

УДК 614.843.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОРНО-ВСАСЫВАЮЩЕГО РУКАВА

С. О. КУРТОВ

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

В статье обоснована актуальность исследования гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов с целью повышения точности расчетов и надежности насосно-рукавных систем при пожаротушении с использованием передвижной пожарной техники. Рассмотрены две схемы работы автоцистерн с использованием напорно-всасывающих рукавов: перелив воды по схеме «из насоса в цистерну» через люк на крыше и заправка АЦ с применением гидроэлеваторных систем. Разработаны методика и экспериментальная схема для определения гидравлических сопротивлений напорно-всасывающих рукавов, основанные на использовании оригинальной установки, созданной в ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. Экспериментальные исследования показали, что гидравлическое сопротивление напорно-всасывающих рукавов номинальным диаметром DN80 составляет в среднем $0,0064 \text{ (с}^2/\text{л}^2)\times\text{м}$. Полученные данные свидетельствуют о значительных потерях напора, что исключает возможность пренебрежения ими при проведении расчетов. Таким образом, учет гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов DN80 является обязательным при проектировании и расчетах работоспособности насосно-рукавных систем при организации тушения пожаров.

Ключевые слова: напорно-всасывающие рукава, гидравлическое сопротивление, напор, давление.

RESULTS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF PRESSURE-SUCTION HOSE

S. O. KURTOV

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

The article substantiates the relevance of the study of hydraulic resistance of pressure-suction hoses in order to improve the accuracy of calculations and reliability of pump-suction hose systems in firefighting using mobile fire fighting equipment. Two schemes of tank trucks operation with the use of pressure-suction hoses are considered: water overflow according to the scheme “from pump to tank” through the hatch on the roof and filling of tank trucks with the use of hydro-elevator systems. The methodology and experimental scheme for determining the hydraulic resistance of pressure-suction hoses, based on the use of the original installation created in the FSBEI VO Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia are developed. Experimental studies have shown that the hydraulic resistance of pressure-suction hoses with nominal diameter DN80 is on average $0.0065 \text{ (s}^2/\text{l}^2)\times\text{m}$. The obtained data indicate significant head losses, which excludes the possibility of neglecting them in the calculations. Thus, taking into account the hydraulic resistance of pressure-suction hoses DN80 is mandatory when designing and calculating the performance of pumping and hose systems in the organization of fire fighting.

Key words: suction hoses, hydraulic resistance, head, pressure.

Введение

Одной из ключевых задач руководителя тушения пожара и начальника тыла (как нештатного должностного лица оперативного штаба) является обеспечение бесперебойной подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) к месту ведения боевых действий. Для эффективного решения этой задачи они должны владеть методиками расчета необходимого количества сил и средств (подвоз, перекачка воды, забор воды при помощи гидроэлеваторных систем). Внедрение современных экспериментальных данных (таких как уточненные значения гидравлического сопротивления рукавов) способствует повышению точности расчетов и, как следствие, повышению эффективности тушения пожара.

На имеющейся базе Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России продолжаются комплексные экспериментальные работы, направленные на изучение эксплуатационных характеристик ключевых элементов насосно-рукавных систем (далее – НРС). Основной **целью** исследования является

экспериментальное установление гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах, что позволит повысить точность гидравлических расчетов и надежность функционирования НРС при тушении пожаров с применением мобильной пожарной техники

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

Основная часть

В данной публикации рассмотрен вопрос необходимости определения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов (далее – НВР), которые возможно использовать не только для забора ОТВ из сетей наружного противопожарного водоснабжения передвижной пожарной техникой (используя пожарную колонку), но и для перелива воды между автоцистернами (далее – АЦ) по системе «из насоса в цистерну» с использованием специального люка на крыше (рис. 1) [1], а также при условиях применения для забора воды гидроэлеваторных систем (Г-600 или Г-600 А – рис. 2).



Рис.1. Методика перелива воды между автоцистернами по системе «из насоса в цистерну» с использованием специального люка на крыше

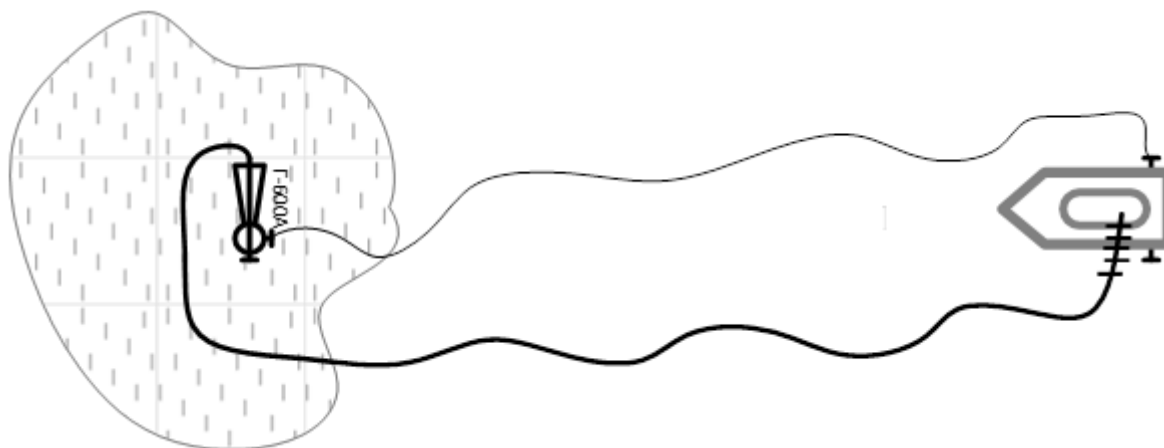


Рис.2. Схема, используемая для организации заправки водой емкости АЦ с применением гидроэлеватора Г-600 или Г-600А

На рис. 1 указано среднее значение напора, создаваемого пожарным насосом ступенью нормального давления $H_{\text{нас}} = 90$ м. При пожарно-тактическом расчете напор в конце магистральной рукавной линии должен составлять не менее $H_{\text{вх}} = 3,5 \div 4$ м (данное значение зависит от высоты пожарного автомобиля $H_{\text{ПА}}$ [2-4]) и не учитывает гидравлическое

сопротивление НВР, как и при заборе воды (рис. 2). В связи с этим актуальной является задача экспериментального определения данного параметра. Испытания выполнялись на исследовательском стенде, созданном в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [5], в соответствии со схемой, изображенной на рис.3.

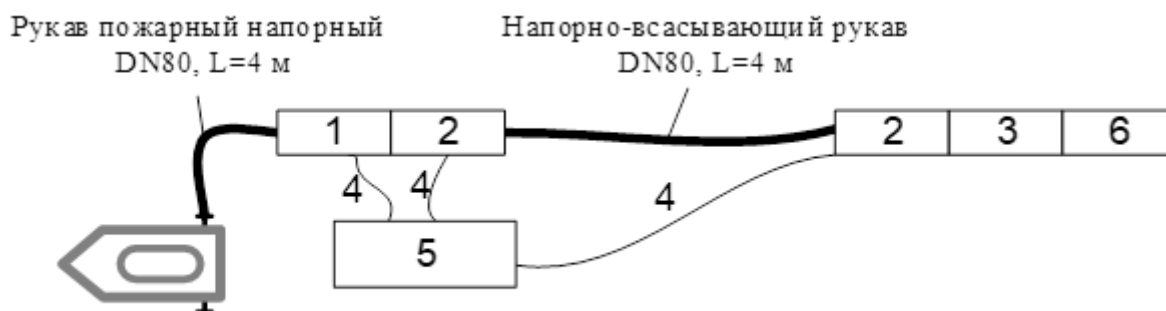


Рис. 3. Схема для определения гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах

На рис. 3 обозначено следующее оборудование, элементы, приборы:

1 – Измерительная рукавная вставка с условным проходом DN80, включающая расходомер электромагнитного типа МастерФлоу МФ-5.2.2-Б-80 (пределы допускаемой относительной погрешности $\pm 3\%$) [5];

2 – Измерительный блок с цифровым манометром для фиксации показаний давления СДВ-И-2,50-1,60-1,00-М(1,60)-4-20мА-DA427-0605-3 (пределы допускаемой основной погрешности $\pm 5\%$) [5, 6];

3 – Техническое устройство, обеспечивающее защиту исследователей во время проводимых испытаний [6];

4 – Каналы передачи данных от измерительных устройств к тепловычислителю модели СПТ941.20 [5];

5 – Регистрирующее устройство СПТ941.20, предназначенное для фиксации и отображения рабочих параметров (давления,

температурных показателей, расхода среды) [5];

6 – пожарный ствол для регулировки подачи воды (РСКУ-70А).

Воду в экспериментальную схему подавали пожарным насосом НЦПК-40/100-4/400 при работе ступени нормального давления от пожарной автоцистерны АЦ-3,2-40/4. В ходе экспериментальных исследований измеряли следующие параметры: объемный расход воды в исследуемой гидравлической системе, а также избыточное давление воды непосредственно перед входом в НВР и выходом из него. Величину объемного расхода в системе регулировали пожарным стволом РСКУ-70А.

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления 4-метрового напорно-всасывающего рукава DN80, включающие измеренные параметры объемного расхода и давления при температуре воды 15°C , представлены в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментально полученные величины гидравлических потерь в напорно-всасывающих рукавах длиной 4 метра и условным проходом DN80

Значение расходы воды в рукаве Q , л/с	Значение давления на входе в НВР P_1 , кПа	Значение давления на выходе из НВР P_2 , кПа	Разность давлений ΔP , между P_1 и P_2 , кПа	Значение перепада напора $\Delta H_{\text{НВР}}$, м	Величина гидравлического сопротивления НВР $S_{\text{НВР}}$, ($\text{с}^2/\text{л}^2$) $\times$ м
8,41	142,2	138,3	3,9	0,39	0,0055
9,96	329,5	323,6	5,9	0,59	0,0059
10,73	296,2	288,3	7,9	0,79	0,0069
11,98	471,7	462,9	8,8	0,88	0,0061
12,13	302,1	293,0	9,1	0,91	0,0062

Значение расходы воды в рукаве Q, л/с	Значение давления на входе в НВР P ₁ , кПа	Значение давления на выходе из НВР P ₂ , кПа	Разность давлений ΔP, между P ₁ и P ₂ , кПа	Значение перепада напора ΔH _{НВР} , м	Величина гидравлического сопротивления НВР S _{НВР} , (с ² /л ²) × м
13,11	799,3	786,5	12,8	1,28	0,0074
19,38	746,3	721,8	24,5	2,45	0,0065
Среднее арифметическое значение					0,0064

Величины гидравлического сопротивления 4-метрового напорно-всасывающего рукава вычислялись по уравнению для определения потерь напора в рукавных линиях при турбулентном движении жидкости [7]:

$$\Delta H_{\text{НВР}} = n \times S_{\text{НВР}} \times Q^2, \text{ м.} \quad (1)$$

где n – число НВР в исследуемой линии (в процессе испытаний применяли один пожарный рукав), шт.;

$S_{\text{НВР}}$ – величина гидравлического сопротивления в напорно-всасывающем рукаве 4-метровой длины, ((с/л)² × м);

Q – количество огнетушащих веществ, проходящих через исследуемую рукавную систему за единицу времени (объемный расход (табл. 1), л/с.

Потерю напора в НВР определяем по следующей формуле:

$$\Delta H_{\text{НВР}} = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{98066,5}{999,13 \times 9,81} = 10, (\text{м})$$

ΔP – разность давлений воды, Па, 1 (кгс/см²) = 98 066,5 Па;

ρ – значение плотности воды при 15 °С, 999,13 кг/м³;

g – величина ускорения свободного падения для территории г. Красноярск, 9,81 м/с².

Из формулы (1) получили параметрическое соотношение для косвенного расчета гидравлического сопротивления НВР, позволяющее вычислять $S_{\text{НВР}}$ по измеренным значениям потерь напора $\Delta H_{\text{НВР}}$ и объемных расходов Q :

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

Используем t-распределение Стьюдента (малая выборка, $n = 7$), уровень доверия 95 % определяем доверительный интервал $S_{\text{НВР}} = (0,0064 \pm 0,0006)$.

По формуле (1) рассчитаем потери напора в НВР при организации бесперебойной подачи воды по схеме, представленной на рис. 1 при пропускной способности напорного

пожарного рукава диаметром 77 мм 23,3 л/с [2], с учетом скорости воды в НРС 5 м/с.

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{НВР}} &= n \times S_{\text{НВР}} \times Q^2 = \\ &= 1 \times 0,0064 \times 23,3^2 = 3,47, \text{ м.} \end{aligned}$$

Полученные в ходе исследования значения потерь напора в НВР (3,47 м) доказывают актуальность экспериментального определения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов. Представленные данные позволяют усовершенствовать существующие методики расчета бесперебойной подачи огнетушащих веществ, что напрямую повлияет на успешность выполнения задач пожарными подразделениями.

Заключение

1. В работе доказана необходимость изучения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов, поскольку это позволяет повысить точность гидравлических расчетов и увеличить надежность работы насосно-рукавных систем в условиях тушения пожаров с применением передвижной пожарной техники.

2. Разработаны методика и экспериментальная установка для измерения гидравлического сопротивления напорно-всасывающих рукавов и других элементов рукавной арматуры.

3. Результаты исследований показали, что гидравлическое сопротивление напорно-всасывающих рукавов DN80 в среднем равно 0,0064 (с²/л²)×м. Это приводит к существенным потерям напора, что доказывает необходимость учета данных потерь в проводимых гидравлических расчетах.

Рекомендации

После завершения всестороннего изучения гидравлических параметров остальных компонентов применяемой рукавной арматуры [8] предлагается создание научно-подтвержденных методических указаний по их использованию в процессе пожаротушения.

Список литературы

1. Куртов С. О., Трояк А. Ю., Малый В. П. Критический анализ способов бесперебойной подачи воды к месту пожара // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы IV 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», 2023. С. 97–101. EDN: PBNWVS.
2. Самохвалов Ю. П., Ермилов А. В. Перекачка. Расчет параметров // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 28–38. EDN: OOJDDR.
3. Тарасов С. В., Пигусов Д. Ю., Пустовалова Н. С. Организация подачи (транспортировки) огнетушащих веществ на тушение пожаров способом перекачки // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. № 2. С. 62–72. DOI: 10.25257/FE.2024.2.62-72. EDN: SRMTJD.
4. Малютин О. С., Васильев С. А. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 4 (11). С. 67–72.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Куртов С. О., Малый В. П., Макаров В. М. Аналитическое обоснование необходимости экспериментального определения гидравлических сопротивлений пожарных треххо-

довых 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.

References

1. Kurtov S. O., Troyak A. Yu., Maly`j V. P. Kriticheskij analiz sposobov besperebojnoy podachi vody` k mestu pozhara [Critical analysis of methods of uninterrupted water supply to the fire scene]. *Aktual`ny`e problemy` obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashhity` ot chrezvy`chajny`x situacij: materialy` IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Zheleznogorsk: Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Sibirskaya pozharно-spasatel`naya akademiya» Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony`, chrezvy`chajny`m situacijam i likvidacii stixijny`x bedstvij», 2023, pp. 97–101. EDN: PBNWVS.
2. Samoxvalov, Yu. P., Ermilov A. V. *Perekachka. Raschet parametrov* [Pumping. Calculation of parameters]. *Sovremennyy`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 4 (53), pp. 28–38. EDN: OOJDDR.
3. Tarasov S. V., Pigusov D. Yu., Pustovalova N. S. Organizaciya podachi (transportirovki) ognetyushashhix veshhestv na tushenie pozharov sposobom perekachki [Organization of supply (transportation) of fire extinguishing agents to extinguish fires by pumping method]. *Pozhary` i chrezvy`chajny`e situacii: predotvrashhenie, likvidaciya*, 2024, issue 2, pp. 62–72. DOI: 10.25257/FE.2024.2.62-72. EDN: SRMTJD.
4. Malyutin O. S., Vasil`ev S. A. Problema gidravlicheskogo rascheta nasosno-rukavny`x sistem v pozharnoj taktike [The problem of hydraulic calculation of pump-and-sleeve systems in fire tactics]. *Sibirskij pozharно-spasatel`ny`j vestnik*, 2018, vol. 4 (11), pp. 67–72.
5. Obosnovanie vy`bora sostava e`ksperimental`no-issledovatel`skoj ustanovki dlya izmereniya teplogidravlicheskix 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.
6. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Povy`shenie bezopasnosti provedeniya issledovanij na e`ksperimental`no-issledovatel`skoj ustanovke pri provedenii diagnostiki i kontrolya teplogidravlicheskix 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-spatel'nyj vestnik*, 2024, vol. 2 (33), pp. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.

7. Kurtov S. O., Malyj V. P. Metod e`ksperimental'nogo issledovaniya gidravlicheskogo soprotivleniya napornyx pozhar'nyx rukavov, vy`polnennyx iz sovremennyx materialov [Method of experimental study of hydraulic resistance of pressure fire hoses made of modern materials]. *Sovremennye problemy` grazhdanskoj*

zashhity, 2024, vol. 4 (53), pp. 22–27. EDN: BFKQFL.

8. Kurtov S. O., Malyj V. P., Makarov V. M. Analiticheskoe obosnovanie neobxodimosti e`ksperimental'nogo opredeleniya gidravlicheskih soprotivlenij pozhar'nyx 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.

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