

УДК 614.843.2

DOI 10.48612/ntp/1tbf-961p-52te

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОЖАРНЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ НАПОРА В РУКАВНЫХ ЛИНИЯХ

С. О. КУРТОВ¹, В. П. МАЛЫЙ¹, Я. В. ГРЕБНЕВ²

¹ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Российская Федерация, г. Красноярск

E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Статья посвящена экспериментальному исследованию местных гидравлических сопротивлений в соединениях напорных пожарных рукавов. Актуальность работы обусловлена необходимостью уточнения значений гидравлических сопротивлений для расчета потерь напора в рукавных линиях. В ходе исследования предложена оригинальная схема и методика эксперимента, с помощью которой впервые в России получены значения гидравлического сопротивления для элемента из двух последовательно соединенных рукавных головок с номинальным диаметром DN50. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что вклад одного такого соединения (из двух рукавных головок номинальным диаметром DN50) в общее гидравлическое сопротивление рукавной линии достигает 12 %. На основе полученных данных создана расчетно-теоретическая модель, которая предоставляет возможность с использованием стандартных гидравлических формул рассчитывать значения гидравлических потерь при подключении напорных пожарных рукавов в любой комбинации. Это способствует точному планированию работы пожарных подразделений, оптимизации использования техники и ресурсов и, как следствие, повышению общей эффективности пожаротушения.

Ключевые слова: напорные пожарные рукава, рукавные соединительные головки, гидравлическое сопротивление, напор, давление.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LOCAL RESISTANCE OF FIRE CONNECTION HEADS ON HYDRAULIC PRESSURE LOSS IN SLEEVE LINES

S. O. KURTOV¹, V. P. MALY¹, Ya. V. GREBNEV²

¹Federal 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

²Siberian Federal University

Russian Federation, Krasnoyarsk

E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

The article is devoted to the experimental study of local hydraulic resistances in the joints of pressure fire hoses. The relevance of the work is due to the need to clarify the values of hydraulic resistances for calculating the pressure loss in hose lines. The paper proposes an original scheme and experimental methodology, which for the first time in Russia obtained the values of hydraulic resistance for a section of two sequentially connected hose heads with a nominal diameter of DN50. It has been established by calculation and experiment that the contribution of one such connection (from two hose heads) to the total hydraulic resistance of the hose line reaches 12%. Based on the obtained data, a calculation and theoretical model has been created that allows, using standard hydraulic formulas, to calculate the values of hydraulic losses when connecting pressure fire hoses in any combination.

Key words: pressure fire hoses, hose connection heads, hydraulic resistance, pressure, and flow rate.

Введение

В теории гидродинамики напор (энергия потока, удельная по весу – Дж/Н), который жидкости сообщает пожарный насос, расходуется на преодоление силы трения слоев жидкости, на преодоление силы трения пристенных слоев жидкости – о шероховатости стенок напорного пожарного рукава (потери напора, или линейные потери напора), а также на потери напора в местных сопротивлениях, возникающих из-за изменения геометрии потока жидкости (сужение, расширение, изгибы). Авторы в своей работе [1] склонны считать, что значения местных гидравлических сопротивлений пожарных соединительных головок, используемых в качестве быстросмыкаемой арматуры в коммуникациях пожаротушения¹, незначительны и существенно не влияют на гидравлические потери напора в них. В работе [2] авторы на основании анализа результатов эксперимента сделали вывод о том, что с увеличением количества рукавных соединительных головок (далее – ГР) в рукавных линиях потери напора больше на 3–6 % в зависимости от расхода (в конкретно-рассмотренном авторами случае). Однако проведенный эксперимент не позволяет провести полноценный анализ по количественной оценке влияния одного соединения между собой пожарных рукавов на общее значение гидравлического сопротивления напорного пожарного рукава (далее – РПН). Из вышеизложенного следует, что вопрос учета гидравлического сопротивления ГР в полной мере до сих пор не изучен и оценка его влияния на общие потери напора является актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование тактических расчетов рукавных линий за счет уточнения степени влияния местных сопротивлений рукавных пожарных соединительных головок на гидравлические потери напора в рукавных линиях, определенные на основе **экспериментальных исследований и теоретического моделирования.**

Методы исследования включали теоретический анализ, обработку и сравнительную оценку расчетно-теоретических и экспериментальных данных.

Основная часть

Для проведения эксперимента создали экспериментально-исследовательскую установку, обеспечивающую достоверность потока данных для расчетно-экспериментального измерения гидравлического сопротивления ГР. В её составе использовали два напорных пожарных рукава производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины (измерения проводились без наполнения РПН водой, то есть в недеформированном состоянии) с номинальным диаметром DN50. Один из двух пожарных рукавов был разделен авторами на пять отрезков (4 отрезка РПН длиной 4 м и 1 отрезок длиной 3 м) рис. 1.

На рис.1 видно, что РПН, состоящий из 5 отрезков общей длиной 19 м, отличается от целого пожарного рукава наличием 4 «дополнительных» соединений в виде пожарных рукавных соединительных головок. Измерительную часть работы выполняли на экспериментально-исследовательской установке, разработанной в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [3], в соответствии с представленной на рис. 2 схемой.

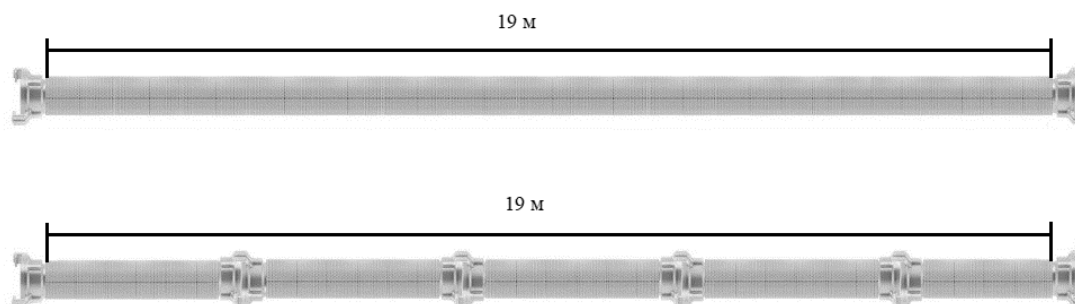


Рис. 1. Основные исследуемые фрагменты экспериментальной схемы

¹ ГОСТ Р 53279 – 2009 Техника пожарная. Головки соединительные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

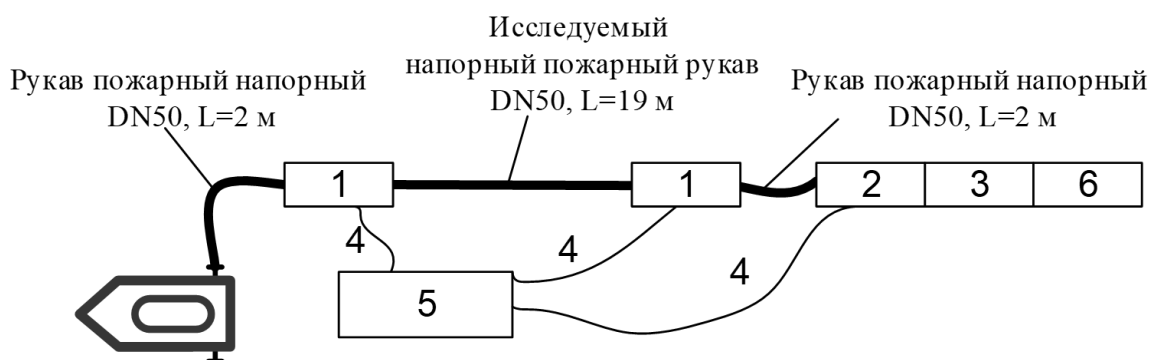


Рис. 2. Схема экспериментально-исследовательской установки для определения гидравлического сопротивления исследуемых РПН и ГР

На рис. 2 обозначено следующее оборудование, элементы, приборы:

1 – Специальная вставка, обеспечивающая возможность подключения датчиков давления на входе в исследуемый РПН и на его выходе [4];

2 – Измерительная рукавная вставка с номинальным диаметром DN80 [3];

3 – Специальное устройство, обеспечивающее безопасность для людей и техники от неконтролируемых колебаний незакрепленного конца РПН при проведении экспериментов [4];

4 – Линии передачи рабочих показаний от датчиков давления и расходомера к приемному прибору СРТ941.20 [3];

5 – Приемный прибор СРТ941.20, предназначенный для фиксации исследователями рабочих параметров средств измерения [3];

6 – Ручной пожарный ствол, предназначенный для изменения объемного количества подаваемой воды (РСКУ-70А).

Общий вид экспериментальной установки для проведения измерений представлен на фото (рис. 3).



(а)



(б)

Рис. 3. Фотографии исследовательской установки, предназначенной для практического установления гидравлических потерь в РПН и ГР с номинальным диаметром DN50: (а) – РПН длиной 19 м; (б) – РПН, состоящий из 5 отрезков общей длиной 19 м (фото авторов)

Исследование проводили при температуре окружающего воздуха +25°C и атмосферном давлении 755 – 768 мм рт. ст. Для проведения эксперимента использовали водопроводную воду с температурой +21°C, находящуюся в емкости АЦ-3,2-40/4. Воду в экспериментальную схему подавали пожарным насосом НЦПК-40/100-4/400 при работе ступени нормального давления.

Значения расхода и напора воды, полученные в результате проведенного эксперимента по определению гидравлического сопротивления РПН и РПН из 5 отрезков производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN 50, приведены в таблице.

Таблица. Расчетно-экспериментальные значения гидравлических параметров, исследуемых РПН производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN50

Расход воды Q_1 в системе, $м^3/ч$	Расход воды Q_1 в системе, $л/с$	Напор H_1 на входе в РПН, $м$	Напор H_2 на выходе из РПН, $м$	Величина перепада напора ΔH , $м$	Величина гидравлического сопротивления рассматриваемой рукавной системы, $(с^2/л^2) \times м$
РПН производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN 50					
13,84	3,84	49,0	47,3	1,7	0,115
21,60	6,00	50,0	46,0	4,0	0,111
27,60	7,67	62,5	56,0	6,5	0,110
25,10	6,97	67,2	61,2	6,0	0,124
29,70	8,25	81,8	73,6	8,2	0,121
Среднее арифметическое значение					0,116
РПН из 5 отрезков производства ПЛАМЯ «Стандарт» с номинальным диаметром DN50 и общей длиной 19 метров					
11,5	3,19	44,2	42,5	1,7	0,167
25,7	7,14	45,1	36,9	8,2	0,161
27,9	7,75	52,8	43,0	9,8	0,163
30,1	8,36	64,3	53,1	11,2	0,160
33,3	9,25	76,1	62,8	13,3	0,156
Среднее арифметическое значение					0,161

Для вычисления значений гидравлических сопротивлений, исследуемых РПН 19-метровой длины использовали методику, представленную авторами в работе [5].

Анализ среднеарифметических значений гидравлического сопротивления исследуемых РПН показал, что значение $S_{РПН}^5$ напорного пожарного рукава, выполненного из 5 отрезков, превышает значение $S_{РПН}^1$ целого РПН на 0,04 $(с^2/л^2) \times м$.

Для оценки влияния одного соединения ГР на общее гидравлическое сопротивление РПН составим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 2S_{ГР}^1 + S_{РПН} = 0,12 \\ 6S_{ГР}^1 + S_{РПН} = 0,16' \end{cases}$$

$S_{ГР}^1$ – гидравлическое сопротивление одного соединения рукавных соединительных головок с номинальным диаметром DN50, $(с^2/л^2) \times м$;

$S_{РПН}$ – гидравлическое сопротивление напорного пожарного рукава, $(с^2/л^2) \times м$.

В результате решения системы уравнений получили следующие значения:

$$\begin{aligned} S_{ГР-50}^1 &= 0,011 ((с^2/л^2) \times м), \\ S_{РПН-50} &= 0,095 ((с^2/л^2) \times м). \end{aligned}$$

Из сравнения полученных экспериментально значений $S_{ГР-50}^1$ и $S_{РПН-50}$ следует, что вклад сопротивлений ГР в общее гидравлическое сопротивление рукавной линии составляет около 12 %. Это подтверждает выдвинутую авторами гипотезу о необходимости учета значений $S_{ГР}$ в проводимых в пожарно-тактических расчетах по организации бесперебойной подачи воды на месте тушения пожара.

Для сравнения полученных расчетно-экспериментальных значений $S_{ГР}^1$ с теоретическими – составим расчетно-математическую (гидравлическую) модель двух соединенных между собой рукавных соединительных головок ГР-50 и двух РПН (рис. 4).

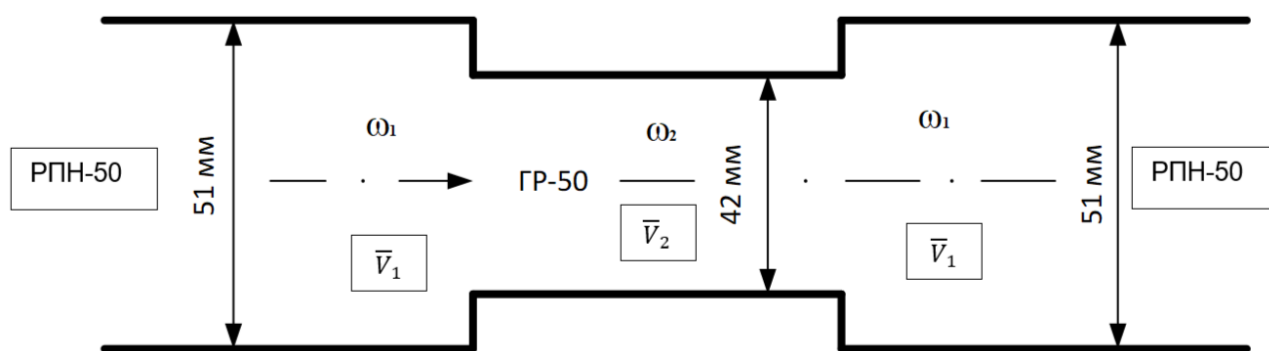


Рис. 4. Расчетно-математическая модель двух соединенных между собой РПН с использованием двух рукавных соединительных головок ГР-50

На рис. 4 можно выделить два участка с местными гидравлическими сопротивлениями:

1. Участок с внезапным сужением, когда поток жидкости из полости РПН с внутренним диаметром 51 мм попадает в полость ГР-50 с внутренним диаметром 42 мм (среднеарифметическое значение внутреннего диаметра ГР-50);

2. Участок с резким расширением при переходе потока жидкости из полости ГР-50 в полость РПН с внутренним диаметром 51 мм.

Коэффициент местного сопротивления ζ_{BC} , возникающего в результате внезапного сужения ГР-50, равен [6]:

$$\zeta_{BC} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) = 0,5 \left(1 - \frac{0,00138 \text{ м}^2}{0,00204 \text{ м}^2} \right) = 0,162;$$

ω_1 – площадь живого сечения потока жидкости в полости РПН, м²;

ω_2 – площадь живого сечения потока жидкости в полости ГР-50, м².

Коэффициент местного сопротивления ζ_{BP} , возникающего в результате внезапного расширения РПН (теорема Борда-Карно), равен [6]:

$$\zeta_{BP} = \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 = \left(1 - \frac{0,00138 \text{ м}^2}{0,00204 \text{ м}^2} \right)^2 = 0,105.$$

Общий коэффициент местных сопротивлений, возникающих в результате внезапного сужения и внезапного расширения рассчитан приближенно (пренебрегли неустановившимся характером потока из-за малой длины ГР-50) путем вычисления арифметической суммы этих коэффициентов:

$$\zeta_{ГР}^{общ} = \zeta_{BC} + \zeta_{BP} = 0,162 + 0,105 = 0,267.$$

Потери напора на местных сопротивлениях в виде двух соединенных между собой участков ГР-50 и двух РПН рассчитали по формуле:

$$H_{ГР}^{местн} = \zeta_{ГР}^{общ} \times \frac{\bar{V}_2^2}{2g} = 0,267 \times \frac{(2,78)^2}{2 \times 9,815} = 0,105 \text{ (м)}.$$

Заметим, что среднюю скорость жидкости по поперечному сечению полости ГР-50 рис. 4 определили по формуле:

$$\bar{V}_2 = \frac{Q_{экс}}{\omega_2} = \frac{0,00384 \text{ м}^3/\text{с}}{0,00138 \text{ м}^2} = 2,78 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

где $Q_{экс}$ – экспериментальное значение объемного расхода по исследуемому РПН (таблица), м³/с.

Так как РПН имеет два подобных соединения, определено значение потери напора при турбулентном режиме течения жидкости непосредственно в РПН с учетом его гидравлического сопротивления $S_{РПН}$ по следующей формуле:

$$H_{РПН} = n \times S_{РПН} \times Q^2 = 1 \times 0,1 \times 3,84^2 = 1,47 \text{ (м)}.$$

где n – число РПН при проведении натурного эксперимента, шт.;

$S_{РПН-50}$ – расчетно-экспериментальное значение гидравлического сопротивления РПН (полученное в результате решения уравнения – 0,095) без учета местных сопротивлений ГР-50, ((с/л)² × м);

Q – величина объемного расхода в исследуемом РПН, л/с (3,84 – первое значение расхода в таблице).

Общие потери напора в РПН с учетом двух местных значений потерь напора $H_{ГР}^{местн}$ определили, как их арифметическую сумму:

$$H_{РПН}^{общ} = H_{РПН} + 2H_{ГР}^{местн} = 1,47 + 0,21 = 1,68 \text{ (м)}.$$

Проведенный анализ расчетно-экспериментальных $\Delta H = 1,7$ м (таблица) и расчетно-теоретических $H_{РПН}^{общ} = 1,68$ м (с учетом предложенной авторами модели) значений потерь напора в РПН показал почти полное совпадение полученных значений, что подтверждает достоверность полученных авторами результатов.

Заключение

1. Показана актуальность темы экспериментального определения значений гидравлических сопротивлений двух соединенных между собой участков пожарных рукавных соединительных головок при прокладке напорных пожарных рукавов.

2. Предложена схема и методика экспериментального получения актуальных значений гидравлического сопротивления исследуемого участка насосно-рукавной системы.

3. Впервые в России экспериментально получены значения гидравлического

сопротивления элемента напорной рукавной линии в виде двух соединенных между собой ГР-50. Расчетно-экспериментальным способом установлено, что вклад сопротивлений двух соединенных между собой ГР в общее гидравлическое сопротивление РПН составляет около 12 %.

4. Создана расчетно-теоретическая модель соединения между собой двух ГР-50, использованная для получения расчетных значений коэффициентов гидравлических сопротивлений ГР-50. Проведенный сравнительный анализ показал удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных значений, что верифицирует предложенную модель.

5. Это создаёт возможность рассчитывать в дальнейшем по известным в гидравлике формулам значения гидравлических потерь при подключении напорных пожарных рукавов в любой комбинации.

Перспективным направлением исследований в данной области является разработка усовершенствованных расчётных моделей, учитывающих явления взаимного влияния (интерференции) близко расположенных местных сопротивлений элементов насосно-рукавных систем, применяемых для подачи воды на месте тушения пожара.

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. Двоенко О. В., Ольховский И. А. Оценка влияния головок соединительных пожарных на потери напора по длине рукавной линии // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2016. № 2 (19). С. 64–66. EDN: WBKWAJ.

3. 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.

4. 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. EDN: XMCTUY.

5. Куртов С. О., Малый В. П. Метод экспериментального исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 22–27. EDN: BFKQFL.

6. Гидравлика: учебник. Ю. Г. Абросимов, В. В. Жучков, Е. Н. Болдырев [и др.]. М.: АГПС МЧС России, 2017. 321 с.

References

1. Bubnov V. B. Razrabotka rekomendacij po sovershenstvovaniyu metodik rascheta nasosno-rukavny'x sistem [Development of recommendations for improving the methods of calculating pump-and-hose systems]. Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost', 2020, vol. 2 (17), pp. 5–10. EDN: ILTQXS.

2. Dvoenko O. V., Ol'xovskij I. A. Ocenka vliyaniya golovok soedinitel'ny'x pozharny'x na poteri napora po dline rukavnoj linii [Evaluation of the impact of connecting firefighter heads on pressure loss along the hose line]. Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii, 2016, vol. 2 (19), pp. 64–66. EDN: WBKWAJ.

3. Obosnovanie vy`bora sostava e`ksperimental'no-issledovatel'skoj ustanovki dlya izmereniya teplogidravlicheskih parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x 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.

4. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Povy`shenie bezopasnosti provedeniya issledovaniy na e`ksperimental'no-issledovatel'skoj ustanovke pri provedenii diagnostiki i kontrolya teplogidravlicheskih parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x system [Increase of safety of carrying out researches on the experimental-research unit at

diagnostics and control of thermal-hydraulic parameters of elements of pumping-sleeve systems]. *Sibirskij požarno-spasatel'ny`j vestnik*, 2024, vol. 2 (33), pp. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.

5. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Metod e`ksperimental'nogo issledovaniya gidravlicheskogo soprotivleniya naporny`x požarny`x rukavov, vy`polnenny`x iz sovremenny`x materialov [Method of experimental study of hydraulic resistance of pressure fire hoses made of modern materials]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 22–27. EDN: BFKQFL.

6. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. Yu. G. Abrosimov, V. V. Zhuchkov, Ye. N. Boldyrev [et al.]. M.: AGPS MCHS Rossii, 2017. 321 p.

Куртов Сергей Олегович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железнодорожск
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. Железнодорожск
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
Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Physico-mathematical Sciences,
Professor of the Department of Physics, Mathematics and Information Technologies
E-mail: sietmen@yandex.ru

Гребнев Ярослав Владимирович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Российская Федерация, г. Красноярск
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
E-mail: yaroslav.grebnev@gmail.com

Grebnev Yaroslav Vladimirovich

Siberian Federal University,
Russian Federation, Krasnoyarsk
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
E-mail: yaroslav.grebnev@gmail.com