

Министерство образования и науки РФ
Иркутский национальный исследовательский технический университет

С.С. Тимофеева, О.М. Кустов

**Противопожарное
водоснабжение**

Практикум

Издательство
Иркутского национального исследовательского технического университета
2015

УДК 614.851.3

Т 41

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры автотехнической экспертизы ВСИ МВД России **Д.В. Седов;**

канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и БЖД ИрГУПС **С.Е. Съемщиков**

Тимофеева С.С. Противопожарное водоснабжение : практикум / С.С. Тимофеева, О.М. Кустов. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 69 с.

Практикум соответствует требованиям ФГОС ВО УГС 20.04.01 «Техносферная безопасность» для магистров.

В практикуме приводится характеристика водопроводных систем и сооружений населенных пунктов и промышленных предприятий. Приводятся нормы расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды и пожаротушение, их гидравлический расчет. Рассмотрены противопожарные насосно-рукавные системы, наружные и внутренние противопожарные сети.

Предназначено для студентов технических университетов, обучающихся по направлению магистратуры 20.04.01 «Техносферная безопасность», также слушателями курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров, специалистов по противопожарной профилактике промышленных предприятий и широкого круга заинтересованных читателей.

© Тимофеева С.С., Кустов О.М., 2015

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Водопроводные системы и сооружения.....	5
1.1. Схемы водопроводов	5
1.2. Классификация водопроводов.....	7
1.3. Нормы расхода воды водопроводной сети	8
1.3.1. Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды заселенных пунктов .	8
1.3.2. Расход воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов	8
1.3.3. Расход воды на пожаротушение	8
2. Расчет гидравлических сопротивлений водопроводных систем	11
2.1. Потери напора по длине трубопровода	11
2.2. Потери напора на местные сопротивления	12
2.3. Гидравлический расчет водопроводной сети первого этапа (от водозабора до напорной башни согласно рис. 1).....	12
2.4. Гидравлический расчет водопроводной сети второго этапа (от напорной башни до населенного пункта и промышленных объектов)	13
3. Противопожарные насосно-рукавные системы.....	15
3.1. Классификация насосов и их применение в пожаротушении	15
3.2. Основные рабочие параметры насосов	16
3.3. Характеристики центробежных насосов	18
3.4. Работа насоса на сеть.....	20
3.5. Упрощенные формулы для определения потерь напора в трубах.....	21
3.6. Расчет рукавных систем.....	22
4. Истечение жидкости из пожарных стволов	26
4.1. Пожарные струи	27
4.2. Сплошные водяные струи	29
4.3. Вертикальные струи	31
4.4. Наклонные струи	33
5. Наружные и внутренние противопожарные сети	37
5.1. Нормы напора воды гидранта и пожарного крана для пожаротушения	38
5.2. Перекачка воды автонасосами.....	41
Приложение 1. Табличные данные по определению различных параметров в зависимости от определенных условий	44
Приложение 2. Примеры расчетов по каждому рассматриваемому разделу дисциплины «Противопожарное водоснабжение».....	52
Приложение 3. Свод правил противопожарного водоснабжения	
Список рекомендуемой литературы.....	

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе постоянно возрастает роль водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, которые решаются совместно с пожарной охраной данных объектов.

Основные противопожарные требования предусматривают получение необходимых расходов воды с требуемым напором в течение расчетного времени тушения пожаров. В задачу курса входит изучение нормативных требований к системам наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения, которые должны отвечать строительным нормам и правилам.

В процессе обучения магистрантов направления 20.04.01 «Техносферная безопасность» у каждого специалиста по противопожарной профилактике должно быть сформировано производственное мышление, способность к анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения. Специалист хорошо знает методы, приемы и технические средства и устройства противопожарного водоснабжения и умело применять их при экспертизе проектов и эксплуатации водопроводных систем.

Согласно учебному плану дисциплина «Противопожарное водоснабжение» относится к блоку общепрофессиональных дисциплин для магистерской программы «Пожарная безопасность» и является дисциплиной по выбору.

1. ВОДОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ И СООРУЖЕНИЯ

Противопожарному водоснабжению уделяют большое внимание при проектировании городов, промышленных предприятий и других объектов народного хозяйства. Однако самостоятельное противопожарное водоснабжение устраивают очень редко. Чаще всего требования пожарной охраны входят в комплекс общих задач водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий.

Основные нормативные требования, предъявляемые к водоснабжению (водопроводным сооружениям и наружным сетям), изложены в строительных нормах и правилах: СП 8.13130.2009 г. «Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности» от 01.05.2009 г. ФГУ ВНИПО МЧС России и СП 10.13130.2009 г. «Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности» от 01.05.2009 г. ФГУ ВНИПО МЧС России и СП 10.13130.2000 г.

Противопожарное водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий может быть безводопроводное и водопроводное. Безводопроводное предусматривает использование в первую очередь естественных водоисточников (рек, озер, прудов) или искусственных водоисточников (колодцев, резервуаров, водохранилищ, каналов). Для водопроводного используют существующие водопроводы путем отбора воды пожарными автомасосами из гидрантов.

В зависимости от степени пожарной Опасности производств и с учетом экономического фактора безводопроводное противопожарное водоснабжение предусматривают для предприятий с территорией не более 20 га и категорией производства Г и Д при расходе воды на наружное пожаротушение 20 л/с и менее, а также для населенных мест с числом жителей не более 5 тыс. человек и для отдельно расположенных общественных зданий.

Для отдельных производственных зданий I и II степени огнестойкости объемом не более 2000 м с производствами категории Д, а также для населенных мест с числом жителей до 50 человек при застройке зданиями высотой до двух этажей противопожарное водоснабжение можно не предусматривать.

1.1. Схемы водопроводов

В качестве источников водоснабжения могут быть использованы открытые и подземные водоисточники. В зависимости от вида водоисточника возможны следующие схемы водоснабжения:

- а) схема подачи воды из открытых водоисточников (рис. 1).

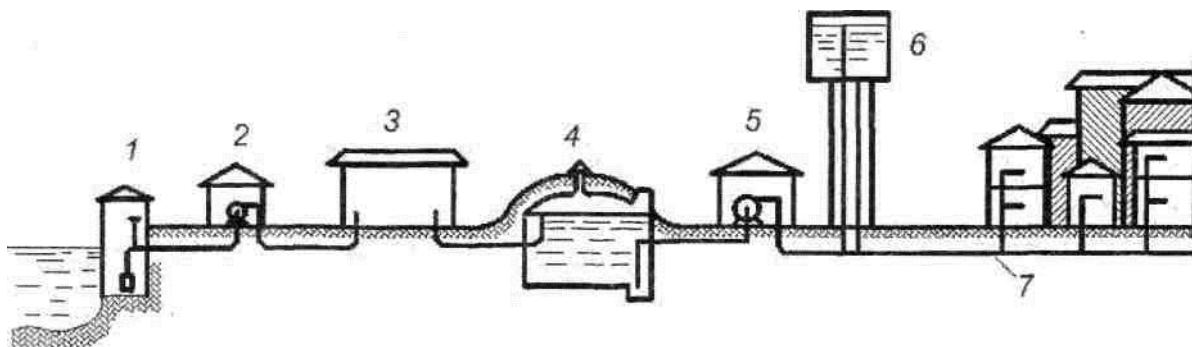


Рис. 1. Схема водопровода при открытых водоисточниках: 1 – водозаборный колодезь; 2 – насосная станция I подъема; 3 – очистные сооружения; 4 – запасной резервуар; 5 – насосная станция II подъема; 6 – водонапорная башня; 7 – водопроводная сеть от напорной башни до гидрантов

Вода забирается насосной станцией первого подъема 2 и подается на очистные сооружения 3. С очистных сооружений вода самотеком поступает в запасные резервуары чистой воды 4, из которых насосами насосной станции II подъема 5 подается в водонапорную башню 6 или водопроводную сеть 7.

Водозаборные устройства, насосная станция и очистные сооружения относятся к сооружениям I подъема. Запасной резервуар, вторая насосная станция, водонапорная башня и наружная водопроводная сеть – к сооружениям II подъема;

б) схема подачи воды из подземных водоисточников (рис. 2).

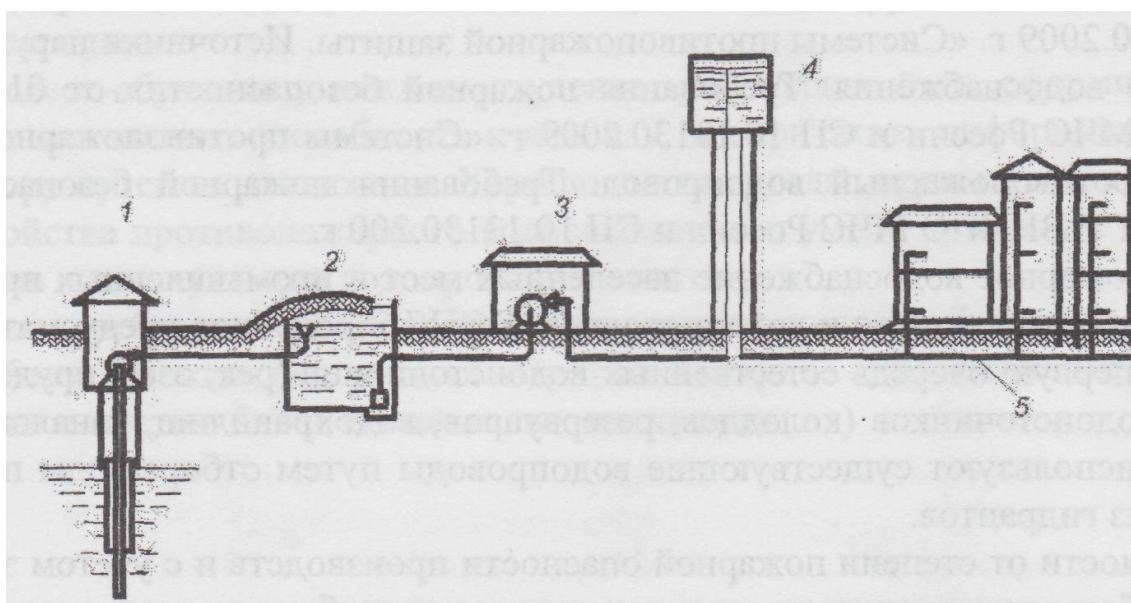


Рис. 2. Схема водопровода при подземных источниках:
1 – артезианская скважина с насосом I подъема; 2 – запасной резервуар;
3 – насосная станция II подъема; 4 – водонапорная башня; 5 – водопроводная сеть

Для забора воды из подземных водоисточников устраивают шахтные колодцы, артезианские скважины 1. Из артезианской скважины вода подается в запасные резервуары 2, откуда перекачивается насосами насосной

станции II подъема 3 в водопроводную башню 4 или водопроводную сеть 5.

1.2. Классификация водопроводов

Водопроводом называется комплекс сооружений, предназначенных для забора воды из водоисточника, ее очистки, хранения, транспортирования и распределения между потребителями. Системы водоснабжения по надежности по дачи, воды подразделяются на три категории и принимаются в зависимости от вида промышленного предприятия, количества жителей в населенном пункте и требований бесперебойности подачи воды (табл. 1.1),

Таблица 1

Классификация системы водоснабжения по надежности

Водопотребитель	Категория надежности поддачи воды
Предприятия металлургической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, электростанции, а также хозяйственно-бытовые водопроводы населенных пунктов с числом жителей более 50 000 чел., допускающие снижение подачи воды не более 30 % в течение 3 сут.	I
Предприятия угольной, горнорудной, нефтедобывающей, машиностроительной и других видов промышленности, а также хозяйственно-бытовые водопроводы населенных пунктов с числом жителей до 50 000 чел. И групповые сельскохозяйственные водопроводы, допускающие снижение подачи воды не более 30 % в течение 1 мес. Или перерыв в подаче воды в течение 5 ч.	II
Мелкие промышленные предприятия, системы орошения сельскохозяйственных земель, а также хозяйственно-бытовые водопроводы населенных пунктов с числом жителей до 500 чел., допускающие перерыв в подаче воды до 1 сут или снижение подачи воды не более 30 % в течение 1 мес.	III

В зависимости от вида обслуживаемого объекта водопроводы могут быть городские и промышленные. По назначению потребляемой воды водопроводы подразделяются на:

- хозяйственно-бытовые, подающие воду, для приготовления пищи и удовлетворения санитарно-технических потребностей (работы санитарных узлов, ванн, душей и т. п.)
- производственные, подающие воду для отопления, получения пара для технологических целей, мойки, сырья, полуфабрикатов, готовой продукции;
- пожарные;
- объединенные, которые обеспечивают одновременно несколько назначений (например, хозяйственно-бытовой и пожарный, производственно-пожарный или хозяйственно-производственно-пожарный водо-

проводы). Наиболее экономически целесообразны объединенные хозяйственно-бытовые пожарные водопроводы.

1.3. Нормы расхода воды водопроводной сети

При возникновении пожара водопроводные сооружения и сети должны пропустить одновременно с максимальными хозяйственно-бытовыми и производственными расходами воды и расход воды на тушение пожара.

Отсюда общее количество воды, необходимое в водопроводной системе, состоит из трех составляющих:

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot K_3, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где Q_1 – расход воды на хозяйственно-бытовые нужды, м³/с;

Q_2 – расход воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов, м³/с;

Q_3 – расход воды на пожаротушение, м³/с;

$K_3 = 1,3$ – коэффициент запаса воды в водопроводной сети.

1.3.1. Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов

Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = \frac{q_{жс} \cdot N_{жс}}{1000 \cdot 24 \cdot 3600} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где $q_{жс}$ – водопотребление на одного жителя, л/сут (прил. 2, табл. 1);

$N_{жс}$ – число жителей населенного пункта (прил. 1, табл. 1).

1.3.2. Расход воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов

Расход воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов состоит из двух составляющих:

$$Q_2 = Q_{np} + Q_{x/б}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3)$$

где Q_{np} – расход воды на производственные нужды, м³/с (прил. 2, табл. 1)

$$Q_{x/б} = \frac{q_{np} \cdot N_{np} \cdot n \cdot K}{1000 \cdot 8 \cdot 3600}, \quad (4)$$

где N_{np} – количество рабочих на производстве (прил. 2, табл. 1);

q_{np} – удельный расход воды на одного рабочего, л/см (прил. 2, табл. 1);

n – число смен в сутки (прил. 2, табл. 1);

$K=3$ – коэффициент неравномерности водопотребления;

8 – восьмичасовой рабочий день.

1.3.3. Расход воды на пожаротушение

Количество воды, необходимое для пожаротушения, зависит от степени огнестойкости, объема здания, категорий и от числа жителей.

$$Q_3 = Q_{нар} + Q_{вн} + Q_{спр} + Q_{др}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5)$$

где $Q_{нар}$ – расход воды на наружное пожаротушение в течение 3 ч, м³/с;
 $Q_{вн}$ – расход воды на внутреннее пожаротушение в течение 3 ч, м³/с;
 $Q_{спр}$ – расход воды на спринкерное пожаротушение в течение 1 ч, м³/с;
 $Q_{др}$ – расход воды на дренчерное пожаротушение в течение 1 ч, м³/с.

Расход воды на наружное пожаротушение состоит из двух составляющих:

$$Q_{нар} = Q_{нп} + Q^{пож}_{нп}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6)$$

где $Q_{нп}$ – расход воды на наружное пожаротушение населенных пунктов, м³/с;
 $Q^{пож}_{нп}$ – расход воды на наружное пожаротушение промышленных объектов, м³/с.

Расход воды на наружное пожаротушение населенных пунктов через гидранты определяется по следующей формуле:

$$Q_{нп} = \frac{q_{нп} \cdot n_{нп}}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где $q_{нп}$ – расход воды на тушение одного пожара, л/с (прил. 1, табл. 1);
 $n_{нп}$ – число пожаров (прил. 1, табл. 1).

Расход воды на наружное пожаротушение промышленных объектов через гидранты определяется по следующей формуле:

$$Q^{пож}_{нп} = \frac{q_{нп} \cdot n^{пож}_{нп}}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8)$$

где $Q^{пож}_{нп}$ – расчетный расход воды на наружное пожаротушение промышленных объектов одного пожара (прил. 1, табл. 2);
 $n^{пож}_{нп}$ – количество пожаров на промышленном объекте (табл. 1).

Расход воды на внутреннее пожаротушение определяется по формуле:

$$Q_{вн} = \frac{q_c \cdot n_c}{1000} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (9)$$

где q_c – расход воды на одну струю пожарного рукава, л/с (прил. 1, табл. 3);
 n_c – число струй (прил. 1, табл. 3).

Спринкерное оборудование предназначено для автоматической подачи сигнала о пожаре и его тушении. Оборудование состоит из труб, расположенных внутри помещения под потолком. На трубах установлены спринкеры, которые автоматически открываются при повышении температуры в помещении до заданного предела и подают в очаг горения воду в виде капельных водяных струй. Расход воды на спринкерное оборудование $Q_{спр}$ представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расход воды на спринкерное оборудование

Объем здания, тыс. м ³	Расход воды, $Q_{спр}$ и $Q_{др}$, л/с
До 100	30
100–200	35
200–300	40
>300	50

Дренчерное оборудование предназначено для автоматического или ручного тушения пожара в помещении путем орошения капельными водяными струями на расчетной площади здания. Дренчерное оборудование используют также для создания водяных завес в проемах дверей и окон. Такое оборудование применяют для пожароопасных объектов (легковоспламеняемых веществ и жидкостей). Расход воды на дренчерное оборудование $Q_{др}$ также представлен в табл. 2.

Контрольные вопросы и задания

1. Водопроводы по назначению потребляемой воды в системе водопотребления.
2. Общее количество воды, необходимое в водопроводной системе.
3. Формула расчета воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов.
4. Формула расчета воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов.
5. Формула расчета воды на пожаротушение.
6. Спринкерное оборудование.
7. Дренчерное оборудование.

2. РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВОДОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

При движении воды по трубопроводам и пожарным рукавам происходит потеря напора на преодоление гидравлических сопротивлений, которая складывается из следующих видов:

1) на преодоление сопротивления на подъем воды в напорную башню или на высоту рассматриваемого объекта, называемую геометрической высотой подъема воды;

2) на преодоление сопротивлений, вызываемых трением жидкости при движении по трубопроводам и пожарным рукавам, называемых потерями напора по длине трубопровода;

3) на преодоление сопротивлений на местных участках трубопровода и пожарных рукавов (задвижка, вентиль, поворот, внезапное расширение или сужение трубы и т. п.), называемые потерями напора на местные сопротивления.

Согласно общей схемы водопроводов (рис. 1, 2) мы имеем два этапа передачи воды: первый этап – передача воды от источника забора до водонапорной башни; второй этап – от башни до производственных, жилых помещений и пожарных гидрантов.

Общая величина потерь напора H составляет сумму всех потерь напора по длине отдельных участков трубопровода $\sum h_l$, всех местных потерь напора $\sum h_m$ и геометрической высоты подъема воды H_r :

$$H = \sum h_l + \sum h_m + H_r, \text{ м.} \quad (10)$$

2.1. Потери напора по длине трубопровода

При установившемся движении жидкости потери напора зависят от физических свойств движущейся жидкости, средней скорости течения, размеров трубопровода и характера шероховатости стенок трубы. Эта зависимость может быть выражена формулой Дарси-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}, \text{ м,} \quad (11)$$

где h_l – потери напора по длине трубопровода, м вод. ст.;

λ – коэффициент гидравлического трения по длине трубопровода;

l – длина трубы, м;

d – диаметр трубы, м;

u – скорость движения воды, м/с;

g – ускорение силы тяжести, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Для всех областей сопротивления X можно определить по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

где Δ – абсолютная шероховатость, м, (прил. 1, табл. 5);

Re – коэффициент Рейнольдса, определяемый из выражения:

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (13)$$

где $u = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi \times \frac{d^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi \times d^2}$, м/с,

где Q – общее количество воды, движущейся по трубопроводу, м³ /с (уравнение 1);

ρ и μ – плотность (кг/м³) и коэффициент динамической вязкости воды (Па · с) являющийся функцией от температуры воды (прил. 1, табл. 12.1).

2.2 Потери напора на местные сопротивления

Величину потери напора, затраченную на преодоление местного сопротивления, определяют в зависимости от скоростного напора, соответствующего скорости за пределами местного сопротивления:

$$h_m = \frac{\xi \cdot u^2}{2g}, \quad \text{м}, \quad (14)$$

где h_m – потери напора на местные сопротивления, м вод. ст.;

ξ – коэффициент местного сопротивления, для некоторых видов местных сопротивлений значения коэффициентов приведены в прил. 1, табл. 4.

В некоторых случаях потери напора на местные сопротивления (в пожарных гидрантах, колонках, водомерах и др.) удобнее определить по формуле

$$h_m = S \cdot Q^2, \quad (15)$$

полученной из формулы (14), в которой средняя скорость u выражена через расход Q , а постоянная величина $\frac{\xi}{F^2 \cdot 2 \cdot g}$ через сопротивление S . Величина сопротивлений S водопроводной арматуры и приборов приведены в прил. 1, табл. 8.

2.3. Гидравлический расчет водопроводной сети первого этапа (от водозабора до напорной башни согласно рис. 1)

Полный напор H для данного этапа, согласно представленной схемы (рис. 1) состоит из следующих составляющих:

$$H_I = H_\Gamma + h_{mp} + h_{неч.ф} + h_{пол.ф}, \quad \text{м}, \quad (16)$$

где а) H_Γ – гидравлическая высота подъема воды в напорную башню представлена в исходных данных, м вод. ст.

б) потери напора в гидравлических сопротивлениях трубы, м вод. ст.:

$$h_{np} = \left(1 + \sum \xi_1 + \lambda \frac{L_1}{d} \right) \frac{u^2}{2g}, \quad \text{м}, \quad (17)$$

где $\sum \xi_1 = \xi_{вых} + n_{задв} \cdot \xi_{задв} + n_{юв} \cdot \xi_{юв} + \xi_{ex}$ – сумма коэффициентов местных со-

противлений (прил. 1, табл. 4);

$n_{задв}$ – количество задвижек на линии I этапа;

$n_{нов}$ – количество плавных поворотов на линии I этапа

Коэффициент сопротивления по длине трубы

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (18)$$

где Δ – абсолютная шероховатость трубы, м (прил. 1, табл. 5);

$$Re = \frac{ud\rho}{\mu} \quad \text{– критериальное уравнение Рейнольдса}; \quad (19)$$

u – скорость движения воды в трубе, м/с (прил. 1, табл. 16). При выборе скорости движения воды в трубе исходят из значений, обеспечивающих значения близкие к оптимальному диаметру трубопровода;

в) потери напора в песчаных фильтрах:

$$h_{нec.ф} = \frac{3 \cdot \lambda \cdot H_{нec} \cdot (1 - \varepsilon_{нec}) \cdot u_0^2}{4 \cdot \varepsilon^3 \cdot d_r \cdot \Phi}, \quad (21)$$

где $\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34$ – коэффициент сопротивления фильтра;

$$Re = \frac{2}{3} \frac{\Phi}{(1 - \varepsilon)} Re_0; \quad (22)$$

$\Phi = 0,8$ – фактор формы частиц песка;

$$Re_0 = \frac{u_0 d_q}{\nu}; \quad (23)$$

u_0 – скорость фильтрации, м/с;

d_q – диаметр частиц песчаного гравия, м;

$\varepsilon = 0,4$ – порозность при свободной засыпке песка;

г) потери напора в пенополистероловом фильтре:

$$h_{пол.ф} = [H_{пол} (1 - \varepsilon_{пол}) (\rho - \rho_{пол})] / \rho, \quad \text{м} \quad (24)$$

где $\varepsilon = 0,6$ – порозность при свободной засыпке пенополистерола;

$H_{пол}$ – высота свободной засыпки пенополистерола;

$\rho_{пол}$ – плотность пенополистерола;

д) мощность насоса, необходимая для подачи воды от водозабора в напорную башню, Вт (кВт)

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H_1 \cdot Q}{\eta}, \quad (25)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

Q – количество воды в водопроводной сети первого этапа, м³/с, (уравнение 1)

2.4. Гидравлический расчет водопроводной сети второго этапа (от напорной башни до населенного пункта и промышленных объектов)

Потери напора в водопроводе при передаче воды от напорной башни до гидрантов населенных пунктов и промышленных объектов определя-

ются по формуле:

$$H_{II} = h_{TP}, \text{ м вод. ст.}$$
$$h_{m.p} = (1 + \sum \xi_2 + \lambda_2 \cdot \frac{\ell_2}{d}) \cdot \frac{u_2^2}{2g}, \quad (26)$$

где $\sum \xi_2 = \xi_{ex} + n_{зад} \cdot \xi_{зад} + n_{пов} \cdot \xi_{пов} + \xi_{вых}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений; (прил. 1, табл. 4)

$n_{зад}$ – количество вентилях на линии водопровода второго этапа;

$n_{пов}$ – количество плавных поворотов на 120° на линии водопровода второго этапа.

Контрольные вопросы и задания

1. Потери напора по длине трубопровода.
2. Формула Алылтуля для определения коэффициента сопротивления по длине трубопровода.
3. Критерий Рейнольдса.
4. Скорость движение воды в трубопроводе при известном его диаметре.
5. Диаметр трубопровода при известной скорости движения воды.
6. Потери напора на местные сопротивления.
7. Гидравлический расчет водопроводной сети.
8. Потери напора в песчаных фильтрах.
9. Потери напора в пенополистироловых фильтрах.
10. Мощность насоса.

3. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ НАСОСНО-РУКАВНЫЕ СИСТЕМЫ

Практические задачи по подаче воды к месту пожара решаются с учетом совместной работы водопроводной сети, насосов и рукавных систем. При подаче воды для пожаротушения используют как стационарные насосы, устанавливаемые на насосных станциях, так и насосы пожарных автомобилей и мотопомп.

3.1. Классификация насосов и их применение в пожаротушении

Большинство применяемых в технике насосов можно разделить по принципу действия на следующие основные группы:

1) поршневые насосы, принцип действия которых основан на вытеснении жидкости из цилиндра с помощью поршня, совершающего возвратно-поступательное движение;

2) роторные насосы, движение жидкости в которых осуществляется вращением ротора, имеющего вытеснители;

3) струйные насосы, подсос перекачиваемой жидкости в которых осуществляется благодаря разряжению, создаваемому струей рабочей жидкости, газа или пара;

4) центробежные и осевые (лопастные) насосы, работа которых основана на силовом взаимодействии перекачиваемой жидкости с вращающимся рабочим колесом насоса;

При организации пожарного водоснабжения преимущественное распространение получили центробежные насосы. Основными достоинствами центробежных насосов являются простота и компактность конструкции, относительно небольшая масса, удобство их соединения с электродвигателями и двигателями внутреннего сгорания, способность перекачивать сильно загрязненные жидкости, высокая производительность и способность к «саморегулированию». Последнее свойство проявляется в том, что при изменении расхода воды или прекращении ее подачи центробежный насос продолжает работать, не выходя из строя.

Центробежные насосы принято классифицировать по создаваемому напору, числу рабочих колес, способу подвода жидкости в рабочее колесо и отвода ее, расположению вала насоса, коэффициенту быстроходности и другим признакам.

По создаваемому напору различают насосы низкого давления, развивающие напор до 20 м, среднего давления – от 20 до 60 м и высокого давления – свыше 60 м.

По числу рабочих колес насосы делятся на одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые. Жидкость в них проходит через последовательно соединенные колеса, постепенно увеличивая напор до заданного предела. Производительность многоступенчатого насоса равна производительности одного рабочего колеса.

По коэффициенту быстроходности n_s рабочие колеса центробежных насосов подразделяют на три группы: тихоходные $n_s = 40-80$, нормальные $n_s = 80-120$, быстроходные $n_s = 120-200$ об/мин. Коэффициент быстроход-

ности характеризует конструктивные особенности серии подобных насосов и представляет собой частоту вращения эталонного рабочего колеса, которое, будучи геометрически подобно заданному колесу насоса при мощности $N = 0,736$ кВт, напоре $H = 1$ м, обеспечивает подачу $Q = 0,075$ м³/с. Коэффициент быстроходности определяют по формуле:

$$n_s = 3,65 \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{0,75}}, \quad (27)$$

где Q – подача насоса, м³/с;

H – напор, развиваемый насосом, м;

n – частота вращения рабочего колеса в 1 мин.

Из формулы, следует, что при заданной частоте вращения коэффициент быстроходности n_s увеличивается с ростом подачи и с уменьшением напора. Поэтому тихоходные колеса служат для создания больших напоров при малой подаче, а быстроходные дают большую подачу при сравнительно незначительных напорах. Центробежные насосы с тихоходными и нормальными колесами наиболее часто применяют в пожарной технике.

3.2. Основные рабочие параметры насосов

Насосы характеризуются следующими основными параметрами: подачей (расходом) Q , напором H , мощностью N , полным КПД (η) и высотой всасывания $H_{вс}$,

Подачей (расходом) насоса Q называется объем жидкости, перекачиваемый в единицу времени. Подача насоса измеряется в м³/с, (л/с).

$$Q = \frac{V}{T}.$$

Напором насоса H называют разность полных удельных энергий потока у выхода и входа в насос, вычисленную в метрах столба перекачиваемой жидкости, (м вод. ст.).

Для пояснения сущности напора, развиваемого насосом, рассмотрим схему его работы при перекачивании жидкости из одного резервуара в другой (рис. 3).

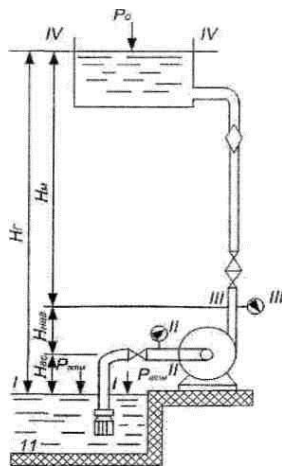


Рис. 3. Схема насосной установки:

1 – напорный резервуар; 2 – расходомер; 3 – задвижки; 4 – обратный клапан; 5 – манометр; 6 – напорный трубопровод; 7 – насос; 8 – вакуумметр; 9 – всасывающий трубопровод; 10 – всасывающая сетка; 11 – водоем

Мощность насоса представляет собой работу, совершаемую насосом в единицу времени, Вт. Мощность определяют следующим образом:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta}, \text{ Вт (кВт)}. \quad (28)$$

Насос перекачивает $\rho g Q$, кг/с жидкости и поднимает ее на высоту, соответствующую напору H . Следовательно, $\rho g H Q$ представляет собой секундную работу или мощность.

Полный КПД насоса η определяют из выражения: $\eta = \eta_G \cdot \eta_M \cdot \eta_0$

где $\eta = \eta_G \cdot \eta_M \cdot \eta_0$ – полный КПД насоса;

$\eta_G = 0,8$ – гидравлический КПД, учитывающий гидравлические потери мощности в результате снижения напора при движении воды в корпусе насоса;

$\eta_M = 0,9$ – механический КПД, учитывающий механические потери мощности на трение в сальниках и подшипниках насоса;

$\eta_0 = 0,9$ – объемный КПД, учитывающий потери мощности в результате циркуляции воды через щелевые зазоры между рабочим колесом и корпусом насоса.

Величина полного КПД центробежных насосов зависит от их конструкции и изменяется в пределах 0,6–0,9.

Высота всасывания и явление кавитации. Необходимо различать вакуумметрическую высоту всасывания $H_{\text{вак}}$, характеризующую степень разряжения, возникающего у входа в насос, и геометрическую высоту всасывания $H_{\text{вс}}$, которое определяет высоту установки оси насоса над уровнем жидкости.

Вакуумметрическая высота всасывания зависит от атмосферного давления, температуры и удельного веса перекачиваемой жидкости, величины потерь напора во всасывающей линии насоса, конструктивных особенностей и др. Обычно допускаемая $H_{\text{вак}}$ указана в каталогах насосов.

Связь между вакуумметрической и геометрической высотами всасывания может быть установлена из уравнения Бернулли, составленного для сечений I-I и II-II относительно плоскости сечения I-I (рис. 3).

Считая, что давление по поверхности жидкости равно атмосферному, а скорость течения в водоеме равна 0, получим:

$$\frac{P_{\text{ам}}}{\gamma} = H_{\text{вс}} + \frac{P_{\text{вс}}}{\gamma} + \frac{u_{\text{вс}}^2}{2g} + h_{\text{вс}}, \quad (29)$$

так как $\rho_{\text{ам}} - \rho_{\text{вс}} = \rho_{\text{вак}}$ и $\frac{P_{\text{вак}}}{\gamma} = H_{\text{вак}}$, формулу (29) можно записать следующим образом:

$$H_{\text{вак}} = \frac{(\rho_{\text{ам}} - \rho_{\text{вс}})}{\gamma} - \frac{u_{\text{вс}}^2}{2g} - h_{\text{вс}};$$

$$H_{\text{вс}} = H_{\text{вк}} - \frac{u_{\text{вс}}^2}{2g} - h_{\text{вс}} . \quad (30)$$

Из формулы (30) следует, что геометрическая высота всасывания меньше вакуум-метрической на величину скоростного напора и потерь напора во всасывающем трубопроводе. С увеличением подачи насоса max. допустимая высота всасывания уменьшается. Определяя высоту всасывания, необходимо иметь в виду, что при понижении давления $p_{\text{вс}}$ во всасывающем трубопроводе может происходить парообразование, и нормальная работа насоса будет нарушена. Поэтому min. давление в насосе должно быть выше давления парообразования жидкости, причем давление паров воды сильно увеличивается с повышением ее температуры.

Температура,	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Давление пара,	0,12	0,21	0,42	0,75	1,25	2	3,17	4,8	7,1	10,33

Чем выше температура воды, тем меньше высота всасывания, и практически при $t > 70^\circ\text{C}$ забор воды становится невозможен. Обычно геометрическая высота всасывания для центробежных насосов составляет не более 5–7 м и лишь для некоторых типов насосов она доходит до 7,5–8 м.

Кавитация в насосе возникает из-за чрезмерного падения давления во всасывающей части насоса. Понижение давления происходит по ряду причин, основными из которых являются:

- чрезмерная высота всасывания;
- высокая t перекачиваемой жидкости;
- низкое атмосферное давление.

Явление кавитации заключается в том, что выделяющиеся из жидкости пузырьки пара увлекаются потоком и, попадая в область повышенного давления, мгновенно конденсируются, в результате чего происходит местное повышение давления. Кавитация сопровождается характерным шумом и треском, понижением напора и КПД насоса, иногда наблюдается вибрация насоса. Особенно быстро при этом разрушается чугун, более стойкими металлами являются бронза и нержавеющая сталь. Поэтому кавитация при работе насосов недопустима, а высота всасывания должна быть такой, при которой возникновение кавитации невозможно.

3.3. Характеристики центробежных насосов

Изготовленные на заводе насосы подвергают стендовым испытаниям, в задачу которых входит определение зависимости напора потребляемой мощности и КПД насоса от его производительности. Графически выраженные зависимости $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$ при постоянной частоте вращения $n = \text{const}$ называются рабочими характеристиками насоса (рис. 4).

Характеристики строят следующим образом. Регулируя степень открытия задвижки на напорном патрубке, получают различную подачу и

соответствующие напоры для данного насоса при неизменной частоте вращения. Во время испытания насоса при каждом установленном расходе измеряют мощность на валу насоса N и подсчитывают значение КПД. Соединив соответствующие точки на графике плавными линиями, получают кривые $Q - H, Q - N, Q - \eta$.

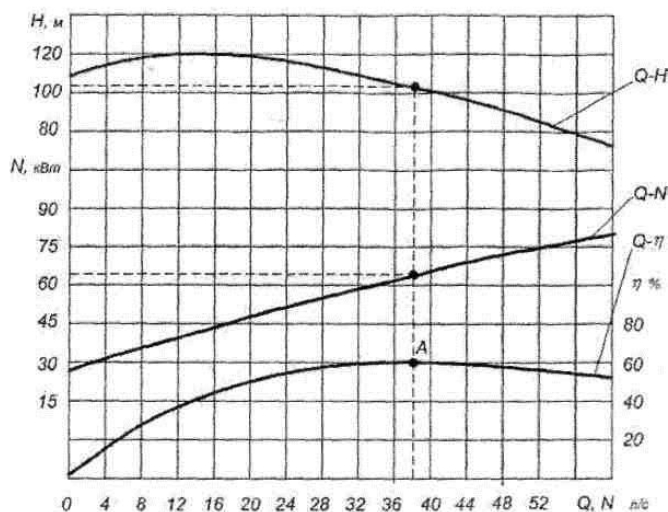


Рис. 4. Рабочая характеристика насоса

Точка A характеристики насоса $Q - \eta$, отвечающая максимальному значению КПД, называется оптимальной точкой, так как она соответствует оптимальному режиму работы насоса.

Характеристика $Q - H$ называется главной рабочей характеристикой насоса.

Формы характеристики $Q - H$ центробежных насосов могут быть чрезвычайно разнообразными. Наиболее характерными являются пологие, крутопадающие, возрастающие (имеющие \max). Тип характеристики зависит от коэффициента быстроходности, числа лопастей, конструктивных особенностей различных деталей насоса.

Выбор типа насоса для конкретных условий производят с учетом формы рабочей характеристики.

Пологой характеристикой обладают насосы с коэффициентом быстроходности $n_s - 80-200$. Их особенностью является сравнительно небольшое изменение напора при значительном колебании расхода. Насосы с пологими характеристиками применяют при регулировании подачи задвижками. Поэтому пожарные насосы, установленные на автомобилях, мотопомпах, судах и т. п., подача которых по условиям работы изменяется в больших пределах, должны иметь пологую характеристику.

Круто падающие характеристики имеют насосы с высоким значением коэффициента быстроходности ($n_s > 200$). Применение таких насосов выгодно, когда необходимы малые колебания расхода при значительном изменении напора, например, на насосных станциях первого подъема при колебании уровня воды в источнике.

Возрастающие характеристики имеют неустойчивый восходящий участок АВ с низким КПД. В этой части кривой возможно образование неустойчивого режима, так как одному значению напора соответствует два значения подачи. Работа пожарных насосов с возрастающей характеристикой допускается только с расходами, превышающими расход Q_6 . Эти характеристики присущи тихоходным, центробежным насосам.

Для выбора рабочего режима насоса пользуются универсальными характеристиками, представляющими собой кривые зависимости напора, мощности и КПД от подачи насоса для различных частот вращения.

При расчете насосно-рукавных систем удобно использовать аналитическое выражение главных рабочих характеристик. Если кривую $Q - H$ считать параболой (что вполне приемлемо для практических расчетов), то ее можно выразить уравнением:

$$H = a - b \cdot Q^2 \quad (31)$$

Характеристики насосов, установленных на пожарных автомобилях и мотопомпах, приведены в табл. 11 (прил. 1).

3.4. Работа насоса на сеть

Необходимо, чтобы насос по своей характеристике соответствовал характеристике трубопровода, при этом max. отклонение КПД работающего насоса не должно превышать 5–7 % оптимального значения.

Для определения требуемого напора насоса с учетом сопротивлений во всасывающем и напорном трубопроводах используется следующая формула:

$$H = H_{\Gamma} + h_{вс} + h_{н} + H_{св}, \quad (32)$$

где H_{Γ} – геометрическая высота подъема жидкости, м;

$h_{вс}$ и $h_{н}$ – потери напора (напора) при движении жидкости во всасывающей и нагнетательной линии трубопровода, м.

Из гидравлики известно, что потери напора в трубах могут быть выражены следующим образом:

$$h = h_{вс} + h_{н} = s \cdot Q^2, \text{ м}, \quad (33)$$

где s – сопротивление трубопровода.

Следовательно, полный напор насоса может быть представлен как:

$$H = H_{\Gamma} + H_{св} + s \cdot Q^2, \text{ м}. \quad (34)$$

Так как для заданных условий H_{Γ} и $H_{св}$ известны, то формула может быть записана как:

$$H = z + s \cdot Q^2. \quad (35)$$

Выражение является характеристикой насосной установки. Если характеристику трубопровода $H = z + s \cdot Q^2$ предоставить на одном графике с рабочей характеристикой насоса $H = a - b \cdot Q^2$, то точка пересечения характеристик будет рабочей точкой насоса. Если рабочая точка отвечает оптимальному режиму работы насоса, то он подобран правильно.

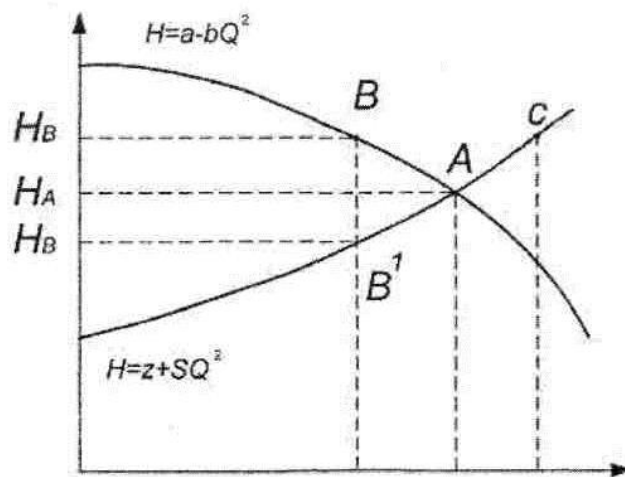


Рис. 5. Определение рабочей точки насоса

Если пропускная способность трубопровода Q_B меньше подачи насоса Q_a , то энергия двигателя заканчивается на создании излишнего напора $\Delta H = H_B - H_B$, который вхолостую гасится задвижками. Если пропускная способность трубопровода Q_C больше подачи насоса Q_a , то подача жидкости в трубопровод в необходимом количестве невозможна. В этом случае для получения рабочей точки С необходимо или применить насос с другой характеристикой, или увеличить число оборотов насоса, или уменьшить потери напора в сети.

3.5. Упрощенные формулы для определения потерь напора в трубах

Условия движения воды в трубах при пропуске пожарных расходов в большинстве случаев соответствуют сопротивлениям, при которых коэффициент гидравлического трения не зависит от числа Рейнольдса и является величиной постоянной. В том случае при пользовании формулой Дарси-Вейсбаха можно заранее подсчитать значение X .

Так, если в формуле (11) выразить среднюю скорость через расход Q

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{Q^2}{F^2 2g} \quad (36)$$

а ввести обозначение:

$$A = \frac{\lambda}{dF^2 2g}, \quad (37)$$

получим

$$h_l = A \cdot l \cdot Q^2. \quad (38)$$

Следовательно, величина A характеризует потери напора на единицу длины трубы или пожарного рукава при расходе Q , поэтому ее называют удельным сопротивлением. Произведение $A \cdot l$ – называется сопротивлением и обозначается как s . Тогда формула (38) принимает вид

$$h_l = s \cdot Q^2. \quad (39)$$

В табл. 15 (прил. 1) значение A для стальных и чугунных труб при сопротивлениях с постоянным значением λ , которые по данным Ф.А.

Шевелева в водопроводных трубах наблюдаются при $u \geq 1,2$ м/с.

3.6. Расчет рукавных систем

Вода к месту пожара подается по рукавным системам от передвижных пожарных насосов.

На практике пожаротушения используются различные виды насосно-рукавных систем, выбор которых зависит от характеристики водопровода (водоподачи, удаленность гидранта от очага пожара).

Когда источник приема воды находится на большом расстоянии, прокладывают линию из последовательно соединенных рукавов.

Если имеются несколько очагов пожара, а водопровод один, то используют параллельные разветвления.

Гидравлические расчеты рукавных систем сводятся к решению трех основных задач:

1) определение напора у насоса, если заданы расчетный расход воды, напор перед пожарным стволом, вид рукавной системы, а также длина и диаметр рукавов;

2) определение расхода воды из стволов при заданных напоре у насоса и системе подачи;

3) определение предельной длины рукавной системы по расчетному расходу воды и напору у насоса.

Определение напора насоса

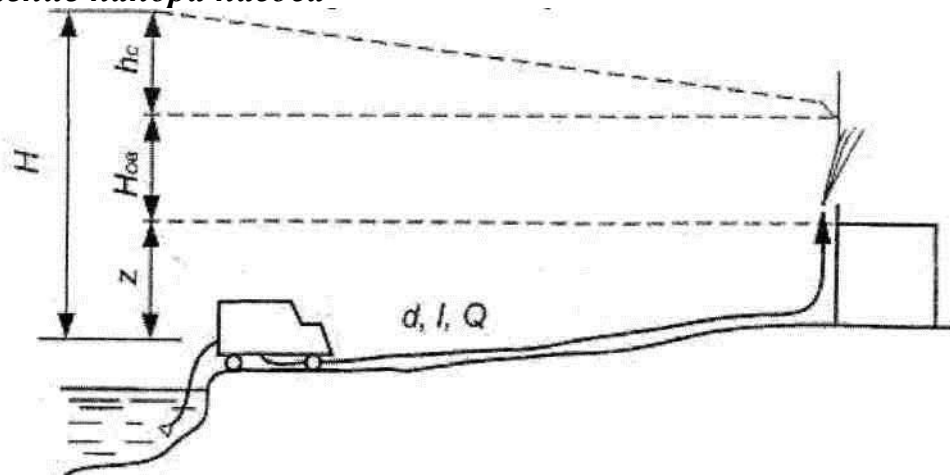


Рис. 6. Схема подачи воды автонасосами

В практических расчетах насосно-рукавных систем, обычно определяют напор, фиксируемый манометром, который устанавливают на напорном патрубке насоса. Величина этого напора зависит от преодоления сопротивлений в рукавной системе h_p , подъема жидкости на высоту H_r (высота здания) и создания свободного напора у ствола $H_{св}$ для подачи струи, т. е.,

$$H_p = h_p + H_r + H_{св}, \text{ м.} \quad (40)$$

Свободный напор у ствола определяют по формуле:

$$H_{св} = s \cdot Q^2, \text{ м.} \quad (41)$$

Величина потерь напора в рукавных линиях зависит от схемы их прокладки:

а) определение потерь напора при последовательном соединении рукавов (рис. 7)

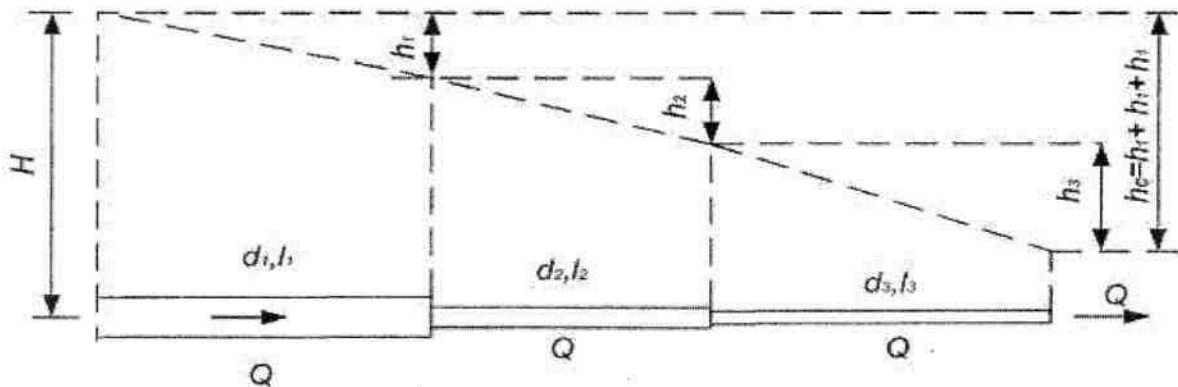


Рис. 7. Последовательное соединение рукавной системы

Потери напора по отдельным участкам:

$$h_1 = A_1 \cdot l_1 \cdot Q^2 = s_1 \cdot Q^2; \quad (42)$$

$$h_2 = A_2 \cdot l_2 \cdot Q^2 = s_2 \cdot Q^2; \quad (43)$$

$$h_3 = A_3 \cdot l_3 \cdot Q^2 = s_3 \cdot Q^2; \quad (44)$$

$$h_n = A_n \cdot l_n \cdot Q^2 = s_n \cdot Q^2.$$

Потери напора по всей системе составляют сумму потерь напора по отдельным участкам:

$$h_c = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = (s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n) \cdot Q^2,$$

где $s_c = (s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n)$ – сопротивление всей системы последовательного соединения трубопроводов.

Отсюда $h_c = s_c \cdot Q^2$ (45) – потери напора в пожарных рукавах при последовательном соединении;

б) определение потерь напора при параллельном соединении рукавов (рис. 8).

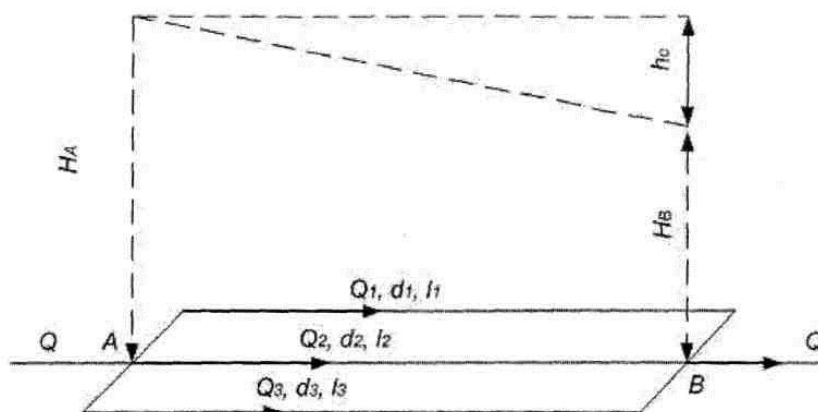


Рис. 8. Параллельное соединение рукавной системы

Общее количество воды, протекающее через систему, равно сумме расходов отдельных ответвлений: $Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$, а потери напора в каждом ответвлении:

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n = H_A - H_B = h_c. \quad (46)$$

Для каждого из параллельных участков:

$$h_1 = s_1 \cdot Q_1^2; \quad h_2 = s_2 \cdot Q_2^2; \quad h_3 = s_3 \cdot Q_3^2; \quad h_n = s_n \cdot Q_n^2,$$

откуда с учетом уравнения (46) найдем:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{h_c}{s_1}}; \quad Q_2 = \sqrt{\frac{h_c}{s_2}}; \quad Q_3 = \sqrt{\frac{h_c}{s_3}}; \quad Q_n = \sqrt{\frac{h_c}{s_n}}.$$

Расход всей системы:

$$Q = (1/\sqrt{s_1} + 1/\sqrt{s_2} + 1/\sqrt{s_3}) \times \sqrt{h_c}.$$

Отсюда потери напора в системе:

$$h_c = \frac{1}{(1/\sqrt{s_1} + 1/\sqrt{s_2} + 1/\sqrt{s_3})^2} \cdot Q^2 = s_c \cdot Q^2. \quad (47)$$

При параллельном соединении n равноценных участков ($s_1 = s_2 = s_3 = \dots = s_n$), общее сопротивление системы будет в n раз меньше сопротивления одного участка:

$$s_c = \frac{s_1}{n^2},$$

где s_1 – сопротивление одного участка;

в) при смешанном соединении пожарных рукавов (рис. 9).

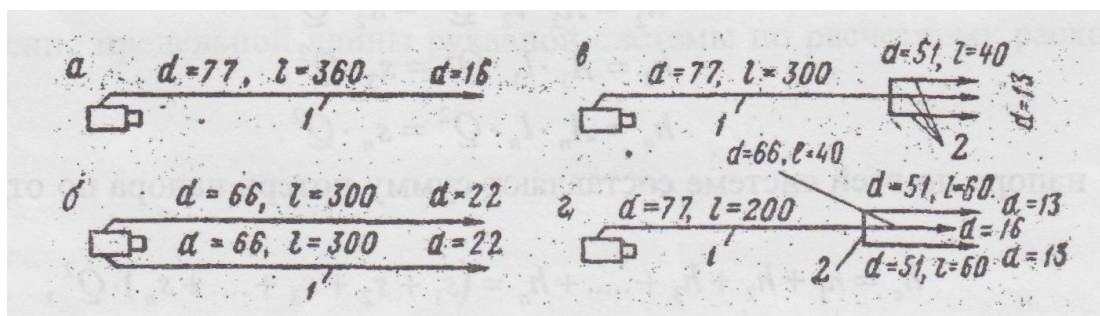


Рис. 9. Схемы насосно-рукавных систем: а – последовательное соединение; б – параллельное соединение; в – смешанное соединение с равноценными рабочими линиями; г – смешанное соединение с различными рабочими линиями

Сопротивление отдельной рабочей линии с присоединенным стволом определяют по формуле:

$$s_p = n \cdot s + s_{CT},$$

где n – количество рукавов в рабочей линии;

s – сопротивление одного рукава;

s_{cm} – сопротивление ствола. Сопротивление всей смешанной системы, которую можно рассматривать как последовательное соединение магистральной линии и параллельных рабочих линий, равно сумме сопротивлений, составляющих участок:

$$s_c = n_M + s_{общ.p}$$

Сопротивление магистральной линии S_M , составленной из одинаковых рукавов, будет равно:

$$s_M = n_M \cdot s$$

Общее сопротивление рабочих линий определяют по правилам параллельных соединений:

$$s_{общ.p} = \frac{1}{\left(1/\sqrt{n_1 \cdot s_1 + s_{1CT}} + 1/\sqrt{n_2 \cdot s_2 + s_{2CT}} + 1/\sqrt{n_3 \cdot s_3 + s_{3CT}}\right)^2} \cdot \blacksquare$$

Напор у насоса для смешанного соединения определяют по формуле:

$$H = s_c \cdot Q^2 + z, \quad (48)$$

в которой потери напора в линиях и свободный напор учтены произведением $s_c \cdot Q^2$.

Таким образом, при определении требуемого напора у насоса необходимо в первую очередь вычислить сопротивление системы подачи воды к месту пожара;

д) определение расхода воды по рабочему напору.

Эта задача может быть решена графически и аналитически.

При графическом решении задачи строят график характеристик насоса и рукавной системы, точка пересечения которых указывает на предельные возможности насоса при данных условиях.

При аналитическом – совместно решают уравнения (31) и (40), характеризующие насос и рукавную систему $H_{насоса} = H_{рукава}$

$$a - b \cdot Q^2 = s_c \cdot Q^2 + z,$$

отсюда $H_{св} = s_{св} \cdot Q^2$

$$Q = \sqrt{(a - z)/(s_c + s_{св} + b)}. \quad (49)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Классификация насосов и их применение в пожарном деле.
2. Коэффициент быстроходности.
3. Основные рабочие параметры насосов.
4. Высота всасывания и явление кавитации.
5. Рабочая характеристика насоса.
6. Работа насоса на сеть.
7. Аналитический метод определения расхода воды по рабочему напору ($H_{нас} = H_p$).
8. Определение потерь напора при последовательном соединении пожарных рукавов.
9. Определение потерь напора при параллельном соединении пожарных рукавов.
10. Определение потерь напора при смешанном соединении пожарных рукавов.

4. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ

Насадкой, или стволом, называется присоединенная к отверстию в стенке трубка, длина которой составляет 3–4 диаметра отверстия. Различают следующие основные типы насадок:

- 1) цилиндрические (внешние – а и внутренние – б);
- 2) конические (сходящиеся – в и расходящиеся – г);
- 3) коноидальные с закругленными очертаниями по форме сжатия струи – д. Большое влияние на скорость истечения и расход жидкости из насадок оказывает форма продольного профиля насадки. Например, устройство плавного закругления на входе может полностью устранить внутреннее сжатие струи и вызвать увеличение скорости и расхода.

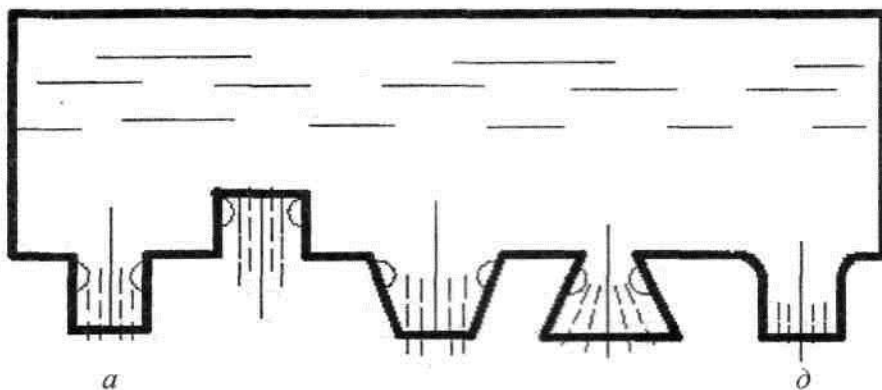


Рис. 10. Типы насадок: а, б – цилиндрические внешний и внутренний; в – конический сходящийся; г – конический расходящийся; д – коноидальный

За принцип истечения жидкости из пожарных стволов взято истечение жидкости из внешней цилиндрической насадки.

Внешние цилиндрические насадки. Струя жидкости при входе в насадку сжимается, после чего вновь расширяется и заполняет все сечение насадки. В промежутке между сжатым сечением и стенками насадки образуется вихревая зона. Так как струя выходит из насадки полным сечением, то коэффициент сжатия $\varepsilon = 1$, а коэффициенты расхода $\mu = \varepsilon$, $\varphi = \varepsilon$, т. е. для цилиндрической насадки коэффициенты расхода и скорости имеют одинаковую величину.

Составляя уравнение Бернулли для сечений I-I и II - II, взятых на свободной поверхности жидкости в сосуде и в месте выхода струи из насадки, и рассуждая точно также, как и в случае истечения жидкости из отверстия в тонкой стенке, получим следующие расчетные формулы:

- 1) для скорости истечения из насадки

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad , \quad (50)$$

где φ – коэффициент скорости,

$$\varphi = 1 / \sqrt{1 + \xi} ;$$

ξ – коэффициент сопротивления.

- 2) для расхода при истечении из насадки (прил. 1, табл. 6)

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где μ – коэффициент расхода;

F – живое сечение насадки.

Напор перед насадкой из этой формулы определится как

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2 F^2 g}. \quad (51)$$

Формулу для расхода из насадка вида можно преобразовать как

$$Q = \mu F \sqrt{2gH},$$

где $\rho = \mu F \sqrt{2g}$ называется проводимостью насадки.

Соответствующее выражение для напора:

$$H = s \cdot Q^2,$$

где $s = \frac{1}{\mu^2 F^2 2g}$ называется сопротивлением насадки.

Значения проводимостей ρ и сопротивлений s для насадок различного диаметра при $\mu = 1$ следующие:

$d, \text{ мм}$	13	16	19	22	25	28	32	38
$\rho, \text{ для } H, \text{ м}$	0,588	0,891	1,26	1,68	2,17	2,73	3,56	5,02
$s \text{ для } Q,$	2,89	1,26	0,634	0,353	0,212	0,134	0,079	0,04

4.1. Пожарные струи

Для получения дальнобойных струй, обладающих достаточно большой ударной силой, в пожарной технике используют ручные и лафетные стволы с насадками 13, 16, 19, 22, 25 мм, лафетные стволы имеют насадки 28, 32, 38, 50 и 65 мм.

В насадке происходит преобразование потенциальной энергии давления в энергию движения. Для придания струе большой скорости диаметр выходного сечения насадки должен быть меньше диаметра подводящего трубопровода.

Типичная форма насадок, дающих удовлетворительное качество струй, показана на рис. 11. Коническая часть насадки с углом конусности от 8 до 15° переходит в цилиндрическую, длина которой для ручных стволов составляет около одного диаметра, а для лафетных стволов $\frac{2}{3} - \frac{3}{4}$ диаметра выходного сечения насадки. На конце цилиндрической части насадки обычно делается кольцевая выточка для защиты выходной кромки от повреждений, ухудшающих качество получаемых струй. Коническая часть насадки позволяет снизить потери напора при переходе к пьезометрическому напору скоростной, а цилиндрическая часть служит для уменьшения образующегося сжатия сечения струи при выходе ее из насадки. На качество струи большое влияние также оказывают условия подхода воды к насадке. Вода должна подходить прямолинейными струями; наличие вра-

щения потока вокруг своей оси сильно снижает качество струи, так как возникающие центробежные силы способствуют ее раздроблению. Вращение потока возможно при прохождении воды в изгибах труб вследствие разности давления на противоположных стенках трубы. В этих случаях устраивают специальные успокоители (выпрямители), разбивающие общее сечение потока на несколько сечений меньших площадей, что способствует восстановлению нормального распределения скоростей в потоке (рис. 12).

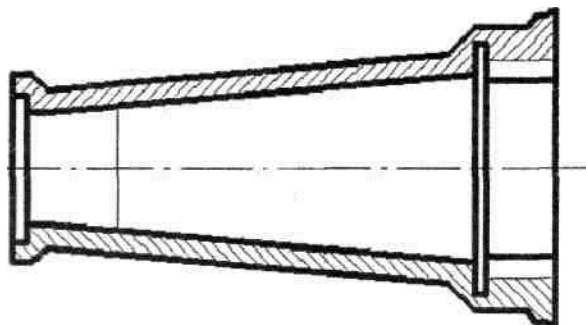


Рис. 11. Типичная форма насадок пожарных стволов для получения сплошных струй

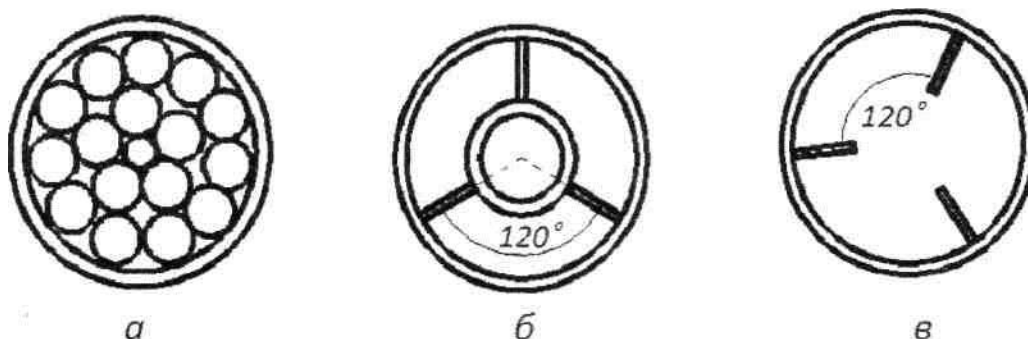


Рис. 12. Сечение успокоителей: а – трубчатая форма; б – комбинированная трубчатая радиальная форма; в – радиальная форма

Успокоитель устраивают таким образом, чтобы все его секции были одинаковой площади и имели такую длину, при которой бы поток сформировался и стал прямолинейным, что соответствует 10–15 диаметрам секции. Концы выпрямителей должны быть тщательно заострены, а поверхность по возможности гладкой. Поток на выходе из выпрямителя перед насадкой должен быть «обжат» на величину площади поперечного сечения стенок выпрямителя, что исключает появление дополнительных завихрений и разрывов в потоке от внезапного расширения. Обжатый поток подается в насадку, где струя окончательно формируется.

Струей называется поток жидкости, не ограниченный стенками, который движется в массе такой же или другой жидкости. Водяные струи могут быть разделены на сплошные, получаемые от ручных и лафетных стволов, и распыленные, образуемые от специальных насадок-распылителей.

4.2. Сплошные водяные струи

Сплошные водяные струи отличаются своей компактностью, большой дальностью полета и сильным динамическим воздействием. Такие струи наиболее часто используют при тушении пожаров, на торфоразработках, в системах орошения и т. д.

Следует отметить что сплошные струи в действительности отвечают своему определению при напоре 2–3 м. При больших напорах, обычно применяемых для пожаротушения в струе можно выделить две её части, а именно: сплошную, или компактную, и раздробленную. В компактной части сохраняется сплошность потока, струя имеет цилиндрическую или близкую к ней форму; в раздробленной части струи сплошность потока нарушается, струя разрывается на все более мелкие части и расширяется (рис. 13).

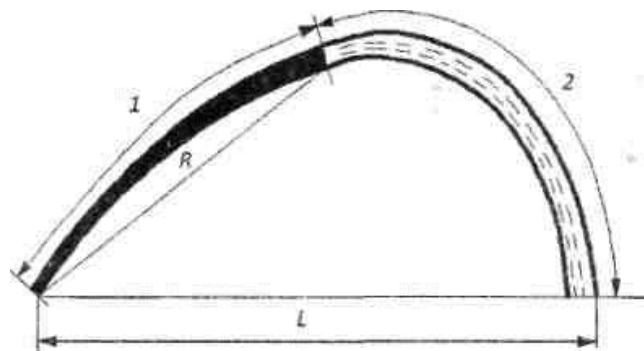


Рис. 13. Сплошная водяная струя: 1 – компактная часть струи; 2 – раздробленная часть струи; l – дальность струи; R – радиус действия компактной струи

Понятие компактной струи является относительным, поскольку резкой грани между нею и раздробленной частью струи не существует.

Понятие компактной части струи позволят оценить качество струй водяных стволов, так как большая длина компактной части струи и, следовательно, большая длина всей струи имеют место при наиболее совершенных с гидравлической точки зрения стволе и насадке.

Разрушение струи происходит под влиянием действующих на ней сил тяжести, сопротивление воздуха и внутренних сил, вызываемых турбулентностью потока и колебательно-волновым характером движения жидкости в струе.

Уравнение траектории сплошной струи выводят из предположения, что все ее частицы движутся подобно твердому телу, брошенному под углом к горизонту (рис. 14).

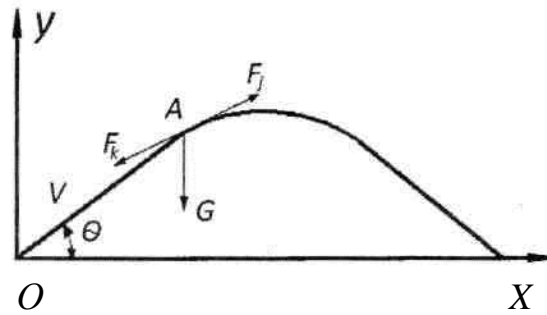


Рис. 14. Расчет теоретической траектории сплошной струи

В этом случае уравнение траектории струи, на которую действуют силы инерции F_i , тяжести G и сопротивления воздуха F_k в параметрической форме может быть представлено в виде:

$$x = ut \cos \theta - k \frac{x}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} ; \quad (56)$$

$$y = ut \sin \theta - k \frac{y}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} - \frac{gt}{2}, \quad (57)$$

где x и y – координаты частицы струи в произвольно выбранной точке;

u – начальная скорость движения струи при выходе из насадки;

θ – угол наклона ствола к горизонту;

t – время;

d – диаметр струи;

k – коэффициент сопротивления трению в воздухе.

Исключим время, для чего из уравнения (56) найдем значение

$$t = u \frac{x}{\cos \theta \left(1 + \frac{k}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \right)},$$

и, подставив это значение в уравнение (57), получим

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{x^2 \cdot g}{(2 \cdot u^2 \cdot \cos^2 \theta) \left(1 + \frac{k}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \right)}.$$

Заменяя в полученном выражении, где H – напор у насадка, получим уравнение траектории струи, которая по своей форме представляет параболу

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \theta - \frac{x}{(2 \cdot H \cdot \cos^2 \theta) \cdot \left(1 + \frac{k}{d} \cdot H \right)}. \quad (58)$$

Полагая в формуле (58) $y=0$, определим $x=l_T$ – теоретическую дальность полета струи:

$$l_T = \frac{2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} 20}{1 + \frac{k}{d} \cdot H}. \quad (59)$$

Из выражения (59) видно, что максимальная теоретическая дальность полета струи имеет место при угле наклона ствола $\theta=45^0$.

$$l_T = \frac{2 \cdot H}{1 + \frac{k}{d} \cdot H}. \quad (60)$$

В действительности формула (60) дает результат, совпадающий с опытными данными лишь при напорах $H=3,5 - 7$ м. При напоре 10 м наибольшая дальность полета струи будет достигнута при $\theta=30-34^0$. Несовпадение теоретических и практических данных особенно на раздробленном участке объясняется сложной структурой струи, в связи с чем движение ее частиц как отдельных материальных точек является несовершенной моделью. До сих пор не удалось получить аналитически уравнение траектории струи, отвечающей действительности, так как не изучены законы сопротивления, которая возникает при движении струи в воздухе. Поэтому для расчета струи используют эмпирические данные.

4.3. Вертикальные струи

Свободная водяная струя при истечении из вертикально направленного ствола со скоростью U теоретически поднимается на высоту $H = u^2 / 2g$, так как в насадке вся потенциальная энергия переходит в кинетическую (рис. 15).

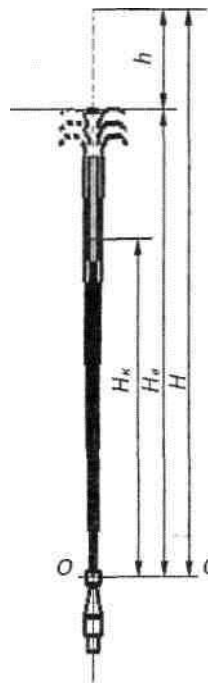


Рис. 15. Вертикальная струя

Однако при движении струи часть энергии расходуется на преодоление сопротивлений вследствие трения струи о воздух, и поэтому струя поднимается на несколько меньшую величину $Hв$. Разность величин $H - Hв = h$ назовем потерей высоты струи. Ее можно определить по формуле:

$$h = k \cdot \frac{H_e}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}, \text{ м.}$$

Аналогичной зависимости для потерь напора по длине трубы при подстановке вместо λ коэффициента сопротивления трению в воздухе k и вместо l высоты струи H_e .

Таким образом, теоретическую высоту вертикальной струи можно установить из равенства: $H = H_B + h = H_B \cdot \left(1 + \frac{k}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}\right)$

или после подстановки $\frac{u^2}{2g} = H$

$$H = H_B \cdot \left(1 + \frac{k}{d} \cdot H\right) \text{ м,} \quad (61)$$

откуда определим высоту вертикальной струи

$$H_B = \frac{H}{1 + \frac{k}{d} \cdot H} \text{ ,м.} \quad (62)$$

Эта зависимость аналогична формуле, предложенной Люгером (1895 г.),

$$H_B = \frac{H}{1 + \varphi \cdot H} \text{ ,} \quad (63)$$

в которой коэффициент φ определяют по эмпирической формуле:

$$\varphi = \frac{0,25}{e + (0,1d)^3} \text{ ,} \quad (64)$$

где d – диаметр выходного сечения насадки, мм.

Значения коэффициента φ для различных диаметров насадки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициента φ для различных диаметров насадки

$d, \text{ мм}$	φ	$d, \text{ мм}$	φ	$d, \text{ мм}$	φ
13	0,0165	22	0,0077	32	0,0039
16	0,0129	25	0,0061	38	0,0028
19	0,0097	28	0,0050	50	0,0014

Фриман для расчета высоты вертикальных струй, получаемых при напорах от 7 до 70 м, предложил формулу

$$H_B = H(1 - 0.000113H/d), \text{ м,} \quad (65)$$

где d – диаметр насадки, м.

Для практических расчетов формулы Люгера (63) и Фримана (64) можно считать равноценными.

Анализируя формулы (63) и (64), можно установить, что увеличение

высоты вертикальной струи связано с увеличением диаметра насадки и напора. Однако по достижении своей максимальной величины величина высоты струи не изменяется, как бы сильно не увеличивался напор. Так, из формулы Люгера находим, что предельная величина H_B , которая получается при неограниченном увеличении H , будет равна:

$$H_B = \lim_{H \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{H} + \varphi} = \frac{1}{\varphi}.$$

Так как величина φ зависит только от диаметра (64), то при больших напорах увеличение высоты струи возможно только при увеличении диаметра насадки.

Исходя из формулы (68) Фримана, приравняем первую производную нулю, получим значение, при котором наблюдается максимальная высота струи:

$$dH/dH = 1 - 0,000226 \cdot H/d = 0; \quad H = d/0,000226.$$

Предельные величины напора H , с превышением которых не наблюдается увеличения высоты струи, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Предельные величины напора H , с превышением которых не наблюдается увеличения высоты струи

$d, \text{ мм}$	$H, \text{ м}$	$d, \text{ мм}$	$H, \text{ м}$	$d, \text{ мм}$	$H, \text{ м}$
13	58	22	97	32	140
16	71	25	110	38	167
19	84	28	123	50	220

Следует отметить, что предельные величины напоров значительно больше номинальных величин H , принятых для работы пожарных стволов.

Иногда при расчетах требуется определить такое значение напора, при котором можно получить струю заданной величины. Из формулы Люгера находим

$$H = \frac{H_B}{1 - \varphi \cdot H_B}, \text{ м.} \quad (66)$$

Величину компактной части струи для насадков диаметром до 28 мм определяют как часть всей вертикальной по формуле:

$$H_k = f \cdot H_B, \text{ м,} \quad (67)$$

где f – коэффициент, значения которого зависят от всей высоты вертикальной сплошной струи. Эти значения, полученные на основе опытных данных, приведены ниже.

$H_B, \text{ м}$	7	10	15	20	25	30	35	40	45
f	0,84	0,84	0,82	0,8	0,77	0,75	0,69	0,65	0,62

4.4. Наклонные струи

В практических условиях пожаротушения применяют струи, имею-

щие различные углы наклона. Если при одном и том же наклоне у насадки постепенно изменяется угол наклона ствола, то конец компактной части струи будет описывать траекторию $авс$, которую принято называть огибающей кривой компактной струи, а наиболее удаленные капли струи - траекторию $а'в'с'$, называемую огибающей кривой раздробленной струи (рис. 16). Расстояния по прямой от насадка до граничных кривых соответственно называют радиусом действия компактной струи R_K и радиусом действия раздробленной струи R_p .

Расчет наклонных струй ведут по отношению к данным, полученным для вертикальных струй. Из рис. 16 видно, что расстояние от насадка до огибающей кривой раздробленной струи возрастает с уменьшением угла наклона R_p к горизонту. Зависимость величины радиуса действия раздробленной струи от высоты вертикальной струи определяют по формуле:

$$R_p = \beta \cdot H_B, \quad (68)$$

где β – коэффициент, зависящий от угла наклона R_p к горизонту. На рис. 16 этот угол обозначен буквой α .

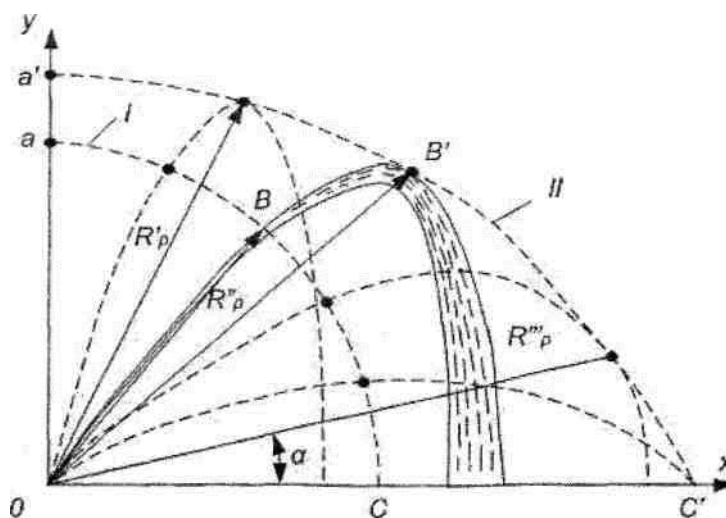


Рис. 16. Траектория сплошной струи:
 I – огибающая кривая компактных струй;
 II – огибающая кривая раздробленных струй

Значения коэффициента β в зависимости от α определены опытным путем.

Угол наклона радиуса действия струи к горизонту α , град	0	15	30	45	60	75	90
β	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,03	1

Не надо смешивать угол наклона радиуса действия струи с углом наклона ствола. Последний для наклона струй всегда больше угла наклона R_p к горизонту. Например, наибольшая дальность полета струи наблюдается при угле наклона ствола 30° , а угол наклона радиуса действия струи при

этом равен нулю.

Огибающая кривая компактной струи для ручных стволов с диаметром насадки не больше 25 мм мало отличается от дуги окружности, описанной радиусом R_k , равным высоте компактной части вертикальной струи:

$$R_k = H_k. \quad (69)$$

Для насадков больших диаметров, например для лафетных стволов, линия abc более вытянута вдоль горизонтальной оси. Фактических данных из-за большой трудности поставки экспериментов для таких насадков немного. В справочных таблицах обычно приведены величины, отражающие зависимость между радиусом действия компактной струи, диаметром насадка, напором и расходом жидкости (табл. 6, 7).

При пожаротушении применяют чаще всего не раздробленную, а компактную часть сплошной струи.

Анализ фактических данных, выполненный ВНИИПО МВД России, позволил установить, что минимальная длина компактных струй, которыми можно тушить наружные пожары с помощью ручных стволов, должна составлять не менее 17 м. Получение таких струй для наиболее распространенных ручных стволов с насадками 13, 16, 19, 22, 25 мм требует создания напора перед насадкой от 25 до 33 м. В настоящее время для характеристики струи за основу берут не длину компактной части, а напор у насадки. Рабочими напорами для ручных стволов следует считать напоры в пределах 30–50 м. Для лафетных стволов с насадками 28 мм и выше обычно рекомендуется напор от 50 до 70 м. Дальнейшее увеличение напора не имеет смысла, так как начиная с 70 м, прирост дальности полета струй и их компактной части заметно уменьшается.

Таблица 6

Диаметр насадки в зависимости от радиуса действия компактной струи

R_k	Диаметры насадок, мм									
	13		16		19		22		25	
	H , м	Q , л/с	H , м	Q , л/с	H , м	Q , л/с	H , м	Q , л/с	H , м	Q , л/с
6	8,1	1,7	7,8	2,5	7,7	3,5	7,6	4,6	7,5	5,6
8	11,2	2	10,7	2,9	10,4	4,1	10,2	5,4	10,1	6,9
10	14,9	2,3	14,1	3,3	13,6	4,6	13,2	6,1	12,9	7,8
12	19,1	2,6	17,7	3,8	16,9	5,2	16,3	6,8	15,9	8,7
14	23,9	2,9	21,8	4,2	20,6	5,7	19,8	7,5	19,2	9,6
16	29,7	3,2	26,5	4,5	24,7	6,2	23,6	8,2	22,7	10,4
17	33,2	3,4	29,2	4,8	27,1	6,5	25,7	8,5	24,7	10,8
18	37,1	3,6	32,2	5,1	29,6	6,8	28	8,9	26,8	11,3
20	46,8	4	39,4	5,6	35,6	7,5	33,2	9,7	31,5	12,2
22	60,9	4,6	48,7	6,2	43,1	8,2	40,6	10,6	37,3	23,3
24	82,2	5,3	61,5	7	52,7	9,1	47,7	11,7	44,3	14,5
26	–	–	80,6	8	66,2	10,2	58,5	12,9	53,5	15,9
28	–	–	–	–	86,2	11,6	75,5	14,5	65,8	17,7
30	–	–	–	–	–	–	95,4	16,5	82,8	19,8

Таблица 7

Диаметр насадки в зависимости от напора и расхода жидкости

Напор у насадка H , м	Диаметры насадок, мм							
	28		32		38		50	
	R_K , м	Q , л/с	R_K , м	Q , л/с	R_K , м	Q , л/с	R_K , м	Q , л/с
30	26	14,9	26,5	19,4	27	27,4	29	47,5
35	28	16,2	28,5	21	29,5	29,7	31	51,5
40	30	17,2	30,5	22,5	32	31,7	33	55
45	31,5	18,3	32,5	23,8	34	33,6	35,5	58,3
50	33	19,3	34	25,1	35,5	35,4	37,5	61,4
55	34,3	22	36	26	37	37,2	39	64,4
60	35,5	21,1	37	27,6	38	38,2	40,5	67,3
65	36,5	22	37,5	28,6	39	40,4	41,5	70
70	37	22,8	37,5	29,7	39,5	41,9	42,5	72,6
75	–	–	–	–	40	43,4	43,5	75,3
80	–	–	–	–	40,5	44,8	44,5	77,8
85	–	–	–	–	–	–	45,5	81
90	–	–	–	–	–	–	46	82,5

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое насадка (пожарные стволы)?
2. Типы насадок.
3. Расход воды через насадки.
4. Потери напора при истечении воды через насадки.
5. Пожарные струи.
6. Теоретическая дальность полета сплошной струи.
7. Теоретическая высота вертикальной струи.
8. Теоретический радиус наклонной струи.
9. Теоретический радиус компактной струи.

5. НАРУЖНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ СЕТИ

В больших городах для промпредприятий вода подается от городской водопроводной сети.

При подаче воды для пожаротушения возможны следующие случаи

1. Если от зданий объекта до гидрантов городской водопроводной сети расстояние не более:

– для водопровода высокого давления

$$l = (120 - z_{зд})/1,2, \text{ м}; \quad (70)$$

– для водопровода низкого давления

$$l_1 = (150 - z_{зд})/1,2, \text{ м}, \quad (71)$$

где 120 и 150 – расчетные длины рукавных линий, м;

$z_{зд}$ – высота здания, м;

1,2 – коэффициент, учитывающий изгиб рукавов.

2. Если от зданий объекта, до гидрантов городской водопроводной сети расстояние более l и l_1 , то на объекте необходимо предусматривать наружную водопроводную сеть с установкой на ней пожарных гидрантов.

Если напор в городской водонапорной сети будет меньше напора, необходимого для пожаротушения, на объекте устанавливают стационарные насосы, повышающие давление в объектовой водонапорной сети. Если в городской водопроводной сети недостаточен расход и напор воды, на объекте предусматривают запасные резервуары (рис. 17), откуда вода стационарными насосами подается в водопроводную сеть объекта.

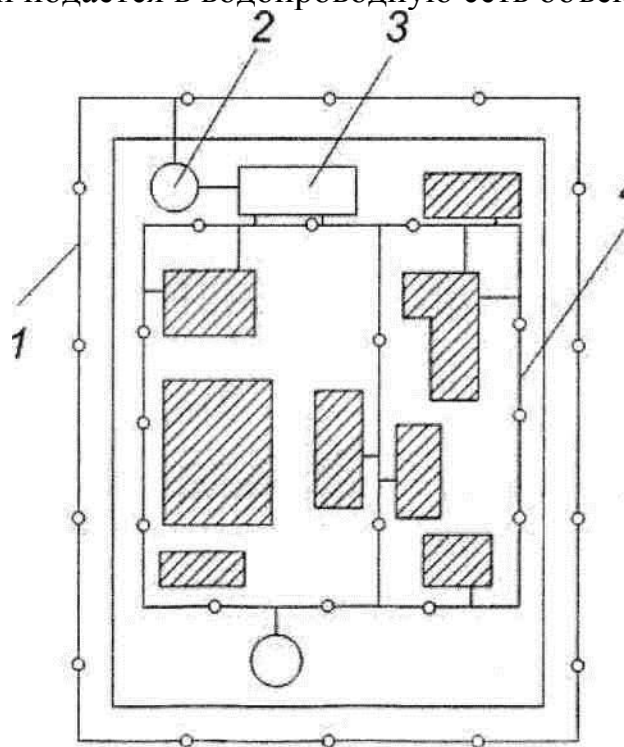


Рис. 17. Подача воды от городского водопровода в наружную водопроводную сеть объекта: 1 – городская водопроводная сеть; 2 – запасной резервуар; 3 – внутренняя насосная станция; 4 – наружная водопроводная сеть объекта; 5 – водонапорная башня

5.1. Нормы напора воды гидранта и пожарного крана для пожаротушения

Напор в наружной водопроводной сети устанавливается с учетом высоты или этажности зданий. При определении необходимого напора в расчет принимаются здания с этажностью, преобладающей в данном районе, и не принимаются единичные высотные здания.

Минимальный свободный напор над поверхностью земли в наружной сети хозяйственно-питьевого водопровода составляет не менее 10 м для одноэтажных зданий, а при большей этажности на каждый этаж необходимо добавлять 4 м. Свободный напор воды у внутренних пожарных кранов должен обеспечивать получение компактных пожарных струй, необходимых для тушения пожара на самой высокой и удаленной части помещения. Минимальный радиус действия компактной части струи в зданиях высотой до 50 м принимается не менее 6 м.

Зная радиус действия компактной части струи по табл. 10, 11, можно определить напор у внутренних пожарных кранов.

Напоры, необходимые для наружного пожаротушения, зависят от принятой системы водопровода – высокого или низкого давления.

В сети **пожарного водопровода низкого давления** свободный напор (на уровне поверхности земли) при пожаротушении должен быть не менее 10 м. Это обусловлено тем, что при обычных расходах воды, забираемых от сети насосами, потери напора во всасывающих рукавах близки к 10 м, вследствие чего при снижении напора в водопроводе нормальная работа насосов может нарушиться.

При расчете наружной водопроводной сети минимальный свободный напор в 10 м должен приниматься у наиболее удаленного или высоко расположенного по рельефу местности гидранта. Необходимый напор в наружной водопроводной сети у расчетного гидранта H_c складывается (рис. 18) из напора на уровне поверхности земли $H_{св}$, потерь напора в гидранте и пожарной колонке $h_{зк}$ (при расчетном пожарном расходе воды) и геометрической высоты подъема воды z (от оси водопроводной трубы до поверхности земли):

$$H_c = H_{св} + h_{зк} + z, \text{ м.} \quad (72)$$

Потери напора в гидранте и пожарной колонке могут быть определены по формуле:

$$h_{зк} = s_{зк} \cdot Q^2 \quad (73)$$

где $s_{зк}$ – сопротивление гидранта и колонки.

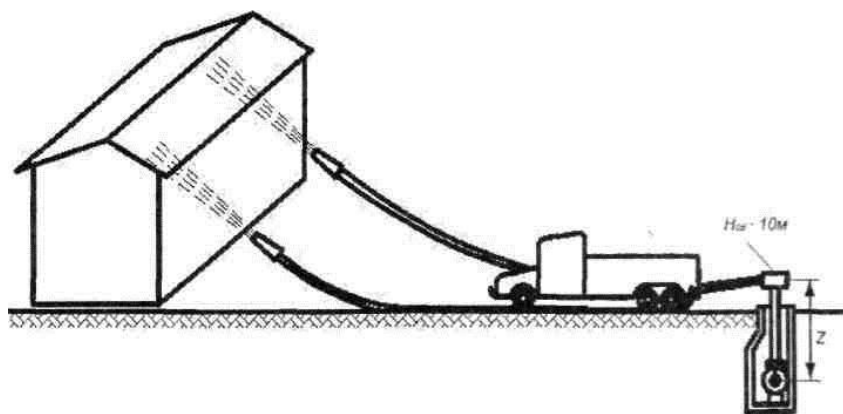


Рис. 18. Подача воды при водопроводе низкого давления

Пропускная способность в гидранте пожарной колонки Q равна 30–40 л/с. Такую же максимальную подачу имеют и пожарные автонасосы, забирающие воду из наружной водопроводной сети.

Тогда:

$$h_{гк} = 0,0051 \cdot 30^2 = 4,59, \text{ м};$$

$$h_{гк} = 0,0051 \cdot 40^2 = 8,16, \text{ м}.$$

Таким образом, при расчете наружных водопроводных сетей у наиболее невыгодно расположенного гидранта необходимо принимать напор не менее

$$H_{св} = 10 + 5 + 2,5 = 17,5 \text{ м}.$$

Только при этом условии свободный напор на поверхности земли (на головке пожарной колонки) будет равен: $H_{св} = 10$ м.

При водопроводе высокого давления тушение пожара производится непосредственно от гидрантов наружной водопроводной сети. В этом случае на гидрант устанавливается пожарная колонка, к которой присоединяются пожарные рукава (рис. 19).

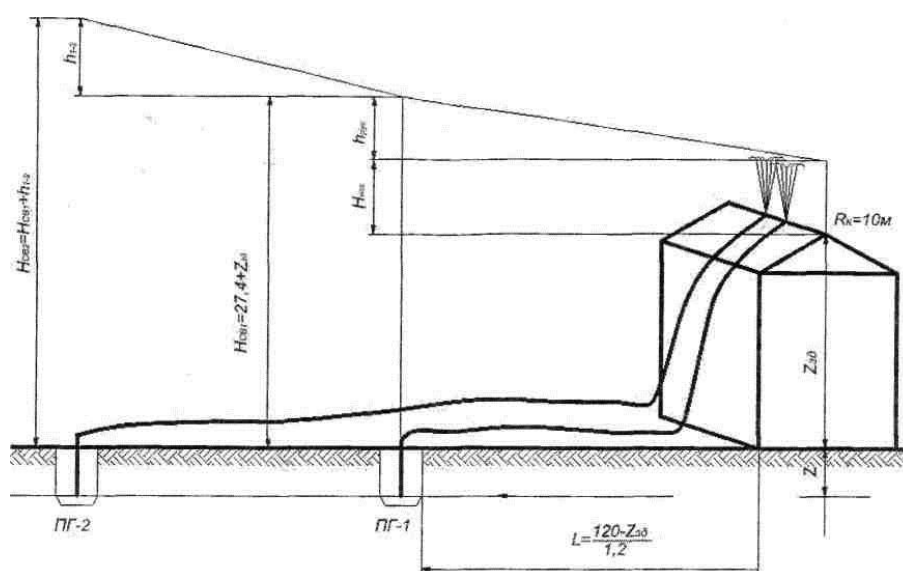


Рис. 19. Подача воды при водопроводе высокого давления

В водопроводе высокого давления напор, необходимый для тушения пожара непосредственного от гидрантов, создается специально установленными на насосной станции стационарными пожарными насосами. Эти насосы должны быть оборудованы устройством, обеспечивающим их пуск не позднее чем через 5 мин после подачи сигнала о возникновении пожара.

Свободный напор сети пожарного водопровода высокого давления, может быть проложен несколькими рукавными линиями. Так как все линии, проложенные от гидранта, будут параллельны друг другу, для определения необходимого свободного напора достаточно рассчитать одну из них. При этом в расчет принимают пожарные рукава непрорезиненные, длиной $L = 120$ м, диаметром $d = 66$ мм, и стволы с насадкой $d = 19$ мм, и расходом воды 5 л/с.

Свободный напор у гидранта (на уровне поверхности земли) в водопроводах высокого давления складывается из напора у насадка $H_{нас}$, потерь напора в рукавной линии $h_{рук.л}$ и геометрической высоты подъема воды на конек крыши здания $z_{зд}$:

$$H_{св} = H_{нас} + h_{рук.л} + z_{зд}, \text{ м.} \quad (74)$$

Необходимый напор у насадка $H_{нас}$ определяют по формуле:

$$H_{св} = s_{нас} + Q_{нас}^2 = 0,634 \cdot 5^2 = 15,85 \text{ м,}$$

где $s_{нас} = 0,634$ – сопротивление насадка диаметром 19 мм (табл. 3, прил.).

Потери напора в рукавной линии определяют по формуле:

$$h_{рук.л} = s_{1рук} \cdot n \cdot Q^2 = 0,077 \cdot 6 \cdot 5^2 = 11,55 \text{ м,}$$

где $n = 6$ – количество рукавов в 120 м линии;

$s_{1рук} = 0,077$ – сопротивление одного непрорезиненного рукава длиной 20 м и диаметром 66 мм.

Таким образом, подставляя в формулу свободного напора $H_{мс} = 15,85$ м и $h_{рук} = 11,55$ м, получим

$$H_{св} = 27,4 + z_{зд} \quad H_{нб} = 27 \text{ А} + z_{мв} \cdot u.$$

Необходимый напор в наружной водопроводной сети перед расчетным гидрантом H_c составляет сумму из свободного напора $H_{св}$, потерь напора в гидранте и пожарной колонке $K.к$ с учетом глубины заложения труб z , которая принимается в среднем равной 2,5 м:

$$H_c = H_{св} + h_{рк} + z, \text{ м.} \quad (75)$$

Потери напора в гидранте и пожарной колонке $p_{гк}$ при расходе 10 л/с (подача воды от колонки по 2 м линиям) принимаются обычно равными 2 м.

Напор в наружной водопроводной сети у расчетного гидранта водопровода высокого давления:

$$H_c = 32 + z_{зд}, \text{ м.}$$

Пропускная способность пожарного гидранта диаметром 125 мм равна 30–40 л/с. В том случае когда требуются большие расходы воды у расчетного здания, устанавливают два-три гидранта, по возможности одинаково удаленные от здания на расстоянии не более $L = (120 - \text{гзд})/1,2$ при водопроводе высокого давления и при водопроводе низкого давления $L = (150 - z_{3а})/1,2$.

5.2. Перекачка воды автонасосами

Когда источники водоснабжения расположены на значительном расстоянии от места пожара и один автонасос не в состоянии развить необходимый напор, используют перекачку воды по рукавным линиям несколькими пожарными насосами, включенными последовательно. Перекачка воды может осуществляться следующими способами: через промежуточный бак; непосредственно из насоса в насос; через бак автоцистерны, используемый в данном случае как промежуточная емкость.

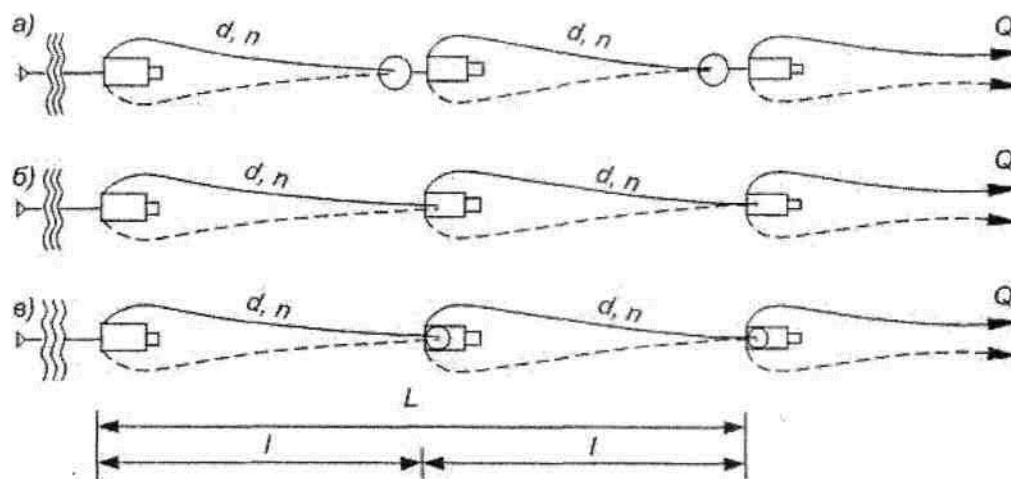


Рис. 20. Способы перекачки воды: а – через промежуточный бак; б – из насоса в насос; в – через бак автоцистерны

Наиболее целесообразен первый способ (рис. 20 а), так как в этом случае облегчается регулировка работы насосов при наблюдении за уровнем воды в промежуточном баке. При втором способе (рис. 20 б) для более надежной работы системы в конце степени перекачки (у всасывающего патрубка последующего насоса) необходимо иметь избыточный напор, равный 10 м. Образование вакуума в данном случае недопустимо, так как это может привести к сплющиванию рукавов, уменьшению и даже полному прекращению подачи воды. При перекачке по третьему способу (рис. 20 в), для увеличения подачи насосов, воду из цистерны забирают через всасывающий рукав, опущенный в ее горловину.

Перекачку осуществляют как по одной линии, так и по двум параллельным линиям. Расчет перекачки не следует производить при максимальной подаче насоса (при полностью открытом дросселе), так как из-за колеблющейся работы насоса, некоторого различия их характеристики (например, в следствие изношенности), колебания в уклоне местности и т. д. в среднем рабочем режиме каждого насоса будет значительно меньше, чем в максимальном.

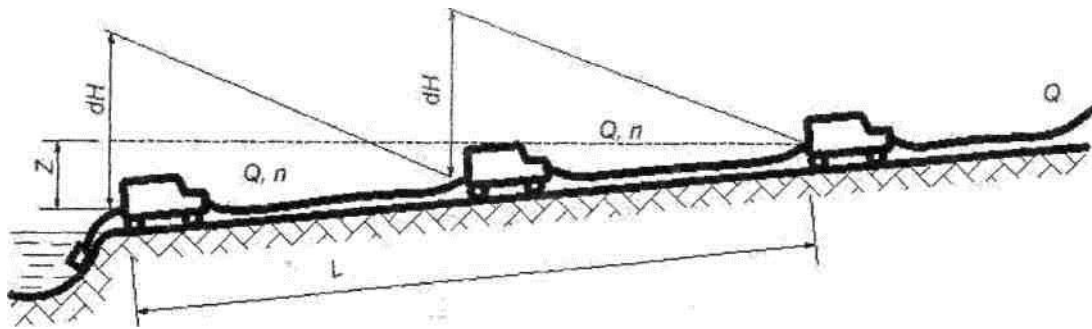


Рис. 21. Расчет числа автонасосов, необходимых для перекачки

Расстояния между смежными насосами (рис. 21) определяется из общего выражения

$$\alpha \cdot H = h,$$

где H – максимальный напор, развиваемый одним насосом;

h – потери напора в рукавных линиях, проложенных между смежными насосами;

α – коэффициент режима работы насоса, характеризующий отклонение расчетного режима от режима при максимальных оборотах ($\alpha = 0,75$).

Так как при перекачке по одной рукавной линии $h = nsQ^2$, то

$$\alpha = (a - bQ^2) = nsQ^2,$$

и число рукавов, прокладываемых между смежными автонасосами,

$$n = \alpha(a - bQ^2) / (sQ^2). \quad (76)$$

При подаче того же расхода Q по двум рукавным линиям потери напора в линиях уменьшаются в 4 раза:

$$\alpha = (a - bQ^2) = (nsQ^2) / 4,$$

поэтому расстояние между насосами увеличивается в 4 раза по сравнению с перекачкой по одной рукавной линии:

$$n = 4\alpha \times \alpha(a - bQ^2) / (sQ^2) \quad (77)$$

где n – число рукавов в одной из параллельных рукавных линий.

При решении задач по перекачке часто требуется определить необходимое число автомобилей, если известно расстояние между водоисточниками и местом пожара L , превышение головного автонасоса над водоисточником Z и задан расход Q .

Суммарный напор, создаваемый всеми насосами перекачки, должен расходоваться на преодоление сопротивления во всей рукавной линии от водоисточника до головного насоса h' и на подъем воды на высоту Z .

Это условие при числе насосов перекачки, равном k , можно представить в виде

$$k\alpha H = h' + Z.$$

Тогда при перекачке по одной рукавной линии

$$k \cdot \alpha \cdot (a - b \cdot Q^2) = n' \cdot s \cdot Q^2 + z$$

число автонасосов (без головного насоса) определится как

$$k = (n' \cdot s \cdot Q^2 + z) / [\alpha \cdot (a - b \cdot Q^2)]. \quad (78)$$

При перекачке по двум параллельным рукавным линиям потери

напора в системе уменьшатся по сравнению с первым случаем в 4 раза:

$$h' = n' \cdot s \cdot Q^2 / 4,$$

поэтому уменьшится и необходимое число автонасосов

$$k = (0,25 \cdot n' \cdot s \cdot Q^2 + z) / [\alpha \cdot (a - b \cdot Q^2)]. \quad (79)$$

где n' – число рукавов в одной рукавной линии между водоисточником и головным насосом.

Суммарное число автонасосов, необходимых для подачи воды к месту пожара с учетом головного автонасоса, будет равно:

$$\sum k = k + l.$$

При расчете перекачки по сильно пересеченной местности с переменным уклоном указанными формулами пользоваться нельзя, так как при расстановке насосов на одинаковом расстоянии друг от друга возможна большая неравномерность в их загрузке. В этом случае места установки насосов определяют при последовательном расчете расстояний между смежными насосами, начиная от водоисточника.

Контрольные вопросы и задания

1. Наружный пожарный водопровод низкого давления.
2. Необходимый напор в наружной водопроводной сети у расчетного гидранта низкого давления.
3. Наружный пожарный водопровод высокого давления.
4. Свободный напор у гидранта в водопроводах высокого давления.
5. Перекачка воды автонасосами.
6. Расчет числа рукавов (автонасосов).
7. Расчет числа автонасосов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Табличные данные по определению различных параметров в зависимости от определенных условий

Таблица 1

Нормы расхода воды на наружное пожаротушение населенных пунктов

Вариант	Число жителей в населенном пункте $N_{ж}$, тыс.чел.	Расчетное число одновременных пожаров, $n_{н.п}$	Расходы воды, л/с, $q_{н.п}$	
			Застройка до двух этажей, независимо от степени огнестойкости	Застройка в три этажа и выше, независимо от степени огнестойкости здания
1	До 5	1	10	
2	10	1	10	
3	25	2	10	
4	50	2		25
5	100	2		35
6	200	3	–	40
7	300	3	–	55
8	400	3	–	70
9	5	1	10	
10	10	1	10	
11	25	2	10	
12	50	2		25
13	100	2		35
14	200	3	–	40
15	300	3	–	55
16	400	3	–	70
17	5	1	10	
18	10	1	10	
19	25	2	10	
20	50	2		25

Таблица 2

Нормы расхода на наружное пожаротушение промышленных предприятий

Вариант	Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расходы воды, л/с, $q_{пр}^{пож}$ на один пожар при объеме здания, V тыс. м ³						
			До 29	30–49	50–99	100–199	200–300	>300	50–100
1,7,13,19	I и II	Г,Д	10	10	10	10	15	20	25
2,8,14,20	I и II	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
3,9,15	III	Г,Д	10	10	15	25	–	–	–
4,10,16	III	В	10	15	20	30	–	–	–
5,11,17	IV и V	Г,Д	10	15	20	30	–	–	–
6,12,18	IV и V	В	15	20	25	–	–	–	–

Таблица 3

Нормы расхода воды на внутреннее пожаротушение зданий

Вариант	Здания	Число струй, n_{cc}	Расход воды на одну струю, q_c , л/с
1	2	3	4
1	Административные здания высотой 6-12 этажей и объемом до 25 000 м ³ включительно	1	2,5
2	Гостиницы и общежития высотой 4 этажа и более, объемом до 25 000 м ³ включительно	1	2,5
3	Больницы и другие лечебно-профилактические учреждения, детские ясли-сады, детские дома, дома ребенка, дома пионеров, спальные помещения школ-интернатов, спальные корпуса пионерских лагерей, магазины, вокзалы, предприятия общественного питания и бытового обслуживания, ломбарды объемом 5000–25 000 м ³ включительно	1	2,5
4	Санатории, пансионаты, дома отдыха, мотели, музеи, библиотеки, здания постоянных выставок, здания конструкторских и проектных организаций объемом 7500–25 000 м ³ включительно	1	2,5
5	Помещения объемом 5000–25 000 м, расположенные под трибунами на стадионах и спортивные залы объемом до 25 000 м ³ включительно	1	2,5
6	Вспомогательные здания промышленных предприятий объемом до 25 000 м ³ включительно	1	2,5
7	Актовые и конференц-залы, оборудованные стационарной киноаппаратурой при вместимости их на 200–700 мест независимо от этажности, объема и назначения здания, в котором размещен актовый или конференц-зал	1	2,5
8	Жилые здания высотой 12–16 этажей включительно	2	2,5
9	Административные здания высотой 6–12 этажей и объемом более 25 000 м ³	2	2,5
10	Общежития, гостиницы, пансионаты, санатории, дома отдыха, мотели, больницы и другие лечебно-профилактические учреждения, детские ясли-сады, детские дома, дома ребенка, дома пионеров, спальные корпуса пионерских лагерей и спальные помещения школ-интернатов, музеи. Библиотеки, здания постоянных выставок, магазины, вокзалы, предприятия общественного питания и бытового обслуживания, ломбарды, здания конструкторских и проектных организаций, учебные заведения объемом более 25 000 м ³	2	2,5
11	Вспомогательные здания промышленных предприятий объемом более 25 000 м ³	2	2,5
12	Помещения общим строительным объемом более 25 000 м ³ , расположенные под трибунами на стадионах, и спортивные залы объемом более 25 000 м ³ . Актовые и конференц-залы при вместимости 700 мест и более	2	2,5

Окончание табл. 3

1	2	3	4
13	Производственные здания, гаражи высотой до 50 м (при хранении 10 и более автомобилей) и здания складов при объеме 5000 м ³ и более при хранении в них сгораемых материалов и несгораемых материалов в сгораемой упаковке	2	2,5
14	Жилые здания высотой 17–25 этажей	3	5
15	Жилые здания высотой более 25 этажей	6	5
16	Административные здания высотой более 50 м и объемом до 50 000 м ³	4	5
17	Административные здания высотой более 50 м и объемом более 50 000 м ³	8	5
18	Гостиницы, пансионаты, санатории и дома отдыха высотой более 50 м	8	5
19	Вспомогательные здания промышленных предприятий высотой более 50 м	8	5
20	Производственные здания высотой более 50 м	8	5

Таблица 4

Коэффициенты местных сопротивлений

Местное сопротивление	Значение коэффициента, ζ									
1	2									
Прямой вход	$\zeta = 0,5$									
Скругленный вход	$\zeta = 0,25$									
Выход в бак	$\zeta = 1$									
Внезапное расширение трубы	$\zeta = (\omega_2 / \omega_1 - 1)^2 = (d_2^2 / d_1^2 - 1)^2$									
	ω_2 / ω_1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6 1,7	1,8	1,9	2
	ζ	0,01	0,01	0,09	0,16	0,25	0,36 0,49	0,64	0,81	1
Внезапное сужение трубы	$\zeta = 0,5(1 - \omega_2 / \omega_1) = 0,5(1 - d_2^2 / d_1^2)$									
	ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	ζ	0,45	0,4	0,25	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
Диафрагма	ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	ζ	245	51,5	18,2	8,3	4	2	0,97	0,42	0,13
Задвижка	h/d	0,125		0,25	0,375	0,5		0,625	0,75	1
	ζ	97,8		17	5,52	2,06		0,81	0,26	0,12
Вентиль (делительная стенка под углом 45°)	d , мм			20	40	80		100		150
	ζ			8	4,9	4		4,1		4,4
Вентиль (делительная стенка вертикальная)	d , мм			20	25	30		40		50
	ζ			10,5	9,3	8,6		7,6		6,9

Окончание табл. 4

1	2										
Обратный клапан	d, мм	40			70	100		200		300	
	ζ	1,3			1,4	1,5		1,9		2,1	
Всасывающий клапан с сеткой	d, мм	40	50	75	100	125	150	200	250	300	400
	ζ	12	10	8	7	6,5	6	5	4,5	4	3
Плавное закругленное колено	d/r	0,4		0,6	0,8	1		1,2	1,4	1,6	
	ζ	0,14		0,16	0,21	0,29		0,44	0,66	0,93	

Таблица 5

Значения абсолютной шероховатости для различных труб

Материал и вид трубы	Состояние трубы	A, мм.	Варианты
Стальные бесшовные	Новые и чистые, тщательно уложенные	0,014	1,8,15
	После нескольких лет эксплуатации	0,02	2,9,16
Стальные сварные	Новые и чистые	0,05	3,10,17
	С незначительной коррозией после очистки	0,15	4,11,18
	Умеренно заржавевшие	0,5	5,12,19
	Старые заржавевшие	1	6,13,20
	Сильно заржавевшие или с большими отложениями	3	7,14

Таблица 6

Значения коэффициентов местного сопротивления насадок

Тип отверстия или насадка	ζ	ε	φ	μ
Круглое отверстие в тонкой стенке	0,06	0,64	0,97	0,62
Внешняя цилиндрическая насадка	0,5	1	0,82	0,82
Внутренняя цилиндрическая насадка	1	1	0,71	0,71
Коническая сходящаяся насадка, $\alpha = 13^\circ 24'$	0,09	0,98	0,96	0,94
Коническая расходящаяся насадка, $\alpha = 5^\circ = 5'$	3,45	1	0,475	0,475
Коноидальная насадка	0,06	1	0,98	0,98

Таблица 7

Значения напоров у внутренних пожарных кранов

Радиус действия компактной части струи. Высота помещения, м.	Диаметр насадка пожарного ствола, мм											
	13			16			19			22		
	Расход воды на пожарную струю, л/с	Напор у пожарного крана в м при рукавах длиной, м		Расход воды на пожарную струю, л/с	Напор у пожарного крана в м при рукавах длиной, м		Расход воды на пожарную струю, л/с	Напор у пожарного крана в м при рукавах длиной, м		Расход воды на пожарную струю, л/с	Напор у пожарного крана в м при рукавах длиной, м	
10		20	10		20	10		20	10		20	
Пожарные краны, $d_v=50$ мм												
6	–	–	–	2,6	9,2	10	3,4	8,8	10,4	–	–	–
8	–	–	–	2,9	12	13	4,1	12,9	14,8	–	–	–
10	–	–	–	3,3	15,1	16,4	4,6	16	18,5	–	–	–
12	2,6	20,2	21	3,7	19,2	21	5,2	20,6	24	–	–	–
14	2,8	23,6	24,5	4,2	24,8	26,3	5,7	24,5	28,5	–	–	–
16	3,2	31,6	32,8	4,6	29,3	31,8	–	–	–	–	–	–
18	3,6	39	40,6	5,1	36	40	–	–	–	–	–	–
20	4	47,7	49,7	5,6	44	48	–	–	–	–	–	–
Пожарные краны, $d_v=65$ мм												
6	–	–	–	2,6	8,8	9	3,4	7,8	8,3	4,5	7,8	8,6
8	–	–	–	2,9	11	11,4	4,1	11,4	12,1	5,4	11,3	12,4
10	–	–	–	3,3	14	14,6	4,6	14,3	15,1	6,1	14,4	15,8
12	2,6	19,8	20,2	3,7	18	18,6	5,2	18,2	19,9	6,8	18	19,8
14	2,8	23	23,3	4,2	23	23,5	5,7	21,8	23	7,4	21,4	23,5
16	3,2	31	31,5	4,6	27,6	28,4	6,3	26,6	28	8,3	27	29,7
18	3,6	38	38,5	5,1	33,8	34,6	7	32,9	34,8	9	31,7	34,8
20	4	46,4	47	5,6	41,2	42,4	7,5	37,2	39,7	9,7	36,7	40,6

Таблица 8

Величины сопротивлений S водопроводной арматуры и приборов

Местное сопротивление	Величина s для расхода Q, л/с						
Гидрант и колонка ленинградского типа	$s_r=0,0036$; $s_k=0,0021$; $s_{r+k}=0,0057$						
Подземный гидрант и колонка московского типа	$s_r=0,0016$; $s_k=0,0035$; $s_{r+k}=0,0051$						
Надземный гидрант и колонка московского типа	$s_{4.k}=0,0063$						
Гидрант пожарный подземный (ГОСТ 8220-62)	Высота гидранта H, м			$H \leq 1,5$		$H > 1,5$	
	s			0,0015		0,002	
Водомеры крыльчатые	d, мм	10	15	20	25	30	40
	s	36	14,4	5,18	2,64	1,3	0,32
Водомеры турбинные	d, мм	50	80	100	150	200	250
	s	0,0265	0,00207	0,000675	0,00013	0,0000453	0,00002

Таблица 9.1

Значения коэффициента ρ для определения радиуса раздробленной струи

Угол наклона струи α	0	15	30	45	60	75	90
Коэффициент β	1,4	1,3	1,2	1,12	1,07	1,03	1

Таблица 9.2

Значения коэффициента φ для различных диаметров насадок

d, мм	φ	d, мм	φ	d, мм	φ
13	0,0165	22	0,0077	32	0,0039
16	0,0129	25	0,0061	38	0,0028
19	0,0097	28	0,0050	50	0,0014

Таблица 10.1

Значения предельных величин Н при различных диаметрах пожарного ствола

d, мм	H, м	d, мм	H, м	d, мм	H, м
13	58	22	97	32	140
16	71	25	110	38	167
19	84	28	123	50	220

Таблица 10.2

Значения коэффициента f

H _в , м	7	10	15	20	25	30	35	40	45
f	0,84	0,84	0,82	0,8	0,77	0,75	0,69	0,65	0,62

Таблица 11

Характеристика насосов, установленных на пожарных автомобилях с мотопомпой

Вариант	Модель мотопомпы автомобиля	Марка насоса	Параметры, характеризующие тип насоса	
			a	b
1/13	М-600А	По марке мотопомп	88	0,24
2/14	МП-800А		86	0,045
3/15	МП-1400, МП-1600		102	0,015
4/16	ПМЗ-17-18	ПН-30	135	0,05
5/17	ПМГ-19ЛМГ-21	ПН-20	125	0,075
6/18	ПМГ-36	ПН-20	125	0,075
7/19	АЦ-20, АЦУ-20	ПН-20К	105	0,01
8/20	АЦ-30, АН-30, АА-30	ПН-30КФ	112	0,01
9	АЦ-30	ПН-30К	116	0,01
10	АЦ-40	ПН-40К	122	0,01
11	ПНС-110	ПН-110	117	0,0014
12	АЦ-40, АА-40	ПН-40У	114	0,01

Таблица 12.1

Физические свойства воды (на линии насыщения)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/кг}\cdot\text{К}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{кг/с}^2$	Pr
0	1000	4,23	65,1	1,79	-0,63	756	13,7
10	1000	4,19	57,5	1,31	0,7	762	9,52
20	998	4,19	59,9	1,01	1,182	727	7,02
30	996	4,18	61,8	0,86	3,21	712	5,42
40	992	4,18	63,4	0,66	3,87	697	4,31
50	988	4,18	64,8	0,556	4,49	677	3,54
60	983	4,18	65,9	0,478	5,11	662	2,98
70	978	4,19	65,8	0,415	5,7	643	2,55
80	971	4,19	67,5	0,365	6,32	626	2,21
90	965	4,19	68	0,326	6,95	607	1,95
100	958	4,23	68,3	0,295	7,5	589	1,75
ПО	951	4,23	68,5	0,268	8	569	1,58
120	943	4,23	68,6	0,244	8,6	549	1,43
130	935	4,27	68,6	0,226	9,2	529	1,32
140	926	4,27	68,5	0,212	9,7	507	1,23
150	917	4,32	68,4	0,202	10,3	487	1,17
160	907	4,36	68,3	0,191	10,8	466	1,1
170	897	4,4	67,9	0,181	11,5	444	1,05
180	887	4,44	67,5	0,173	12,2	424	1,01

Таблица 12.2

Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления

Пересчет в СИ : 1 ат. = $9,81 \cdot 10^4$ Па

Давление (абс.), ат. Р	Температура, $^\circ\text{C}, t$	Плотность, $\text{кг/м}^3, \rho$	Энтальпия жидкости кДж/кг (Г)	Энтальпия пара, кДж/кг (Г)	Теплота образования, кДж/кг
1	2	3	4	5	6
0,2	59,7	0,1283	250,1	2607	2358
0,3	68,7	0,1876	287,9	2620	3336
0,4	75,4	0,2456	315,9	2632	2320
0,5	80,9	0,3027	339	2642	2307
0,6	85,5	0,359	358,2	2650	2296
0,7	89,3	0,4147	375	2657	2286
0,8	93	0,4699	389,7	2662	2278
0,9	96,2	0,5246	403,1	2668	2270
1	99,1	0,579	415,2	2677	2264
1,2	104,2	0,6865	437,1	2686	2249
1,4	108,7	0,7931	456,3	2693	2237
1,6	112,7	0,898	473,1	2703	2227
1,8	116,8	1,003	483,6	2709	2217
2	119,6	1,107	502,4	2710	2208
3	132,9	1,618	558,9	2730	2171
4	142,9	2,12	601,1	2744	2141
1	2	3	4	5	6
5	151,1	2,614	637,7	2754	2117
6	158,1	3,104	667,9	2768	2095

Таблица 13

Значения сопротивлений стандартных (l=20 м) пожарных рукавов

Диаметр рукавов, D, мм	Сопротивление рукавов, S	
	Непрорезиненные	прорезиненные
51	0,24	0,13
66	0,077	0,034
77	0,03	0,015
89		0,00385

Таблица 14

Значения проводимости p и сопротивлений s насадок при их различных диаметрах

Диаметр насадок, d, мм	13	16	19	22	25	28	32	38
P для H, м	0,588	0,891	1,26	1,68	2,17	2,73	3,55	5,02
S для Q, л/с	2,89	1,26	0,634	0,353	0,212	0,134	0,079	0,04

Таблица 15

Величина A, характеризующая потери напора на единицу длины трубы

Варианты	Трубы стальные ГОСТ 10704-63	
	Диаметр, d мм	A (для Q) м ³ /с
	1,11	50
2,12	60	2292
3,13	75	929,4
4,14	80	454,3
5,15	100	172,9
6,16	125	76,36
7,17	150	30,65
8,18	175	20,79
9,19	200	6,959
10,20	250	2,187

Таблица 16

Скорости движения сред при различных условиях

Среды	Способы движения сред	Скорости, u, м/с
Жидкости	Самотеком в языке	0,1–0,5
	маловязкие при перекачивании насосами	0,5–1,0
	во всасывающих трубопроводах	0,8–2,0
	в нагнетательных трубопроводах	1,5–3,0
Газы	При естественной тяге	2–4
	При небольшом давлении (от вентилятора)	4–15
	При большом (от компрессоров)	15–25
Пары	Перегретые	30–50
	Насыщенные при давлении, Па	
	Больше 10^5	15–20
	$(1-0,5)10^5$	20–40
$(5-2)10^4$	40–60	
$(2-0,5)10^4$	60–70	

Примеры расчетов по каждому рассматриваемому разделу дисциплины «Противопожарное водоснабжение»

Пример 1. Расчет количества воды в водопроводной противопожарной системе

Противопожарному водоснабжению уделяется большое внимание при проектировании городов, промышленных предприятий и других объектов народного хозяйства. Требования пожарной охраны входят в комплекс общих задач водоснабжения населенных мест и промышленных объектов. При возникновении пожара водопроводные сооружения и сети должны пропустить одновременно с максимальными хозяйственно-бытовыми и производственными водами и воды на тушение пожара.

Отсюда общее количество воды, необходимое в водопроводной системе состоит из трех составляющих:

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3) K_{зап} = (0,1 + 0,0036 + 0,185) 1,3 = 0,375 \text{ м}^3/\text{с},$$

где Q_1 – количество воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов, м³/с;

Q_2 – количество воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных предприятий, м³/с;

Q_3 – количество воды на пожаротушение, м³/с;

$K_{зап} = 1,3$ – коэффициент запаса.

1. *Пример расчета воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов, Q_1 . (расчет производится по исходным данным варианта 20).*

$$Q_1 = \frac{q_{ж} \cdot N_{ж}}{1000 \cdot 24 \cdot 3600} = \frac{170 \cdot 50000}{1000 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,1 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $q_{ж} = 170$ л/сут – расход воды на одного жителя населенного пункта (табл. 1);

$N_{ж} = 50\,000$ чел. – число жителей населенных пунктов (прил. 1, табл. 1);

1 л – 10^{-3} м³ при нормальных условиях $t = 0^\circ$ и $P = 1$ атм.

2. *Пример расчета воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных предприятий, Q_2 (уравнение 3).*

Он состоит из двух составляющих:

$$Q_2 = Q_{np} + Q_{x/б} = 0,0031 + 0,0005 = 0,0036 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{np} = 3,1 \cdot 10^{-3} = 0,0031 \text{ м}^3/\text{с}; \text{ (табл. 1)}$$

$$Q_{x/б} = \frac{q_{np} \cdot N_{np} \cdot n \cdot k}{1000 \cdot 8 \cdot 3600} = \frac{180 \cdot 29 \cdot 1 \cdot 3}{1000 \cdot 8 \cdot 3600} = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $N_{np} = 180$ чел. – число рабочих на производстве (табл. 1);

$q_{np} = 29$ л/см – расход воды на одного рабочего за смену (табл. 1);

$K = 3$ – коэффициент неравномерности;

8 – восьмичасовая сменная работа.

3. Пример расчета воды на пожаротушение, Q_3 (уравнение 5).

Он состоит из четырех составляющих:

$$Q_3 = Q_{нар} + Q_{вн} + Q_{спр} + Q_{др} = 0,065 + 0,04 + 0,04 + 0,04 = 0,185 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $Q_{нар}$ – расход воды на наружное пожаротушение, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{вн}$ – расход воды на внутреннее пожаротушение, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{спр}$ и $Q_{др}$ – расход воды на спринкерное и дренчерное оборудование, $\text{м}^3/\text{с}$.

а) Расход воды на наружное пожаротушение населенных пунктов и промышленных объектов.

$$Q_{нар} = Q_{н.п.} + Q^{пож}_{пр.} = 0,05 + 0,015 = 0,065, \text{ м}^3/\text{с};$$

$Q_{н.п.} = q_{н.п.} \cdot n_{н.п.} / 1000 = 25 \cdot 2 / 1000 = 0,05, \text{ м}^3/\text{с}$ – количество воды на пожаротушение населенного пункта,

где $q_{н.п.} = 25 \text{ л/с}$ – расход воды на один очаг пожара в населенном пункте (прил. 1, табл. 1);

$n_{н.п.} = 2$ – число пожаров в населенном пункте (прил. 1, табл. 1);

$Q^{пож}_{пр.} = q^{пож}_{пр.} \cdot n^{пож}_{пр.} / 1000 = 15 \cdot 1 / 1000 = 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ – количество воды на пожаротушение промышленного объекта,

где $q^{пож}_{пр.} = 15 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход воды на один очаг пожара на промышленном объекте (прил. 1, табл. 2);

$V = 50\,000 \text{ м}^3$ – объем здания (табл. 1)

$n^{пож}_{пр.} = 1$ количество пожаров на промышленном объекте (табл. 1);

б) Расход воды на внутреннее пожаротушение

$$Q_{вн} = q_c \cdot n_c / 1000 = 5 \cdot 8 / 1000 = 0,04 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $q_c = 5 \text{ л/с}$ – расход воды на одну струю при внутреннем пожаротушении (прил. 1, табл. 3);

$n_c = 8$ – число струй (прил. 1, табл. 3);

в) Расход воды на спринкерное и дренчерное оборудование

$$Q_{спр} = 40 / 1000 = 0,04 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (табл. 1);}$$

$$Q_{др} = 40 / 1000 = 0,04 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (табл. 1).}$$

Таблица 1

Исходные данные для определения общего расхода воды на хозяйственно-питьевые, производственные и пожарные нужды

№ п/п	Параметры	Размерность	Варианты																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	$N_{пр}$ – расчетное число рабочих на производстве		50	60	70	80	90	110	120	200	250	300	350	50	100	150	160	170	200	250	190	180	
2	$q_{ж}$ – расход воды на одного жителя	л/сут	125	130	140	150	160	170	180	125	130	140	150	160	170	180	125	180	100	150	160	170	
3	$q_{пр}$ – расход воды на одного рабочего на производстве за смену	л/см	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	49	48	47	46	25	26	27	28	29	
4	n – количество смен в сутки		4	3	2	1	4	2	3	2	1	4	1	4	3	4	1	3	1	4	3	1	
5	V – объем здания	тыс м ³	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	100	200	120	130	100	200	250	300	200	50	
6	$Q_{пр} \cdot 10^3$ – расход воды на производственные нужды	м ³ /с	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	
7	$\Pi_{пр}^{пож}$ – количество пожаров на промышленном объекте		1	2	3	4	3	2	1	3	2	4	3	4	1	2	4	1	3	4	3	1	
8	$Q_{спр}$ и $Q_{др}$ – расход воды на спринчерное и дренчерное оборудование	л/с	30	30	30	30	30	30	30	30	35	35	40	35	40	35	35	35	40	40	50	40	30

Пример 2. Гидравлический расчет трубопроводов противопожарного водоснабжения

1. Гидравлический расчет трубопровода I этапа (согласно рис.1)

$$H_1 = H_{\Gamma} + h_{\text{нееч.ф}} + h_{\text{кол.ф}} + h_{\text{мп}} = 26 + 31 + 18,1 + 0,32 = 75,42 \text{ м}$$

где H_{Γ} – геометрическая высота подъема воды в водонапорную башню; $h_{\text{нееч.ф}}$ – потери напора при фильтрации воды через песчаный фильтр; $h_{\text{кол.ф}}$ – потери напора при фильтрации через пенополистироловый фильтр; $h_{\text{мп}}$ – потери напора при движении воды по трубам.

а) $H_{\Gamma} = 26 \text{ м}$ – геометрическая высота подъема воды (табл. 2);

$$\text{б) } h_{\text{мп}} = \left(1 + \sum \zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d}\right) \frac{U_1^2}{2g} = \left(1 + 14,44 + 0,018 \frac{1900}{0,25}\right) \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 31 \text{ м,}$$

где $\sum \zeta_1 = \zeta_{\text{вх}} + n_{\text{зад}} \zeta_{\text{зад}} + n_{\text{зад}} \zeta_{\text{зад}} + \zeta_{\text{вых}} = 0,5 + 5 \cdot 2,06 + 4 \cdot 0,66 + 1,0 = 14,44$ – коэффициенты местных сопротивлений (прил. 1, табл. 4);

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} + \frac{68}{\text{Re}}\right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,250} + \frac{68}{57.2252}\right)^{0,25} = 0,0277$$
 – коэффициент сопротивления по длине трубопровода;

где $\text{Re} = \frac{u \cdot D \cdot \rho}{\nu} = \frac{2 \cdot 0,25}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 381679$

где $D = 250 \text{ мм}$ – диаметр трубопровода (прил. 1, табл. 15);

$u = 2 \text{ м/с}$ (прил. 1, табл. 16);

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; (прил. 1, табл. 12.1);

$$\text{в) } h_{\text{неч.ф}} = \frac{3 \cdot \lambda \cdot H_{\text{неч}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{неч}}) \cdot u_0^2}{4 \varepsilon^3 \cdot d_{\text{ч}} \cdot \Phi} = \frac{3 \cdot 4,3 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0,4) \cdot 0,33^2}{4 \cdot 0,4^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 18,1$$

где $\lambda = \frac{133}{\text{Re}} + 2,34 = \frac{133}{68} + 2,34 = 4,3$ – коэффициент сопротивления песка;

$$\text{Re} = \frac{2\Phi}{3(1-\varepsilon)} \text{Re}_0 = \frac{2 \cdot 0,8}{3(1-0,4)} 38 = 68$$
 – число Рейнольдса при движении воды

через аппарат фильтрации с песком;

$$\text{Re} = \frac{U_0 d_{\text{ч}}}{\nu} = \frac{0,033 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 38$$
 – число Рейнольдса при фильтрации воды

через песок;

$\varepsilon_{\text{неч}} = 0,4$ – коэффициент порозности песка;

$\Phi = 0,8$ – фактор формы песка;

$H_{\text{неч}} = 0,45$ – загрузочная высота слоя песка в фильтре (табл. 2)

$d_{\text{ч}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – диаметр частиц (табл. 2);

$$\text{г) } h_{\text{пол.ф}} = \frac{[H_{\text{пол}} \cdot (1 - \varepsilon_{\text{пол}}) \cdot (\rho - \rho_{\text{пол}})]}{\rho} = \frac{[0,8 \cdot (1 - 0,6) \cdot (1000 - 15)]}{1000} = 0,32 \text{ м}$$

где $\rho_{\text{пол}} = 15 \text{ кг/м}^3$ – плотность пенополистирола;

$H_{\text{пол}} = 0,8 \text{ м}$ – высота слоя пенополистирола в аппарате (табл. 2);

$\varepsilon_{\text{пол}} = 0,6$ – коэффициент порозности пенополистирола;

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды при $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (прил. 1, табл. 12.1);

$$\text{д) } N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 83 \cdot 0,185}{0,6} = 251 \text{ кВт} - \text{ мощность насоса, перекачивающего воду в напорную башню от водозабора.}$$

2. Гидравлический расчет трубопровода II этапа от водонапорной башни до гидрантов (26)

$$H_{II} = h_{mp},$$

М.ВОД.СТ.,

$$\text{где } h_{mp} = (1 + \sum \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2}) \frac{u_2^2}{2g} = (1 + 14,44 + 0,0277 \frac{800}{0,25}) \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 11,94 \text{ м};$$

$u_2 = 1,5 \text{ м/с}$ – скорость воды 2 этапа (прил. 1, табл. 16);

$l_2 = 800 \text{ м}$ – длина трубопровода от водонапорной башни до гидранта (табл. 2);

$d_2 = d_1 = 250 \text{ мм}$ – диаметр трубопровода 2 этапа (прил. 1, табл. 15);

$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,11 (\frac{1 \cdot 10^{-3}}{66 \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{100763})$ – коэффициент сопротивления по длине трубопровода II этапа.

Таблица 2

Исходные данные для гидравлического расчета водопроводной сети

№ п/п	Параметры	Размер- ность	Варианты																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	H_r – геометрическая высота подъема воды	м	26	28	29	28	31	30	27	28	29	27	26	28	29	28	31	30	29	28	27	26
2	d/r – плавные закругления колена		0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,4	1,6	1,4
3	Δ – абсолютная высота шероховатости	мм	0,01	0,02	0,05	0,15	0,5	1	3	0,01	0,02	0,05	0,15	1	3	1	0,15	0,05	0,01	3	1	0,15
4	U_0 – скорость фильтрации через песчаный фильтр	м/с	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,03	0,031	0,032	0,033
5	t – температура воды	°С	10	15	20	15	10	20	10	15	20	10	15	20	15	10	20	15	10	15	20	10
6	d_q – диаметр частиц песка	мм	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
7	$H_{пес}$ – высота слоя песка в фильтре	м	0,25	0,4	0,45	0,36	0,37	0,38	0,39	0,4	0,3	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45
8	$H_{пол}$ – высота слоя пенополистирола в фильтре	м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
9	$n_{\text{зад}}$ – количество задвижек на I этапе		3	4	5	2	3	4	5	3	4	5	6	5	4	3	2	6	5	4	3	5
10	$n_{\text{пов}}$ – количество плавных поворотов на 120°		2	3	4	3	4	2	3	4	2	3	4	5	3	4	2	5	4	3	2	4
11	l_1 – длина трубопровода I этапа	м	2000	1900	2200	2100	1900	2000	2200	2100	1800	1900	2000	1900	1800	2000	1900	1600	1700	1800	2000	1900
12	l_2 – длина трубопровода II этапа	м	850	800	750	700	900	850	800	750	700	750	800	850	950	900	850	800	900	600	700	800
13	Задвижка	h/d	0,125	0,25	0,375	0,625	0,7	1	0,125	0,25	0,375	0,625	0,7	1	0,125	0,25	0,375	0,625	0,7	1	0,7	0,5

Пример 3. Расчет пожарорукавных систем

Практические задачи по подаче воды к месту пожара решаются с учетом совместной работы водопроводной сети, насосов и рукавных систем. При подаче воды для пожаротушения используют как стационарные насосы, устанавливаемые на насосных станциях, так и насосы пожарных автомобилей.

1. Определение расхода воды, подаваемой насосом по пожарным рукавам

Эту задачу можно решить графически и аналитически. При графическом решении задачи строят характеристики насоса и рукавной системы, точка пересечения которых указывает на предельные возможности насоса при данных условиях.

$H_{\text{нас}} = a - bQ^2 = 112 - 0,01Q^2$ – напор, развиваемый насосом, м,
где $a = 112$; $b = 0,01$ – параметры, характеризующие тип насоса (прил. 1, табл. 11);

$H_{\text{мп}} = h_{\text{ств.}} + h_{\text{м.р.}} + Z$ – потери напора на магистральной рукавной линии, м,
где $h_{\text{ств.}} = s_{\text{ств.}} \cdot Q^2$; $h_{\text{м.р.}} = s_{\text{м.р.}} \cdot Q^2$ – потери напора в стволе и рукаве на магистральной линии;

$s_{\text{ств.}} = f(d_{\text{ств.}} = 13 \text{ мм}) = 2,89$ – сопротивление ствола (прил. 1, табл. 14);

$s_{\text{м.р.}} = (d_{\text{м.р.}} = 89 \text{ мм}) = 0,00385$ – сопротивление рукава на магистральной линии (прил. 1, табл. 13).

Для решения поставленной задачи приравниваем $H_{\text{нас}} = H_{\text{мп}}$ и определяем расход Q .

$$Q = \sqrt{\frac{(a - Z)}{s_{\text{ств.}} + s_{\text{м.р.}} + b}} = \sqrt{\frac{(112 - 45)}{2,89 + 0,00385 + 0,01}} = 4,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Определение потерь напора в рукавных линиях при последовательном соединении (рис. 9а)

$$h_c = (s_1 + s_2 + s_3) \cdot Q^2 = (0,00385 + 0,015 + 0,034) \cdot 4,8^2 = 1,22 \text{ м},$$

где $s_1 = 0,00385$; $s_2 = 0,015$; $s_3 = 0,034$ – сопротивление рукавных линий при диаметрах $d_{1\text{р}} = 89 \text{ мм}$, $d_{2\text{р}} = 77 \text{ мм}$ и $d_{3\text{р}} = 66 \text{ мм}$ (прил. 1, табл. 13).

3. Определение потерь напора в рукавных линиях при параллельном соединении (рис. 9б)

$$S_c = \frac{1}{(1/\sqrt{s_1} + 1/\sqrt{s_2} + 1/\sqrt{s_3})^2} = \frac{1}{(1/\sqrt{0,00385} + 1/\sqrt{0,015} + 1/\sqrt{0,034})^2} = 0,0025;$$

$$h_c = 0,0025 \cdot 4,8^2 = 0,25 \text{ м}.$$

4. Определение потерь напора в рукавных линиях при смешанном соединении (рис. 9в)

Согласно рис. 9в смешанная система состоит из трех пожарных рукавов со стволами, вода к которым подается по магистральной линии.

Сопротивление отдельной рабочей линии с присоединенным стволом определяют по формуле

$$h_{cm} = S_{cm} \cdot Q^2 = 0,0654 \cdot 4,8^2 = 1,5 \text{ м,}$$

где $S_{cm} = S_{общ.р} + S_m = 0,05 + 0,0754 = 0,0654$

Общее сопротивление рабочих линий определяют по правилу параллельных соединений:

$$S_c = \frac{1}{(1/\sqrt{n_1 \cdot s_1 + s_{cm1}} + 1/\sqrt{n_2 \cdot s_2 + s_{cm2}} + 1/\sqrt{n_3 \cdot s_3 + s_{cm3}})^2} =$$

$$= \frac{1}{(1/\sqrt{5 \cdot 0,00385 + 0,634} + 1/\sqrt{2 \cdot 0,015 + 0,353} + 1/\sqrt{5 \cdot 0,034 + 0,634})^2} = 0,05$$

$$s_m = n_m \cdot s_{IM} = 0,00385 \cdot 4 = 0,0154,$$

где $s_{IM} = 0,00385$ при $d = 89$ мм – сопротивление одного рукава магистральной линии (прил. 1, табл. 13);

$n_m = 4$ – число магистральных линий (табл. 3);

$s_{CT1} = 0,634$, $s_{CT2} = 0,353$, $s_{CT3} = 0,634$ при $d_{CT1} = 19$ мм, $d_{CT2} = 22$ мм и $d_{CT3} = 19$ мм (прил. 1, табл. 14).

5. Расчет совместной работы насосно-рукавных систем с помощью таблиц

Расчет совместной работы пожарных насосов рукавных линий удобно производить с помощью таблиц, составленных на основании энергетического решения различных примеров. Использование таблицы рассмотрим на примерах расчета нескольких схем подачи воды к ручным стволам по магистральным и рабочим линиям.

Пример 1. Определить требуемый напор насоса при подачи воды по линии $l = 360$ м, из прорезиненных рукавов $d = 77$ мм, к стволу с насадкой $d = 16$ мм. Ствол поднят на уровень 4 этажа (рис. 9а).

Решение. Определим последовательно напор у ствола, присоединенного к магистральной линии $H_{cm} = 29$ м (табл. 2). Расход у ствола равен расходу насоса $Q = 300$ л/мин (табл. 16); Потери напора магистральной линии $h = 6$ м (табл. 5). С учетом подъема ствола на 4 этаж $Z = 16$ м (табл. 6); требуемый напор у насоса будет

$$H = H_{cm} + h + Z = 29 + 6 + 16 = 51 \text{ м}$$

Таблица 2

Определение напора у ствола H_{cm} при длине компактной части струи 17 м

Диаметр ствола, d , мм	13	16	19	22	25
Напору ствола, H_{cm} , м	33	29	27	26	25

Таблица 3

**Определение напора в начале рабочих линий у разветвления H_p
(принимается по линии, требующей наибольшего напора)**

Напор у разветвления, $H_{p,u}$	Линии из непрорезиненных рукавов		Напор у разветвления, $H_{p,m}$	Линии из прорезиненных рукавов		
	$l=40m$ $d=51$ мм	$l=60m$ $d=51$ мм		$l=40m$ $d=51$ мм	$l=60m$ $d=51m,u$	$l=40-60$ м $d=66-77$ мм
	Диаметр насадки, мм			Диаметр насадки, мм		
40	13,16	–	35	13,16	–	13–25
50	19	13,16	40	19	13,16	–
60	22	19	45	22	19	–
			55	–	22	–

Таблица 4

Определение расхода воды Q для рабочей линии л/мин

Напор у разветвления, $H_{p,m}$	Диаметр насадки, мм				
	13	16	19	22	25
35	200	300	400	500	650
40	200	300	450	550	700
50	250	350	500	600	800
60	250	400	500	650	850

Таблица 5

Определение потерь напора h в магистральной линии

Расход воды, л/мин											
	–	100	160	200	260	300	400	500	600	700	800
200	1	2	3	4	5	5	7	9	11	12	14
300	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32
400	3	7	11	14	18	22	29	36	43	53	60
500	5	11	17	22	28	33	44	55	71		
600	8	17	27	34	44	52					
700	10	23	37	47							
800	14	30	48								
900	18	38	61								
	100	220	360	500	600	700	900				
	Рукава диаметром 77 мм, длиной, м										

Пример 2. Определить напор у насоса при подаче воды по рукавной схеме, приведенной на рис. 9б. Стволы подняты на уровень 6 этажа.

Решение. По табл. 2 напор у ствола $d=22$ мм, составит $H_{ст}=26$ м; расход из одного ствола $Q_{ст}=500$ л/мин (см. табл. 4), потери напора в

линии $h=33$ м (см. табл. 5). Учитывая подъем стволов на 6 этаж, $Z=24$ м (см. табл. 6), напор насосов будет равен:

$$H = 26 + 33 + 24 = 83 \text{ м.}$$

$Q_{ст}=1000$ л/мин (см. табл. 4) – расход воды по обеим рукавным линиям.

Пример 3. Определить напор у насоса при подаче воды по рукавной системе, приведенной на рис. 9. Стволы подняты на уровень 4 этажа.

Решение. Напор в начале рабочих линий у разветвления (табл. 3) будет равен: $H_p=40$ м; расход воды из трех стволов с насадками $d=13$ мм, составляет: $Q=200 \cdot 3=600$ л/мин (см. табл. 4). При этом расходе воды потери напора в магистральной линии равны $h_m=22$ м (см. табл. 5). С учетом подъема стволов на уровень 4 этажа $Z=16$ м (см. табл. 6). Напор насоса будет составлять:

$$H = h_m + H_p + Z = 22 + 40 + 16 = 78 \text{ м.}$$

Таблица 6

Определение дополнительного напора у насоса в зависимости от геометрической высоты подъема стволов Z

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Число этажей	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	3	5	7	8
Напор	4	8	12	16	20	24	28	32	4	8	12	16	20	24	28	32	12	20	28	32

Пример 4. Определить напор у насоса при подаче воды по рукавной системе, приведенной на рис. 9. Стволы подняты на уровень 2 этажа.

Решение. Согласно табл. 3 наибольший напор у разветвления при условии подачи воды по линии $d=51$ мм будет равен: $H_p=50$ м. Расход воды по рабочим линиям составит (см. табл. 4): для линии с насадками 13 мм $250 \cdot 2=500$ л/мин; для линии с насадком 16 мм при напоре у разветвления 50 м 350 л/мин. Расход по рукавной системе будет равен: $Q = 500+350=850$ л/мин. При этом расходе потери напора в магистральной линии составят около $h_m=34$ м (см. табл. 5). Учитывая подъем ствола на второй этаж, $Z=8$ м (см. табл. 6). Напор у насоса равен сумме:

$$H = h_m + H_p + Z = 34 + 50 + 8 = 92 \text{ м.}$$

Таблица 7

Исходные данные для расчета насосно-рукавных систем

Параметры	Раз- мер ность	Варианты																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
схема насосно рукавной системы		а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	в	г
n_1 – число этажей здания		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
$d_{нас}$ – диаметр насадки (ствола)	мм	13	19	25	16	16	22	19	22	19	25	16	25	22	13	25	16	25	16	13	13
$d_{1рук}$ – диаметр рукавов прорезиненных	мм	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89	77	89
$d_{2рук}$ – диаметр рукавов прорезиненных	мм	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77
$d_{3рук}$ – диаметр рукавов прорезиненных	мм	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66	51	66
n_1 – колич. рукавов первой раб. линии		2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
n_2 – колич. рукавов во второй раб. линии		5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2
n_3 – колич. рукавов в третьей раб. линии		2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
Z – высота здания	м	46	47	48	49	50	49	48	47	46	45	46	47	48	49	50	49	48	47	46	45
d_m – диаметр рукавов по магистральной линии	мм	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66	77	66
n_m – число магистральных линий		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
$d_{1ст}$ – диаметр пожарного ствола первой линии (для рис. 9 г)	мм	13	13	16	16	22	16	19	22	16	25	22	19	25	16	19	25	16	22	16	19
$d_{2ст}$ – диаметр пожарного ствола второй линии (для рис. 9 г)	мм	16	16	25	19	28	13	22	16	13	19	13	22	16	19	25	16	13	16	19	22
$d_{3ст}$ – диаметр пожарного ствола третьей линии (для рис. 9 г)	мм	13	13	16	16	22	16	19	22	16	25	22	19	25	16	19	25	16	22	16	19

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
l_m – длина магистральной линии (для рис. 9 а, б, в, г)	м	100	160	220	200	360	260	360	200	500	100	360	160	220	200	500	260	600	300	100	160
l_{1p} – длина прорезиненого рукава первой линии (для рис. 9 г) / d_{1p}	м/мм				40/ 51				60/ 51				60/ 77				40/ 51				60/ 51
l_{2p} – длина прорезиненого рукава второй линии (для рис. 9 г) / d_{2p}	м / мм				60/ 51				40/ 51				40/ 66				60/ 51				40/ 51
l_{3p} – длина прорезиненого рукава третьей линии (для рис. 9 г) / d_{3p}	м/мм				40/ 51				60/ 51				60/ 77				40/ 51				60/ 51

Пример 4. Расчет пожарных струй

1. Расчет сплошной струи.

$$l_T = \frac{2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \Theta}{1 + \frac{k}{d} H}$$

где l_T – теоретическая дальность полета струи, м;

$H=38$ м – напор воды у пожарного ствола (табл. 4);

$\Theta=45^\circ$ – угол наклона ствола к горизонту (табл. 4);

$k=0,0011$ – коэффициент сопротивления трению в воздухе (табл. 4);

$d=28$ мм – диаметр пожарного ствола (табл. 4).

2. Расчет вертикальной струи

Свободная водяная струя при истечении из вертикально направленного ствола со скоростью u теоретически поднимается на высоту $H = \frac{u^2}{2g}$,

так как в насадке вся потенциальная энергия переходит в кинетическую. Однако при движении струи часть энергии расходуется на преодоления трения струи о воздух.

$$H_e = \frac{H}{1 + \varphi \cdot H} = \frac{38}{1 + 0,005 \cdot 38} = 31,8 \text{ м,}$$

где H_e – высота вертикальной струи, м;

$\varphi = 0,005$ – коэффициент сопротивления пожарного ствола (прил. 1, табл. 9); $H=38$ м – напор у пожарного ствола (табл. 4).

3. Расчет наклонных струй

При тушении пожара необходимо иметь компактную струю, которая определяется по следующей формуле:

$$H_K = f \cdot H_e = 0,7 \cdot 31,8 = 22,26 \text{ м – высота компактной струи,}$$

где f – коэффициент, учитывающий компактность струи (прил. 1, табл. 10.2).

Расчет наклонных струй ведут по отношению к данным, полученным для вертикальных струй.

$$R_p = \beta \cdot H_e = 1,12 \cdot 31,8 = 35,62 \text{ м,}$$

где R_p – радиус действия раздробленной струи,

β – коэффициент, учитывающий радиус действия наклонной струи (прил. 1, табл. 9.1);

$H_e=31,8$ м – высота вертикальной струи.

Таблица 5

Варианты	Напор у насадки, H м в. ст.	Диаметр ствола (насадки), $d_{ств}$ ($d_{нас}$), мм	Угол наклона ствола, Θ	Угол наклона струи, α	$K \cdot 10^3$
1	35	13	30	15	2,1
2	37	16	31	30	2,2
3	38	19	32	45	2,3
4	39	22	33	60	1,9
5	40	25	34	15	1,8

6	35	13	35	30	1,7
7	37	16	36	45	2,2
8	38	19	37	60	2,1
9	39	22	38	45	2,3
10	40	25	39	30	2,0
11	35	28	40	15	1,9
12	36	25	30	30	1,8
13	37	22	31	45	2,0
14	38	19	32	60	2,1
15	39	16	33	15	2,2
16	40	13	34	30	2,3
17	35	16	35	45	1,9
18	36	19	36	60	1,8
19	37	22	37	30	2,0
20	38	28	38	45	1,1

Пример 5. Расчет наружных и внутренних противопожарных систем

1. Определение необходимого напора в наружной водопроводной сети у расчетного гидранта низкого давления

$$H_C = H_{св} + h_{ГК} + Z = 10 + 12,25 + 33 = 55,25 \text{ м,}$$

где $h_{ГК} = S_{ГК} \cdot Q^2 = 0,0051 \cdot 49^2 = 12,25$ м - потери напора гидранта московского типа; $S_{ГК} = 0,0051$ (прил. 1, табл. 8); $Z = 33$ м – высота здания (табл. 5); $H_{св} = 10$ м – напор в гидранте на уровне поверхности земли.

2. Определение необходимого напора в наружной водопроводной водопроводной сети у расчетного гидранта высокого давления

$H_{св} = H_{нас} + h_{рук.м} + Z_{зд}$ – свободный напор у гидранта, м,

где $H_{нас} = S_{нас} \cdot Q^2 = 0,353 \cdot 5^2 = 8,825$ м;

$S_{нас} = f(d_{нас} = 22 \text{ мм}) = 0,353$ (прил. 1, табл. 14);

$h_{рук.л} = S_{рук} n Q^2 = 0,077 \cdot 6 \cdot 5^2 = 11,55$ м;

$S_{рук} = 0,077$ – сопротивление одного не прорезиненного рукава (прил. 1, табл. 13);

$n = 6$ – число рукавов, отсюда

$$H_{св} = 8,825 + 11,55 + 33 = 53,375 \text{ м.}$$

3. Определение напора у внутренних пожарных кранов

Используя табл. 6, определяем напор у пожарного крана при следующих данных:

$l_{рук} = 20 \text{ м; } d_{вкр} = 65 \text{ мм; } d_{ств} = 22 \text{ мм}$ и

$R_{КОМН} \text{ струи (высота здания) } H_{крана} = 15,8 \text{ м, } Q_{н/струи} = 6,1 \text{ л/с}$

4. Расчет числа автонасосов, необходимых для перекачки

Расстояние между смежными насосами определяют из общего выражения

$$aH = h,$$

где $a = 0,75$ – коэффициент режима работы насоса;

H – максимальный напор, развиваемый одним насосом;

h – потери напора в рукавных линиях, проложенных между смежными насосами;

$$\alpha(\alpha - bQ^2)^2 = nSQ^2$$

тогда число рукавов, прокладываемых между смежными автонасосами,

$$n = \frac{\alpha(\alpha - bQ^2)^2}{SQ^2} = 0,75 \frac{112 - 0,01 \cdot 49^2}{0,034} \cdot 49^2 = 2$$

где $\alpha = 112$; $b = 0,01$ – параметры, характеризующие тип насоса (прил. 1, табл. 11);

$S = 0,034$ при $d_{\text{рук. прорез}} = 66$ (прил. 1, табл. 13);

$Q = 49$ л/с – расход воды на наружное пожаротушение (табл. 5).

Таблица 5

Исходные данные для расчета напора у гидранта

Вариант	Наружные гидранты					
	Q	$d_{\text{нас}}$	$d_{\text{рук}}$	$Q_{\text{нас}}$	n	$Z_{\text{зд}}$
	Расход воды на наружное пожаротушение, л/с	Диаметр насадки, мм	Диаметр прорезиненного рукава	Расход воды насадки, л/с	Число рукавов	Высота здания
1	30	13	51	4	2	32
2	31	16	66	5	3	33
3	32	9	77	6	4	34
4	33	22	66	7	5	35
5	34	25	51	4	6	36
6	35	28	66	6	2	37
7	36	32	77	7	3	38
8	37	38	66	4	4	39
9	38	13	51	6	5	40
10	39	16	66	5	6	32
11	40	9	77	7	2	33
12	41	22	66	4	3	34
13	42	25	51	6	4	35
14	43	28	66	5	5	36
15	44	32	77	7	6	37
16	45	38	66	6	2	38
17	46	13	51	4	3	39
18	47	16	66	7	4	40
19	48	9	77	6	5	32
20	49	22	66	5	6	33

Таблица 6

Исходные данные для расчета напора у пожарных кранов

Вариант	Длина рукава, <i>l</i> , м	Условный диаметр крана, мм	Диаметр пожарного ствола, мм	Радиус компактной части струи, м
1	10	50	13	12
2	20	65	16	6
3	10	50	19	10
4	20	65	29	14
5	10	50	13	16
6	20	65	16	18
7	10	50	19	8
8	20	65	22	16
9	10	50	13	18
10	20	65	16	14
11	10	50	19	12
12	20	65	22	18
13	10	50	13	20
14	20	65	16	8
15	10	50	19	18
16	20	65	29	8
17	10	50	13	20
18	20	65	16	6
19	10	50	19	14
20	20	65	22	10

Учебное издание

**Тимофеева Светлана Семеновна
Кустов Олег Михайлович**

Противопожарное водоснабжение

Учебное пособие

Редактор Н.В. Махнёва