

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«Государственный аграрный университет  
Северного Зауралья»

---

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Практикум по дисциплине  
Противопожарное водоснабжение  
**Расчет водопроводных систем**

## 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 автонасосами из гидрантов.

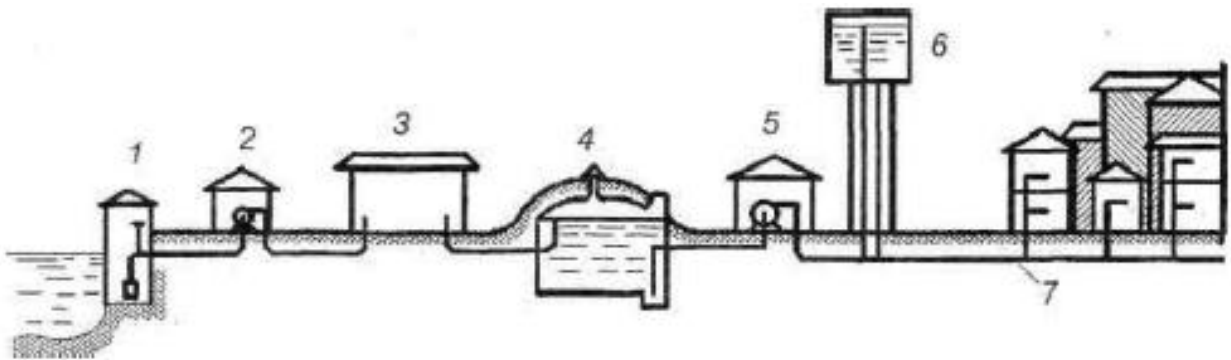
В зависимости от степени пожарной Опасности производств и с учетом экономического фактора безводопроводное противопожарное водоснабжение предусматривают для предприятий с территорией не более 20 га и категорией производства Г и Д при расходе воды на наружное пожаротушение 20 л/с и менее, а также для 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).

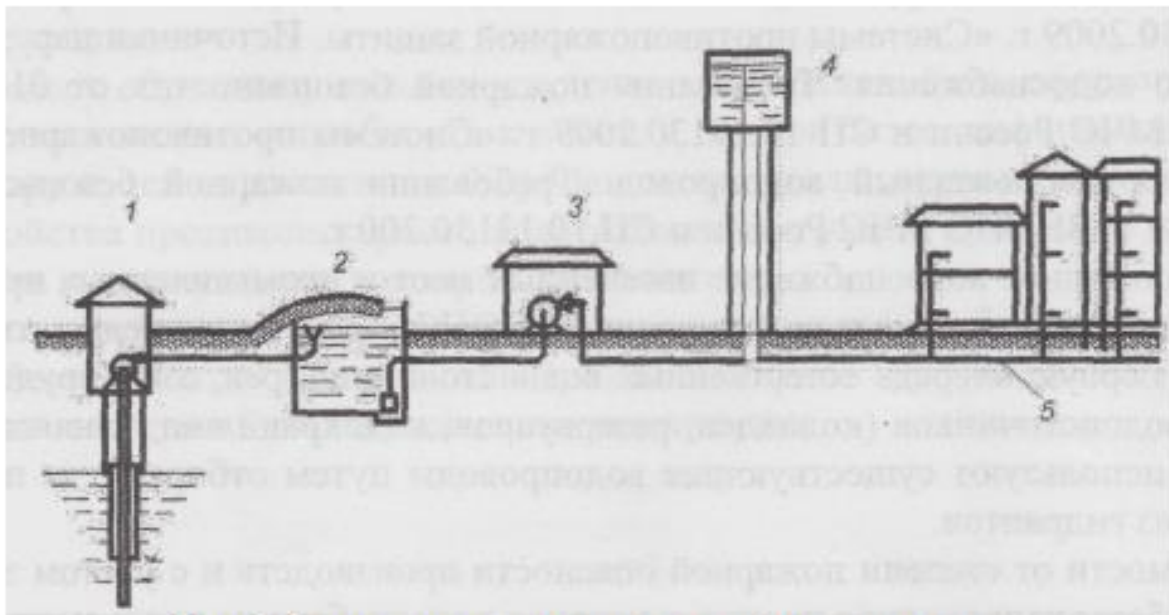


**Рис. 1. Схема водопровода при открытых водоисточниках:** 1 – водозаборный колодец; 2 – насосная станция I подъема; 3 – очистные сооружения; 4 – запасной резервуар; 5 – насосная станция II подъема; 6 – водонапорная башня; 7 – водопроводная сеть от напорной башни до гидрантов

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, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – расход воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных объектов, м<sup>3</sup>/с;

$Q_3$  – расход воды на пожаротушение, м<sup>3</sup>/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:

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

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

$N_{\text{ж}}$  – 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:

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

где  $Q_{\text{пр}}$  – расход воды на производственные нужды, м<sup>3</sup>/с (прил. 2, табл. 1)

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

где  $N_{\text{пр}}$  – количество рабочих на производстве (прил. 2, табл. 1);

$q_{\text{пр}}$  – 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, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{вн}$  – расход воды на внутреннее пожаротушение в течение 3 ч, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{спр}$  – расход воды на спринкерное пожаротушение в течение 1 ч, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{др}$  – расход воды на дренчерное пожаротушение в течение 1 ч, м<sup>3</sup>/с.

Расход воды на наружное пожаротушение состоит из двух составляющих:

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

где  $Q_{нп}$  – расход воды на наружное пожаротушение населенных пунктов, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{нар}^{поз}$  – расход воды на наружное пожаротушение промышленных объектов, м<sup>3</sup>/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:

$$Q_{нар}^{поз} = \frac{q_{нр} \cdot n_{нар}^{поз}}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8)$$

где  $Q_{нар}^{поз}$  – расчетный расход воды на наружное пожаротушение промышленных объектов одного пожара (прил. 1, табл. 2);

$n_{нар}^{поз}$  – 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 <sup>3</sup>	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 ВОДОВОДНЫХ 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.;

$\lambda$  – 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 м/с<sup>2</sup>.

Для всех областей сопротивления  $\lambda$  можно определить по формуле Альтшуля:

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



где  $\Delta$  – абсолютная шероховатость, м, (прил. 1, табл. 5);

$Re$  – коэффициент Рейнольдса, определяемый из выражения:

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

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, м<sup>3</sup>/с (уравнение 1);

$\rho$  и  $\mu$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>) 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:

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

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

$\xi$  – 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 схеме (рис. 1) состоит из следующих составляющих:

$$H_I = H_T + h_{np} + h_{неч.ф} + h_{пол.ф}, \text{ м}, \quad (16)$$

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

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

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

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

противлений (прил. 1, табл. 4);

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

$n_{пов}$  – 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  $\Delta$  – абсолютная шероховатость трубы, м (прил. 1, табл. 5);

$$Re = \frac{u d \rho}{\mu} \quad \text{– критерияльное уравнение Рейнольдса; (19)}$$

$u$  – 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:

$$h_{песф} = \frac{3 \cdot \lambda \cdot H_{пес} \cdot (1 - \varepsilon_{пес}) \cdot u_0^2}{4 \cdot \varepsilon^3 \cdot d_v \cdot \Phi}, \quad (21)$$

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

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

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

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

$u_0$  – скорость фильтрации, м/с;

$d_v$  – диаметр частиц песчаного гравия, м;

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

г) потери напора в пенополистероловом фильтре:

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

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  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – количество воды в водопроводной сети первого этапа, м<sup>3</sup>/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:

$$H_{\Pi} = h_{\text{тр}}, \text{ м вод. ст.}$$

$$h_{\text{т.р}} = (1 + \sum \xi_2 + \lambda_2 \cdot \frac{\ell_2}{d}) \cdot \frac{u_2^2}{2g}, \quad (26)$$

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

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

$n_{\text{пов}}$  – количество плавных поворотов на  $120^\circ$  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.



## 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, $n_{пл}$	Расходы воды, л/с, $q_{пл}$	
			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, $q_{тр}^{пож}$ на один пожар при объеме здания, $V$ тыс. $m^3$						
			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 <sup>3</sup> включительно	1	2,5
2	Гостиницы и общежития высотой 4 этажа и более, объемом до 25 000 м <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> включительно	1	2,5
5	Помещения объемом 5000–25 000 м, расположенные под трибунами на стадионах и спортивные залы объемом до 25 000 м <sup>3</sup> включительно	1	2,5
6	Вспомогательные здания промышленных предприятий объемом до 25 000 м <sup>3</sup> включительно	1	2,5
7	Актные 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	2	2,5
11	Вспомогательные здания промышленных предприятий объемом более 25 000 м <sup>3</sup>	2	2,5
12	Помещения общим строительным объемом более 25 000 м <sup>3</sup> , расположенные под трибунами на стадионах, и спортивные залы объемом более 25 000 м <sup>3</sup> . Актные 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 <sup>3</sup> и более при хранении в них сгораемых материалов и негоряемых 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 <sup>3</sup>	4	5
17	Административные здания высотой более 50 м и объемом более 50 000 м <sup>3</sup>	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, $\zeta$									
1	2									
Прямой вход	$\zeta = 0,5$									
Скругленный вход	$\zeta = 0,25$									
Выход в бак	$\zeta = 1$									
Внезапное расширение трубы	$\xi = (\omega_2 / \omega_1 - 1)^2 = (d_2^2 / d_1^2 - 1)^2$									
	$\omega_2 / \omega_1$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6 1,7	1,8	1,9	2
	$\zeta$	0,01	0,01	0,09	0,16	0,25	0,36 0,49	0,64	0,81	1
Внезапное сужение трубы	$\zeta = 0,5(1 - \omega_2 / \omega_1) = 0,5(1 - d_2^2 / d_1^2)$									
	$\omega_2 / \omega_1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$\zeta$	0,45	0,4	0,25	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
Диафрагма	$\omega_2 / \omega_1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$\zeta$	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		
	$\zeta$	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				
	$\zeta$	8	4,9	4	4,1	4,4				
Вентиль (делительная стенка вертикальная)	$d$ , мм	20	25	30	40	50				
	$\zeta$	10,5	9,3	8,6	7,6	6,9				



Окончание табл. 4

1	2											
Обратный клапан	d, мм	40			70	100		200			300	
	$\zeta$	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	350	400
	$\zeta$	12	10	8	7	6,5	6	5	4,5	4	3,5	3
Плавное закругленное колено	d/r	0,4		0,6	0,8	1		1,2	1,4	1,6		
	$\zeta$	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	$\zeta$	$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$
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 расходная насадка, $\alpha = 5^\circ = 5'$	3,45	1	0,475	0,475
Коническая расходная 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 <sub>v</sub> =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 <sub>v</sub> =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  $\rho$  для определения радиуса раздробленной струи

Угол наклона струи $\alpha$	0	15	30	45	60	75	90
Коэффициент $\rho$	1,4	1,3	1,2	1,12	1,07	1,03	1

Таблица 9.2

Значения коэффициента  $\varphi$  для различных диаметров насадок

d, мм	$\varphi$	d, мм	$\varphi$	d, мм	$\varphi$
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 <sub>в,м</sub>	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-19, ПМГ-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)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/кг}\cdot\text{К}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{кН/м}^2$	$Pr$
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 $\text{кДж/кг}$ (Г)	Энтальпия пара, $\text{кДж/кг}$ (Г)	Теплота образования, $\text{кДж/кг}$
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 <sup>2</sup> /с
1,11	50	3686
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	0,1–0,5 0,5–1,0 0,8–2,0 1,5–3,0
	в языке	
	маловязкие при перекачивании насосами	
	во всасывающих трубопроводах	
Газы	в нагнетательных трубопроводах	1,5–3,0
	При естественной тяге	2–4
	При небольшом давлении (от вентилятора)	4–15
Пары	При большом (от компрессоров)	15–25
	Перегретые	30–50
	Насыщенные при давлении, Па	15–20 20–40 40–60 60–70
	Больше $10^5$	
	$(1–0,5)10^5$	
	$(5–2)10^4$	
	$(2–0,5)10^4$	

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**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:

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

где  $Q_1$  – количество воды на хозяйственно-бытовые нужды населенных пунктов, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – количество воды на производственные и хозяйственно-бытовые нужды промышленных предприятий, м<sup>3</sup>/с;

$Q_3$  – количество воды на пожаротушение, м<sup>3</sup>/с;

$K_{\text{зап}} = 1,3$  – коэффициент запаса.

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

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

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

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

1 л =  $10^{-3}$  м<sup>3</sup> 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:

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

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

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

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

$q_{\text{пр}} = 29$  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.

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

$Q_{н.п.} = q_{н.п.} \cdot n_{н.п.} / 1000 = 25 \cdot 2 / 1000 = 0,05, \text{ м}^3/\text{с}$  – 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);

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

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

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

$n_{пр.}^{пож} = 1$  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	Размер- ность	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 про- изводстве		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 м³	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	100	200	120	130	100	200	250	300	200	50
6	$Q_{пр}^{IO}$ – расход воды на произ- водственные нужды	м³/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	$\Pi_{пр}^{пж}$ – количество пожаров на про- мышленном объекте		1	2	3	4	3	2	1	3	2	4	3	4	1	2	4	1	3	4	3	1
8	$Q_{сп}$ и $Q_{др}$ – расход воды на спринчерное и дренчерное оборудова- ние	л/с	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)**

$$H_1 = H_r + h_{\text{песч.ф}} + h_{\text{пол.ф}} + h_{\text{тр}} = 26 + 31 + 18,1 + 0,32 = 75,42 \text{ м}$$

где  $H_r$  – геометрическая высота подъема воды в водонапорную башню;  
 $h_{\text{песч.ф}}$  – потери напора при фильтрации воды через песчаный фильтр;  $h_{\text{пол.ф}}$  –  
 потери напора при фильтрации через пенополистироловый фильтр;  $h_{\text{тр}}$  –  
 потери напора при движении воды по трубам.

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

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

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;

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

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);

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

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;

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

через песок;

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

$\Phi = 0,8$  – фактор формы песка;

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

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

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

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  $t = 10^\circ \text{C}$  (прил. 1, табл. 12.1);

$$\text{д) } N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 83 \cdot 0.185}{0.6} = 251 \text{ кВт} - \text{мощность насоса, пе-}$$

рекачивающего воду в напорную башню от водозабора.

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

$$H_{II} = h_{\text{тр}},$$

М.ВОД.СТ.,

$$\text{где } h_{\text{тр}} = (1 + \sum \zeta_2 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2}) \frac{u_2^2}{2g} = (1 + 14.44 + 0.0277 \frac{800}{0.25}) \frac{1.5^2}{2 \cdot 9.81} = 11.94 \text{ м};$$

$u_2 = 1.5 \text{ м/с}$  – 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 <sub>г</sub> – гео- метрическая вы- сота 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 ко- лена		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 шерохо- ватости	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 <sub>0</sub> – скорость фильтрации через песча- ный 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	°C	10	15	20	15	10	20	10	15	20	10	15	20	15	10	20	15	10	15	20	10
6	d <sub>к</sub> – 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 <sub>пес</sub> – 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 <sub>пол</sub> – высота слоя пе- нополистирола 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	$n_{зад}$ – количество задвижек на I этапе	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
10	$n_{пов}$ – количество плавных поворотов на $120^\circ$	2	3	4	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