

УДК 614.842.65: 004.428

Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике

Pump-hose systems hydraulic calculations problem in fire tactics

**О.С. Малютин,
С.А. Васильев**
канд. тех. наук

*ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России*

**O.S. Malyutin,
S.A. Vasilev**
Ph.D. of Engineering Sciences

*FSBEE HE Siberian Fire
and Rescue Academy
EMERCOM of Russia*

Аннотация:

В статье приводится обзор возможных вариантов построения насосно-рукавных систем при тушении пожаров, показаны методы их расчета. Приведены наиболее распространенные варианты насосно-рукавных систем, даны их описание и особенности. Подробно рассмотрены принятые способы расчета каждого из вариантов насосно-рукавных систем. Отмечены характерные для каждой из них достоинства и недостатки. Приведены известные справочные данные, используемые при расчете насосно-рукавных систем. Впервые в литературе эти данные дополнены экспериментально полученными значениями для рукавов диаметром менее 50 и свыше 150 мм. В заключение сделан вывод о неточности применяемых методик. Указано, что основным их достоинством является быстрота расчетов, хотя получаемые результаты могут отличаться от реальных значений. Отмечается необходимость разработки методик проведения расчетов насосно-рукавных систем с учетом отмеченных недостатков.

Ключевые слова: пожарная охрана, пожарная тактика, пожарная техника, пожарные рукава, расчеты, формулы, насосы, насосно-рукавные системы.

Abstract:

The article provides an overview of possible options for the construction of pump-hose systems in extinguishing fires, as well as methods of their calculation. The most common variants of pump-hose systems are given, their description and features are given too. The accepted methods of calculation of each of the variants of pump-hose systems are considered in detail. The advantages and disadvantages characteristic for each of them are noted. The known reference data used in the calculation of pump-hose systems are given. Also, for the first time in the literature, these data are supplemented by experimentally obtained values for fire hoses with a diameter of less than 50 and more than 150 mm. In conclusion, it is concluded that the methods used are inaccurate. It is noted that their main advantage is the speed of calculations, while the results may differ from the real values. In conclusion, the necessity of development of methods of calculations of pump-hose systems subject to marked disadvantages.

Keywords: fire service, fire tactic, fire technic, fire hoses, formulas, pumps, pump-hose systems.

Ключевой задачей расчета насосно-рукавных систем (далее – НРС) является определение потерь напора в рукавных линиях. Значение потери напора характеризует снижение кинетической энергии движущейся по гибкому трубопроводу (пожарному рукаву) жидкости, связанное с

потерями на различные гидравлические сопротивления, возникающими по длине трубопровода. Зная значения падения давления в каждом из участков НРС можно определить, как требуемый для подачи воды напор на насосе мобильного средства пожаротушения (далее – МСП), так и предельные расстояния подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ).

На пожарах, особенно крупных, личному составу зачастую приходится иметь дело с достаточно сложными насосно-рукавными системами, соответственно и порядок расчета их гидравлических характеристик зависит от выбранной схемы соединения.

Важно отметить, что проведение расчетов насосно-рукавных систем является важной частью тактической подготовки руководящего состава пожарно-спасательных подразделений и входит в перечень его прямых компетенций[1].

Классификация насосно-рукавных систем

Воду на тушение пожара отбирают из наружных водопроводных сетей через пожарные гидранты передвижной пожарной техники или непосредственно от гидрантов: через колонку и рукава ее подают на стволы (водопровод высокого давления). В случае отсутствия водопровода или недостаточного количества воды используют естественные (реки, озера и др.) и искусственные (резервуары, баки и др.) водоемы, оборудованные специальными устройствами и сооружениями для забора воды пожарной техникой.

Подача воды во время тушения осуществляется насосно-рукавными системами, вид которых определяется характером развития пожара и требованиями обеспечения быстрого и надежного его тушения. Основные схемы НРС, используемые в практике пожаротушения, приведены на рис. 1 [2, 3].

Если для тушения пожара требуется небольшой расход воды, то прокладывают одну рабочую рукавную линию, состоящую из нескольких напорных рукавов соединенных последовательно, с установкой одного пожарного ствола (Рис. 1, а).

В случае, если от одного пожарного автомобиля или рукавного разветвления проложено несколько параллельных линий, тогда соединение называется параллельным. Причем параллельные рукавные линии могут быть проложены как к самостоятельным приборам подачи воды (Рис. 1, в1), так и к одному – например, лафетному стволу с двумя соединительными полугайками (Рис. 1, в2). При необходимости подачи значительного количества воды для тушения пожара на большие расстояния, прокладывается магистральная рукавная линия, и к ней, через рукавное разветвление, присоединяют рабочие рукавные линии. Если рабочая линия одна (Рис. 1, б), то такое соединение рукавных линий называется последовательным через рукавное разветвление, если больше, то - смешанным (Рис. 1, г1, г2).

В качестве водоисточника могут выступать пожарные гидранты. Это наиболее распространенный в городах вид наружных источников противопо-

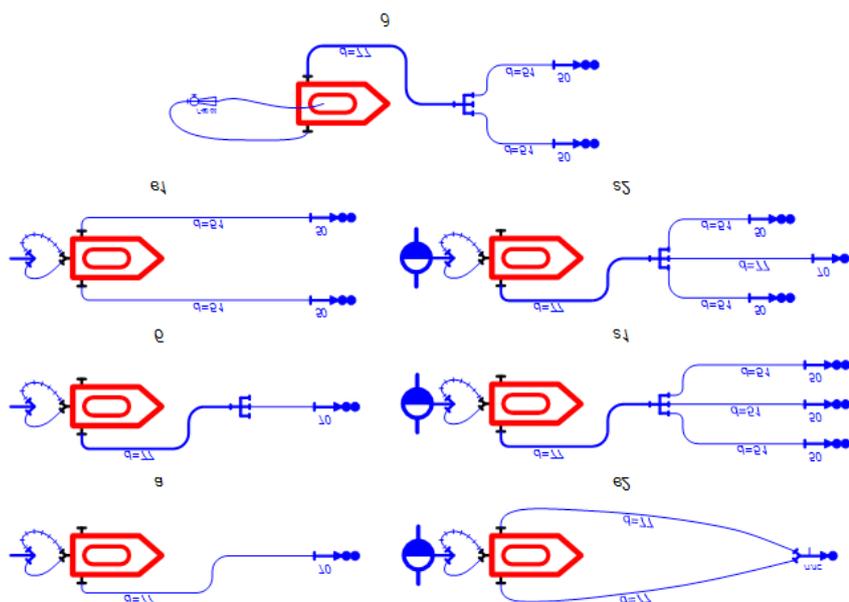


Рис. 1. Виды насосно-рукавных систем: а – последовательное (простое) соединение, б - последовательное соединение через рукавное разветвление, в1 – параллельное соединение к нескольким приборам подачи ОТВ, в2 – параллельное соединение к одному прибору подачи, г1 – смешанное соединение с равноценными рабочими линиями, г2 – смешанное соединение с различными рабочими линиями, д – НРС на основе гидроэлеваторной схемы забора воды

жарного водоснабжения (далее – ИНППВ). А также любые другие виды ИНППВ – пожарные водоемы, естественные водоисточники и т.д., в зависимости от конкретной обстановки на месте пожара. Частным случаем забора воды, в силу наличия особенностей как в составлении, так и в расчете, выступают гидроэлеваторные НРС (Рис. 1, д).

При тушении крупных пожаров система подачи воды к месту пожара, значительно расширяется, вследствие чего НРС усложняются. Но в любом случае, любая НРС состоит из комбинации приведенных выше простых видов.

Отдельно стоит отметить организацию подвоза воды. В этом случае, насосно-рукавные системы комбинируются с работой пожарных автомобилей по перевозке воды в емкостях [4, 5].

Расчет насосно-рукавных систем при простом соединении

Наиболее простым видом насосно-рукавных соединений является одиночная рукавная линия, про-

ложенная от пожарного автомобиля либо рукавного разветвления, как часть более сложной системы (Рис. 2).

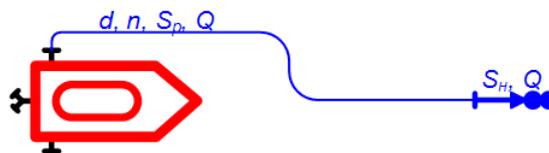


Рис. 2. Последовательное соединение

Потеря напора в напорной рукавной линии определяется по формуле:

$$h_p = n \cdot S_p \cdot Q^2 \quad (1)$$

где, S_p – гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава длиной 20м, (с/л)м²,

Q – расход воды через сечение рукава (л/с),

n – количество рукавов, ед.

Гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава S_p зависит от его диаметра и представлено в таблице 1:

Таблица 1: Значения гидравлических сопротивлений напорных пожарных рукавов

Рукава	Диаметр рукава, мм								
	38	51	66	77	89	150	200	250	300
С армирующим каркасом из синтетических волокон с внутренним гидроизоляционным слоем (прорезиненные)	0,34 [7]	0,13 [5]	0,034 [5]	0,015 [5]	0,007 [5]	0,0013 [6]	0,0003 [6]	0,000068 [6]	0,000028 [6]
С армирующим каркасом из натуральных волокон без гидроизоляционного слоя (непрорезиненные)	-	0,24 [5]	0,077 [5]	0,03 [5]	-	-	-	-	-
Рукава с двухсторонним покрытием на рабочее давление 3,0 МПа	0,51 [7]	-	-	-	-	-	-	-	-

Таким образом, зная потери напора в напорной рукавной линии, можно вычислить требуемый напор на насосе МСП:

$$H_n = H_{ств} + n \cdot S_p \cdot Q^2 \pm z \pm h_{ств} \quad (2)$$

где, $H_{ств}$ – требуемый напор перед насадком пожарного ствола, м.

z – перепад высот местности, м,

$h_{ств}$ – подъем ствола над уровнем земли, м.

А также, решить обратную задачу - определить предельное расстояние подачи огнетушащих веществ:

$$L_{np} = \left[\frac{H_n - (H_{ств} \pm z \pm h_{ств})}{S_p \cdot Q^2} \right] \cdot 20 \quad (3)$$

Расход и требуемый для его создания напор обычно принимают по значениям из справочной литературы или по ТТХ, указанным в паспорте прибора.

Значения этих параметров для гладкоствольных насадков, используемых в стволах РС-57, РС-70 и ПЛС можно увидеть в таблице 2 [3].

Расчет насосно-рукавных систем при параллельном соединении

В целом, расчет параллельных рукавных систем, проложенных к различным приборам подачи ОТВ (Рис. 3) сводится к решению предыдущей задачи.

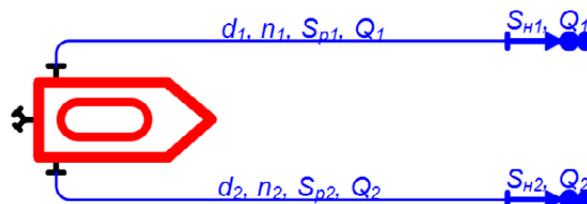


Рис. 3. Параллельное соединение с различными приборами подачи огнетушащих веществ

Таблица 2: Значения напора и подачи гладкоствольных насадков для пожарных стволов

Напор, м в. ст.	Подача, л/с при диаметре насадка, мм					
	13	16	19	22	25	28
25	2,9	4,4	6,2	8,2	10,7	3,4
26	2,9	4,5	6,3	8,4	10,9	13,6
27	3,0	4,5	6,4	8,6	11,1	13,9
28	3,0	4,6	6,5	8,7	11,3	14,1
29	3,1	4,7	6,6	8,9	11,5	14,4
30	3,2	4,8	6,7	9,0	11,7	14,6
31	3,2	4,9	6,9	9,2	11,9	14,9
32	3,3	4,9	7,0	9,3	12,1	15,4
33	3,3	5,0	7,1	9,5	12,2	15,4
34	3,4	5,1	7,2	9,6	12,4	15,6
35	3,4	5,3	7,3	9,8	12,6	15,8
40	3,6	5,5	7,8	10,4	13,5	16,9
45	3,9	5,9	8,3	11,1	14,3	17,9
50	4,1	6,2	8,7	11,7	15,1	18,9
55	4,3	6,5	9,1	12,2	15,8	19,8
60	4,5	6,8	9,5	12,8	16,5	20,7

При определении требуемого напора на насосе МСП проводится расчет для каждой из проложенных рукавных линий по отдельности, затем выбирается наибольшее значение. Аналогично осуществляется решение обратной задачи – определения предельного расстояния подачи огнетушащих веществ – с той лишь разницей, что изначально напор на насосе МСП задается условием.

Несколько сложнее осуществляется расчет параллельных рукавных линий проложенных к одному потребителю (лафетному пожарному стволу, разветвлению или МСП) (Рис. 4).

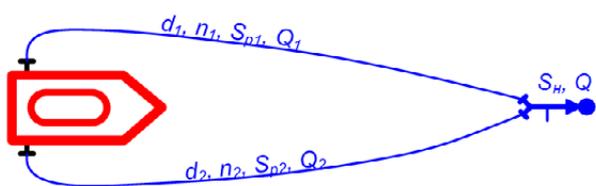


Рис. 4а. Параллельное соединение к общему прибору подачи воды

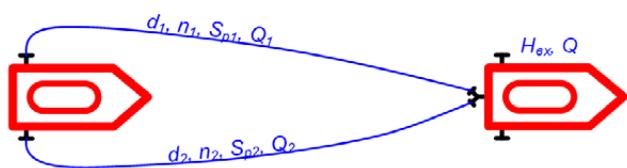


Рис. 4б. Перекачка воды между двумя автоцистернами организованная «из насоса в насос»

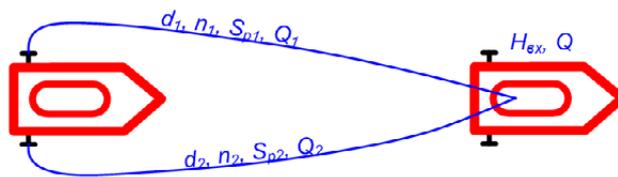


Рис. 4в. Перекачка воды между двумя автоцистернами организованная «из насоса в емкость»

Обычно в подобных случаях в практике пожаротушения принято прокладывать рукавные линии с одинаковыми характеристиками – типом и количеством напорных рукавов. Тогда требуемый расход воды в потребителе разделяется на количество рукавных линий и в дальнейшем расчет сводится к решению задачи по определению потерь напора для одной рукавной линии.

Как видно из формулы 1, потеря напора в рукавной линии прямо пропорциональна квадрату расхода воды через сечение рукава. Таким образом, при прокладке к одному потребителю двух магистральных линий вместо одной, потеря напора будет снижена в четыре раза, т.е. по двум магистральным линиям, проложенным к одному потребителю, можно подать воду на расстояние в четыре раза больше, чем по одной. Это необходимо учитывать при развертывании рукавных линий на месте пожара, так как прокладка по двум магистральным линиям может позволить сэкономить ресурс пожарных автомобилей в случае их нехватки.

При подаче воды к пожарным лафетным стволам в расчете используются их гидравлические характеристики и ГТХ (Табл. 2).

При подаче воды «в перекачку» от одного МСП к другому требуемый напор на конце магистральных линий принимается:

- при перекачке в насос – 4м;
- при перекачке в емкость – 10м [8, стр.69].

Следует отметить, что возможно возникновение ситуаций, когда рукавные линии могут иметь различные характеристики.

В этом случае приведенный метод расчета не подходит и вместо него используется расчет через определение общего гидравлического сопротивления системы:

$$S_c = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{n_1 S_1}} + \frac{1}{\sqrt{n_2 S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n_n S_n}}\right)^2} \quad (4)$$

где, S_n – гидравлическое сопротивление n-го пожарного рукава длиной 20м, (с/л)м²,

n – количество рукавов, ед.

Тогда формула 1 будет выглядеть следующим образом:

$$h_p = S_c \cdot Q^2 \quad (5)$$

Расчет насосно-рукавных систем при смешанном соединении

Самым сложным, с точки зрения вычислений, является расчет насосно-рукавных систем при смешанном соединении. Этот вид НРС характеризуется тем, что в одной системе могут иметь место элементы более простых видов (Рис. 5). Анализ схем расстановки сил и средств при тушении крупных пожаров показывает, что на реальных пожарах именно такие схемы оказываются наиболее распространенными.

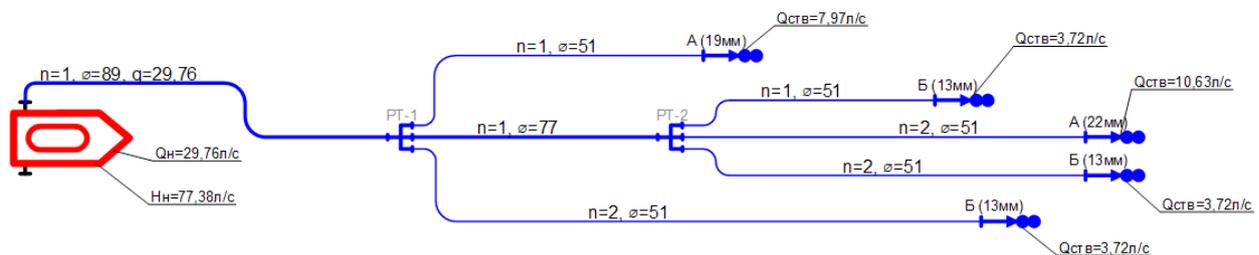


Рис. 5. Смешанное соединение НРС

На рисунке 5 видно, что в одной НРС все рукавные линии имеют различные параметры – расход воды через сечение, длину, тип и количество рукавов. В таких условиях привести всю систему к единому математическому описанию практически невозможно.

На сегодняшний день в пожарной охране не применяются методики позволяющие произвести точный гидравлический расчет сложных систем. Это связано с тем, что подобные системы представляют собой крайне сложную конструкцию из взаимовлияющих гидравлических характеристик. Так, например, на рисунке 5 показано пять поданных пожарных стволов с различными ГТХ. Изменение расхода любого из этих стволов изменяет расход не только в рабочей линии, ведущей к этому стволу, но и в магистральной линии. Это влечет к изменению потерь напора в ней и неминуемому изменению параметров всей насосно-рукавной системы в целом, в частности расходов всех остальных 4 стволов. Изменение расхода в этих стволах, в свою очередь, также сказывается на гидравлических характеристиках всей системы. Получается циклическое вычисление. В циклических гидравлических вычислениях используемых, например, при гидравлическом расчете систем водоснабжения городов, промышленных предприятий [4], зданий или систем АУПТ

[9], обычно используются циклические расчеты невязок. Но в случае с расчетами НРС такой подход неприменим в связи с чрезвычайной трудоемкостью, особенно при расчете больших систем.

Таким образом, решение смешанных насосно-рукавных систем сводится к решению упрощенной задачи – определению потерь напора в магистральных линиях без учета:

- потерь напора в рабочих рукавных линиях;
- взаимного влияния гидравлических параметров рукавных линий входящих в состав смешанной НРС;

- результирующих различных напоров перед насадками приборов подачи ОТВ в различных линиях.

В данном случае, находить напор на насосе МСП предлагается следующим образом [8, стр.58]:

$$H_n = H_p + n \cdot S_p \cdot Q^2 \pm z \pm h_{ств} \quad (6)$$

где, H_p – напор перед рукавным разветвлением, принимаемый на 10м больше напора перед насадками пожарных стволов, м.

z – перепад высот местности, м,

$h_{ств}$ – подъем ствола над уровнем земли, м.

В данном случае разница в 10 метров напора между насадками стволов и рукавным разветвлением заменяет расчет потери напора в рабочих рукавных линиях идущих после разветвления. Соответственно, в случае, если речь идет о нескольких рукавных разветвлениях соединенных последовательно, то для каждого из них это значение увеличивается на 10м.

Заключение

Рассмотренная в статье методика является общепринятой для расчета параметров НРС и упоминается в таком виде во многих учебных пособиях по пожарной тактике и технике [2, 3, 4, 5, 8].

Вместе с тем, очевидно, что точный расчет смешанных насосно-рукавных систем при помощи данной методики невозможен. Большое количество принятых допущений не позволяет этого сделать. При этом, чем более сложной является насосно-рукавная система, тем сложнее определить истинные параметры НРС. В практике пожаротушения, такой подход можно назвать «условно» допустимым, поскольку при тушении пожаров решающим фактором является быстрота проведения расчетов, а не их абсолютная точность. Вместе с тем, очевидно, что при подготовке специалистов в образовательных организациях пожарно-технического профиля, когда нет необходимости проведения «срочных» вычислений, для более детального понимания сути НРС и протекающих в них гидравлических процессов, точность вычисления является определяющей.

В связи с этим требуется разработка методики вычисления гидравлических характеристик насосно-рукавных систем с использованием современных средств вычислительной техники и специального программного обеспечения.

Литература

1. Мартинович, Н.В. Комплексный подход оценки профессиональной деятельности руководителя пожарно-спасательного подразделения / Мартинович Н.В., Татаркин И.Н., Антонов А.В., Мельник А.А. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2016, №3.-С.39-44.- Режим доступа: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
2. Малый В.П, Масаев В.Н., Вдовин О.В., Муховиков Д.В. Противопожарное водоснабжение. Насосно-рукавные системы: учебное пособие для слушателей, курсантов и студентов Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России / - Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2017.- 131 с.
3. Абросимов Ю. Г., Жучков В. В., Мышак Ю. А., Пименов А. А., Карасёв Ю. Л., Фоменко В. Д. Противопожарное водоснабжение: Учебник. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2008.-310 с.
4. Качалов А.А. и др. Противопожарное водоснабжение: Учеб. Для пожарно-техн. Училищ / А.А. Качалов, Ю.В. Воротынцев, А.В. Власов. – М.: Стройиздат, 1985-286 с., ил.
5. Ходаков В.Ф. Гидравлика в пожарном деле. / В.Ф. Ходаков – М.:Высшая школа МООН РСФСР, 1965.-204с.
6. Ольховский И.А. Технология применения рукавных систем с пропускной способностью более 100л/с для тушения пожаров на объектах энергетики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
7. Черкинский М.В. Обоснование параметров насосно-рукавных систем при транспортировке и подаче огнетушащих веществ. Магистерская диссертация. АГПС МЧС России, 2017г.
8. Теребнёв В.В. Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания) – Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2012. – 460с.
9. Свод правил СП 5.13.130.2009 "Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования" (утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. N 175)