной длине (удельной по эквивалентному диаметру) трубы $\frac{l_i}{d_{\text{экв}}}$ и
- коэффициенту Дарси λ_i .

Заметим, что в соответствии с формулой (2) коэффициент Дарси λ_i в общем случае зависит от значения числа Рейнольдса, а, следовательно, и от средней скорости жидкости в трубе:

$$Re = \frac{\bar{V} \times d_{\text{экв}}}{\nu}, \quad (4)$$

где $\bar{V}$ – средняя по поперечному сечению трубы скорость жидкости, м/с;

$d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр трубы, для круглоцилиндрической трубы равный её внутреннему геометрическому диаметру $d_{\text{геом}}$, м;

ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с, существенно зависит от температуры жидкости (кинематическая вязкость – это отношение коэффициента динамической вязкости μ жидкости к её плотности: $\nu = \mu/\rho$, м²/с (где ρ – плотность жидкости, кг/м³)).

$Re_{\text{крит}}^{\text{ламин}} \leq 1600$ – критическое число Рейнольдса для гибких труб (например, для пожарных напорных рукавов), выше которого ($10\,000 > Re_{\text{обл}}^{\text{перех}} > 1600$) начинается переходная область и далее (после $Re_{\text{крит}}^{\text{турб}} \geq 10\,000$) – развивается турбулентный режим течения жидкости. При ламинарном (слоистом) режиме течения жидкости потери напора потока пропорциональны первой степени объёмного расхода Q жидкости.

$Re_{\text{крит}}^{\text{ламин}} \leq 2400$ – критическое число Рейнольдса для жестких труб (например, для стальных труб) – ламинарный слоистый режим течения жидкости: потери напора пропорциональны первой степени объёмного расхода Q жидкости;

$Re_{\text{крит}}^{\text{турб}} \geq 10\,000$ – критическое число Рейнольдса для области турбулентного течения жидкости, при котором потери напора

пропорциональны второй степени объёмного расхода Q жидкости.

Заметим, что в формулах (2) и (3) вид функции f не конкретизирован. Так что для того, чтобы получить конкретный вид этой функции $f\left(\frac{1}{Re}, \frac{\Delta}{d}\right)$, требуется провести теоретические или экспериментальные исследования, но важно, что эти соотношения показывают, от каких безразмерных величин зависит искомая величина (потери напора или давления).

Преобразуем формулу (3), выразив среднюю по поперечному сечению скорость $\bar{V}$ жидкости через объёмный расход Q_i и сечение трубы $S_i = \frac{\pi d_i^2}{4}$, существенно зависящие от температуры и давления воды:

$$\bar{V}_i = \frac{Q_i}{S_i} = \frac{Q_i}{\frac{\pi d_i^2}{4}} = \frac{4Q_i}{\pi d_i^2}, (\text{м/с}).$$

Поэтому линейные потери напора $h_i^{\text{лин}}$ в центральном патрубке РТ-80 определяли по формуле:

$$h_i^{\text{лин}} = \lambda_i \times \frac{l_i}{d_i} \times \frac{16Q_i^2}{2g\pi^2}, (\text{м}).$$

По формуле (4) рассчитали число Рейнольдса для случая, при котором расходы и диаметры $d_i = d = 75$ мм во всех четырех трубах, из которых выполнен центральный патрубок РТ, равны:

$$Re = \frac{\bar{V} \times d_{\text{экв}}}{\nu} = \frac{5,28 \text{ м/с} \times 0,075 \text{ м}}{1,004 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}} = 394\,422.$$

ν – кинематическая вязкость жидкости (воды при 20 °С), м²/с.

Среднюю скорость жидкости по поперечному сечению трубы определили по формуле:

$$\bar{V}_i = \frac{Q_i}{\omega_i} = \frac{0,0233 \text{ м}^3/\text{с}}{0,004416 \text{ м}^2} = 5,28 (\text{м/с}).$$

где Q_i – объёмный расход (пропускная способность) напорного пожарного рукава диаметром 77 мм, м³/с;

ω_i – площадь живого сечения потока жидкости по трубе, м².

$$\omega_i = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,075 \text{ м})^2}{4} = 0,004416 (\text{м}^2).$$

Полученное число Рейнольдса существенно превышает критическое значение для области «развитого» турбулентного течения жидкости ($Re = 394\,422$) $\gg 100\,000$ – соответ-

ственно в трубах центрального патрубка сформирован режим развитой турбулентности, то есть имеет место строго квадратичная зависимость падения напора от расхода.

Для выбора значения шероховатости трубных участков разветвления, выполненных из алюминиевого сплава, использовали данные, приведённые для «трубы из цветных металлов» [12]:

$$\Delta_{\text{цв.мет.}} \cong 0,001 \text{ (мм)}.$$

Рассчитали параметрический комплекс $\left(Re \times \frac{\Delta}{d}\right)$ для центрального патрубка РТ-80, выполненного из алюминиевого сплава:

$$Re \times \frac{\Delta}{d} = 394\,422 \times \frac{0,001 \text{ мм}}{75 \text{ мм}} = 5,26 < 10.$$

Это позволяет выбрать формулу для расчета коэффициента Дарси в виде формулы, глубоко обоснованной теоретически и экспериментально [12]:

$$\lambda_{\text{турб.кв.}}^{\text{турб.кв.}} = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{r_0}{\Delta} + 1,74\right)^2} = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{37,5 \text{ мм}}{0,001 \text{ мм}} + 1,74\right)^2} = 0,0084,$$

где r_0 – внутренний радиус трубы, мм. Для центрального патрубка РТ80 $r_0 = 37,5 \text{ мм}$;

Δ – шероховатость трубы, мм. Для центрального патрубка РТ80 $\Delta = 0,001 \text{ мм}$.

Тогда расчетно-теоретические линейные потери напора суммарно на четырех участках ЦП при определённых авторами максимальной пропускной способности РПН-80 $Q = 0,0233 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ составят:

$$h_{\text{лин}}^{\text{ЦП}} = 4h_i^{\text{лин}75} = 4\lambda_i \times \frac{l_i}{d^{5,75}} \times \frac{16Q_i^2}{2g\pi^2} = 4 \times 0,0084 \times \times \frac{0,33 \text{ м}}{(0,075 \text{ м})^5} \times \frac{16 \times \left(0,0233 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right)^2}{2 \times 9,815 \text{ м/с}^2 \times (3,14)^2} = 0,21 \text{ (м)}.$$

Далее определили потери напора в местных сопротивлениях (коленах). На рис. 2 представлена расчетно-графическая схема центрального патрубка РТ-80 с указанием изменений направлений жидкости в полости (в градусах).

На рис. 2 представлено, что поток жидкости трижды меняет свое направление (имеет три колена), два из которых имеют угол поворота 45° и один – 90° .

Приблизительно коэффициенты местного сопротивления загнутого на 45° и 90° колена при турбулентном режиме течения жидкости оценили по табл. 2.

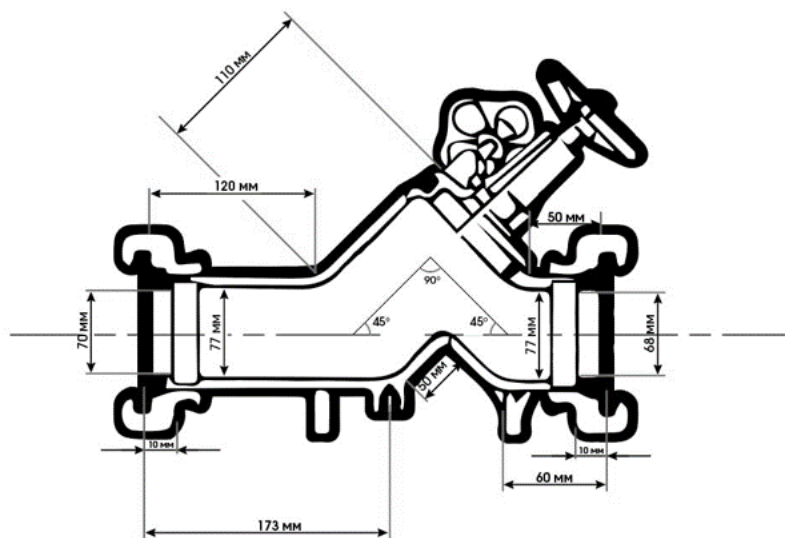


Рис. 2. Расчетно-графическая схема центрального патрубка разветвления РТ-80 с указанием изменений направлений жидкости в полости (в градусах)

Таблица 2. Коэффициенты местного сопротивления для колена [12]

Градусы	30	40	50	60	70	80	90
$\zeta_{\text{колена}}$	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

$$\zeta_{\text{колена}}^{\text{Табл.2}}(45^\circ) \cong 0,35.$$

$$\zeta_{\text{колена}}^{\text{Табл.2}}(90^\circ) \cong 1,10.$$

Общий коэффициент местных сопротивлений двух колен 45° и одного колена 90° , включенных последовательно, рассчитали как арифметическую сумму коэффициентов:

$$\zeta_{\text{колена}}^{\text{Табл.2 суммар}} = 2 \times 0,35 + 1,10 = 1,80.$$

Потери напора на местных сопротивлениях в виде колен рассчитали по формуле:

$$h_{3 \text{ колен}}^{\text{местн}} = \zeta_{\text{колена}}^{\text{Табл.2 суммар}} \times \frac{\bar{v}_i^2}{2g} = 1,8 \times \frac{\left(5,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \times 9,8150 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 2,56 \text{ (м)}.$$

Коэффициент местного сопротивления прямооточного вентиля $\cong 70$ мм трехходового разветвления центрального патрубка при турбулентном режиме течения жидкости оценили по табл. 3 [12].

Таблица 3. Коэффициент сопротивления прямооточного вентиля при $Re \geq 300\,000$

DN	25	38	50	65	76	100	150
$\zeta_{\text{вентиля}}$	1,04	0,85	0,79	0,65	0,60	0,50	0,42

$$\zeta_{\text{вентиля}}^{\text{DN70 Табл.3}} \cong 0,625.$$

$$h_{\text{вентиля}}^{\text{местн}} = \zeta_{\text{вентиля}}^{\text{DN70 Табл.3}} \times \frac{\bar{v}_i^2}{2g} = 0,625 \times \frac{\left(5,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \times 9,8150 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,89 \text{ м}.$$

Общие потери напора в центральном патрубке ЦП РТ-80 можно рассчитать по формуле:

$$h_{\text{РТ-80}}^{\text{ЦП}} = h_{\text{лин}}^{\text{ЦП}} + h_{3 \text{ колен}}^{\text{местн}} + h_{\text{вентиля}}^{\text{местн}} = 0,21 \text{ м} + 2,56 \text{ м} + 0,89 \text{ м} = 3,66 \text{ м}.$$

Для улучшения визуального восприятия на гистограмме рис. 3. показано расчетно-теоретическое распределение потерь напора согласно составленной авторами расчетно-графической схеме центрального патрубка разветвления РТ-80.

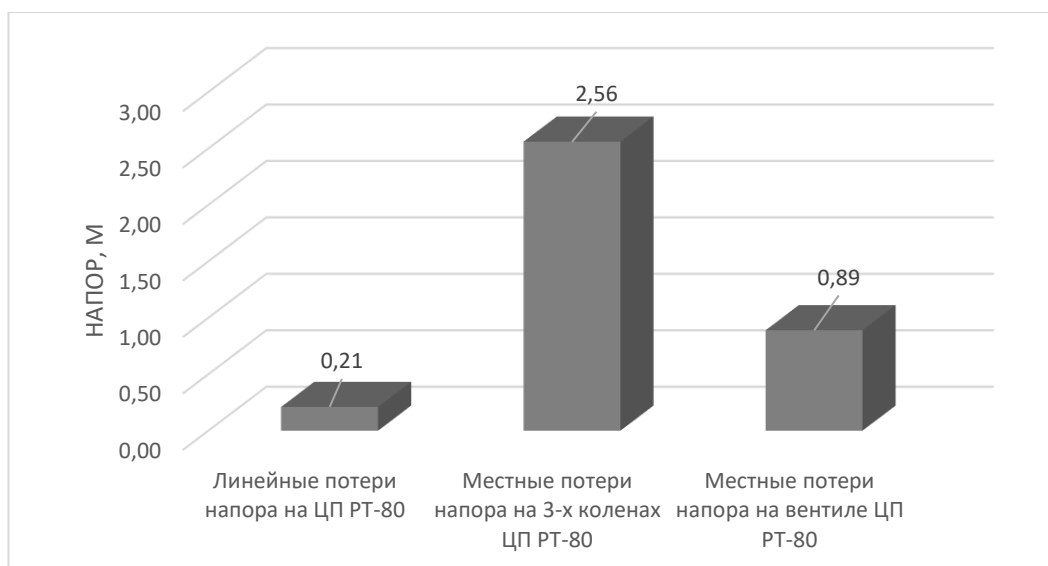


Рис 3. Расчетно-теоретическое распределение потерь напора в центральном патрубке РТ-80

Из гистограммы следует, что основной вклад ($\cong 70\%$) в общие «расчетно-теоретические» потери напора в центральном патрубке ($\cong 3,66$ м) РТ-80 вносят местные по-

тери напора на его 3-х коленах ($\cong 2,56$ м). Потери напора на вентиле довольно значительны ($\cong 24\%$), а суммарные линейные потери составляют менее 6 %.

Для определения «расчетно-экспериментального» значения общих потерь напора в центральном патрубке РТ-80 воспользовались известной формулой для расчета потерь напора в насосно-рукавных системах при турбулентном режиме течения жидкости [12]:

$$\Delta H_{\text{РТ}} = S_{\text{РТ-80}}^{\text{ИП}} \times Q^2 = 0,0065 \times 23,3^2 = 3,53 \text{ м.}$$

$\Delta H_{\text{РТ}}$ – потери напора в центральном патрубке РТ-80, м;

$S_{\text{РТ-80}}^{\text{ИП}}$ – среднее значение гидравлического сопротивление центрального патрубка РТ-80, $(\text{с/л})^2 \times \text{м}$, измеренное авторами в ходе проведенных экспериментов с использованием разработанной и смонтированной ими экспериментально-исследовательской установки [13];

Q – объемное количество огнетушащих веществ (расход), проходящих по рассматриваемому патрубку РТ-80 в единицу времени, л/с.

Относительное различие между расчетно-теоретическим $h_{\text{РТ-80}}^{\text{ИП}}$ и расчетно-экспериментальным $\Delta H_{\text{РТ}}$ значениями потерь напора на центральном патрубке при максимальной пропускной способности пожарного рукава 23,3 л/с составляет:

$$\delta = \frac{|\Delta H_{\text{РТ}} - h_{\text{РТ-80}}^{\text{ИП}}|}{\frac{(\Delta H_{\text{РТ}} + h_{\text{РТ-80}}^{\text{ИП}})}{2}} \times 100 \% =$$

$$= \frac{|3,53 - 3,66|}{(3,53 + 3,66)/2} \times 100 \% = 3,6 \ \%.$$

Список литературы

1. Бубнов В. Б. Разработка рекомендаций по совершенствованию методик расчета насосно-рукавных систем // Пожарная и аварийная безопасность. 2020. № 2 (17). С. 5-10. EDN ILTQXS.
2. Кузовлев А. В., Сушко Е. А., Чашкин С. В. Особенности проведения расчетов насосно-рукавной системы с учетом потерь напора на 3-х ходовом разветвлении // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской

обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2021. С. 500–504. EDN: RPOLSO.

Заключение

Разработана и предложена расчетно-теоретическая модель, позволяющая определить потери напора в центральном патрубке трехходового пожарного разветвления РТ-80. Полученные в результате сравнительного анализа расчетно-теоретических и экспериментальных значений гидравлического сопротивления центрального патрубка РТ-80 отличаются не более 5 %, что свидетельствует о высокой достоверности полученных авторами в данной работе результатов.

Полученные авторами фактические значения гидравлических сопротивлений центрального патрубка РТ-80 предлагаем использовать для корректировки существующих методик по определению работоспособности насосно-рукавных систем как при тушении реальных пожаров, так и при изучении дисциплин «Гидравлика и противопожарное водоснабжение» и «Пожарная тактика» в учебных заведениях МЧС России.

обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2021. С. 500–504. EDN: RPOLSO.

3. Pump-hose systems with universal fire barrels for extinguishing buildings / A. Marozau, H. Tran Duc, A. Kamluk [et al.]. Magazine of Civil Engineering, 2021, vol. 3 (103), DOI: 10.34910/MCE.103.5. EDN: ALXOEJ.

4. Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов / О. Д. Навроцкий, Р. Н. Михалев, А. В. Грачулин [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6. № 1. С. 74–83. DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. EDN: SJOMOD.

5. Малый В. П., Куртов С. О., Яровой В. Ю. О необходимости уточнения гидравлических характеристик, поступающих в подразделения МЧС России новых пожарных рукавов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1(24). С. 54–61. DOI:

10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008. EDN: IUCOPT.

6. Бубнов В. Б., Ведяскин Ю. А. Исследование гидropотерь в насосно-рукавных системах и совершенствование методик их гидравлического расчета // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 80-86. EDN: QIYSIT.

7. Тактические особенности ликвидации пожаров в зданиях повышенной этажности / Н. А. Щербаков, О. В. Двоенко, В. А. Аристархов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 2. С. 33–43. DOI: 10.25257/FE.2023.2.33-43. EDN: VIMBUD.

8. Wang M. [et al.] Investigation of Pressure Variations in Hose Pumps under Different Flow Regimes Using Bidirectional Fluid-Structure Interaction. Processes, 2023, vol. 11, issue 11. P. 3079.

9. Нелюбов В. Н. Критический анализ способов расчета подачи огнетушащих веществ в перекачку на большие расстояния // Пожарная безопасность. 2024. № 2 (115). С. 23–30. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.002. EDN: SJUPCH.

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. EDN: JMVKGJ.

11. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информационно-аналитический сборник / В. С. Гончаренко, Т. А. Чечетина, В. И. Сибирко [и др.]. Балашиха: ФГБУ ВНИИ-ПО МЧС России, 2024. 110 с. EDN: BSONFO.

12. Абросимов Ю. Г. Гидравлика: учебник для высших образовательных учреждений МЧС России. М.: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2005. 311 с. EDN: QMEJXF.

13. Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем / В. П. Малый, С. О. Куртов, А. С. Лунев [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 2

(54). С. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.

References

1. Bubnov V. B. Razrabotka rekomendacij po sovershenstvovaniyu metodik rascheta nasosno-rukavnyx system [Development of recommendations on improvement of methods of calculation of pump-sleeve systems]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*, 2020, vol. 2 (17), pp. 5–10. EDN: ILTQXS.

2. Kuzovlev A. V., Sushko E. A., Chashkin S. V. Osobennosti provedeniya raschetov nasosno-rukavnoj sistemy s uchetom poter napora na 3-x xodovom razvetvlenii [Peculiarities of pumping and hose system calculations taking into account head losses on 3-way branching]. *Aktual'ny'e problemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti i zashhity ot chrezvychnykh situacij: Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Zheleznogorsk: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Sibirskaya pozharno-spatel'naya akademiya" Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychnykh situacijam i likvidacii stixijnykh bedstvij"*, 2021, pp. 500–504. EDN: RPOLSO.

3. Pump-hose systems with universal fire barrels for extinguishing buildings / A. Marozau, H. Tran Duc, A. Kamluk [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2021, vol. 3 (103), DOI: 10.34910/MCE.103.5. EDN: ALXOEJ.

4. Gidravlichesкое soprotivlenie napornykh pozharnykh rukavov [Hydraulic resistance of pressure fire hoses] / O. D. Navroczkij, R. N. Mixalev, A. V. Grachulin [et al.]. *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashhity MChS Belarusi*, 2022, vol. 6, issue 1, pp. 74–83. DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. EDN: SJO-MOD.

5. Malyj V. P., Kurtov S. O., Yarovoj V. Yu. O neobxodimosti utocneniya gidravlicheskix xarakteristik, postupayushhix v podrazdeleniya MChS Rossii novykh pozharnykh rukavov [On the need to clarify the hydraulic characteristics of new fire hoses supplied to the units of the Russian Ministry of Emergency Situations]. *Sibirskij pozharno-spatel'nyj vestnik*, 2022, vol. 1 (24), pp. 54–61. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008. EDN: IUCOPT.

6. Bubnov V. B., Vedyaskin Yu. A. Issledovanie gidropoter v nasosno-rukavnykh sistemakh i sovershenstvovanie metodik ix gidravlicheskogo rascheta [Investigation of hydraulic losses in pump and hose systems and improvement of methods for their hydraulic calculation]. *Aktual'ny'e voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoy be-*

zopasnosti ob`ektov: sbornik materialov X Vse-rossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp. 80–86. EDN: QIYSIT.

7. Takticheskie osobennosti likvidacii pozharov v zdaniyax pov`yshennoj e`tazhnosti [Tactical peculiarities of firefighting in high-rise buildings] / N. A. Shherbakov, O. V. Dvoenko, V. A. Aristarxov [et al.]. *Pozhary i chrezvy`chajny`e situacii: predotvrashhenie, likvidaciya*, 2023, issue 2, pp. 33–43. DOI: 10.25257/FE.2023.2.33-43. EDN: VIMBUD.

8. Wang M. [et al.] Investigation of Pressure Variations in Hose Pumps under Different Flow Regimes Using Bidirectional Fluid–Structure Interaction. *Processes*, 2023, vol. 11, issue 11, p. 3079.

9. Nelyubov V. N. Kriticheskij analiz sposobov rascheta podachi ognetchashnix veshhestv vperkachku na bol'shie rasstoyaniya [Critical analysis of methods for calculating the delivery of extinguishing agents in a long-distance swift manner]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2024, vol. 2 (115), pp. 23–30. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.002. EDN: SJUPCH.

10. Kurtov S. O., Maly`j V. P., Makarov V. M. Analiticheskoe obosnovanie neobxodimosti e`ksperimental'nogo opredeleniya gidravlicheskih soprotivlenij pozharnyx trekhodovyx razvetvlenij i perexodnyx soedinitel'nyx golovok razlichnyx diametrov [Analytical substantiation of the necessity of experimental determination of hydraulic resistances of fire three-

way branches and transition connection heads of different diameters]. *Aktual'ny`e problemy` bezopasnosti v texnosfere*, 2024, vol. 1 (13), pp. 10–13. DOI: 10.34987/2712-9233.2024.81.31.002. EDN: JMVKGJ.

11. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2023 godu: informacionno-analiticheskij sbornik [Fires and fire safety in 2023: information and analytical compendium] / V. S. Goncharenko, T. A. Chechetina, V. I. Sibirko [et al.]. Balashixa: FGBU VNIPO MChS Rossii, 2024, 110 p. EDN: BSONFO.

12. Abrosimov Yu. G. *Gidravlika: uchebnyk dlya vysshix obrazovatel'nyx uchrezhdenij MChS Rossii* [Hydraulics: textbook for higher educational institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvy`chajny`m situaciyam i likvidacii posledstvij stixijnyx bedstvij, 2005, 311 p. EDN: QMEJXF.

13. Obosnovanie vy`bora sostava e`ksperimental'no-issledovatel'skoj ustanovki dlya izmereniya teplogidravlicheskih parametrov elementov nasosno-rukavnyx system [Justification of the choice of the composition of the experimental and research installation for measuring the thermal-hydraulic parameters of the elements of the pump-hose systems] / V. P. Maly`j, S. O. Kurtov, A. S. Lunev [et al.]. *Yuzhno-Sibirskij nauchny`j vestnik*, 2024, vol. 2 (54), pp. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.

Куртов Сергей Олегович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
преподаватель кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Kurtov Sergey Olegovich

FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Lecturer of the Department of Fire Tactics and Rescue Operations
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Малый Виталий Петрович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики, математики
и информационных технологий
E-mail: sietmen@yandex.ru

Maly Vitaly Petrovich

FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Doctor of Physico-mathematical Sciences,
Professor of the Department of Physics, Mathematics and Information Technologies
E-mail: sietmen@yandex.ru