

# Водоснабжение. Водопроводная сеть

## Конспект лекций

### Основные категории потребителей воды

При проектировании систем водоснабжения в первую очередь решается вопрос о необходимом количестве воды различного качества.

По качеству потребляемой воды различают четыре категории потребителей:

1. **Хозяйственно-питьевое водопотребление.** Для него требуется вода питьевого качества, соответствующая ГОСТу “Вода питьевая”. Подача осуществляется круглосуточно.
2. **Производственные потребители.** Вода используется на технологические нужды. Качество воды обуславливается технологическими потребностями. Режим подачи воды обуславливается режимом работы предприятия.
3. **Расходы воды на поливку зеленых насаждений и мытье улиц.** Эти расходы обуславливаются площадями, оборудованием для полива и мытья. Режим потребления сезонный. Качество воды не регламентируется.
4. **Расход на пожаротушение.** Качество воды не регламентируется. Режим работы эпизодический.

### Классификация систем водоснабжения

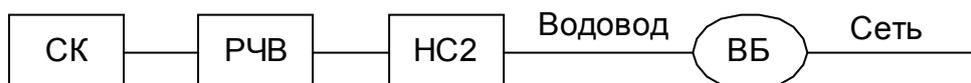
По виду источников водоснабжения:

1. Системы с водозабором из открытых источников.



Такие источники характеризуются сильно изменяющимся дебетом и повышенной мутностью. Вода требует очистки и обеззараживания. Строительная стоимость таких систем меньше, чем из подземных источников.

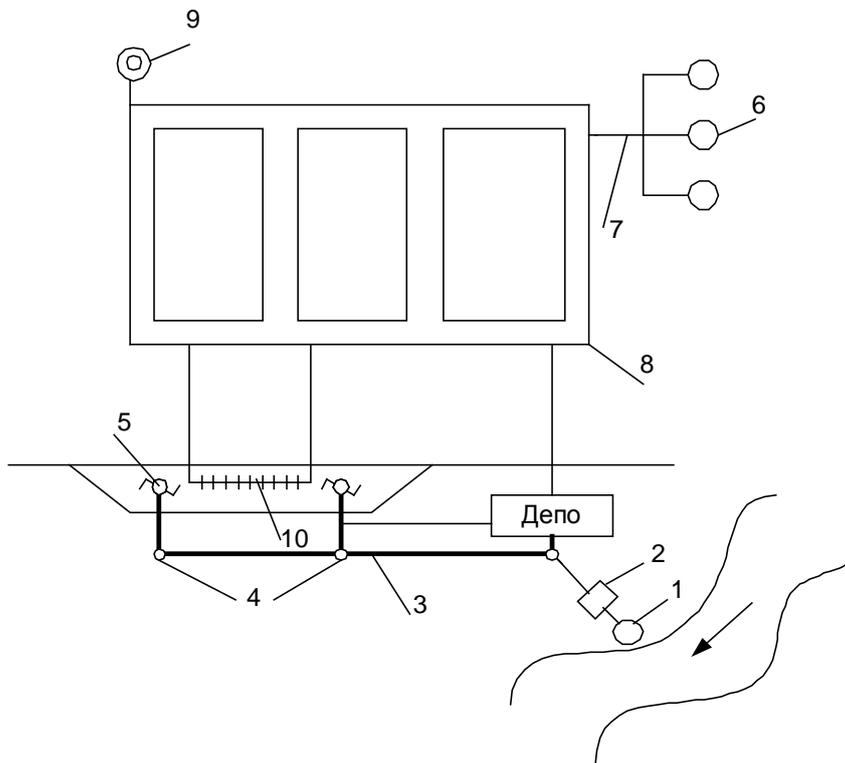
2. Из подземных источников.



Дебет более постоянный. Качество воды выше, чем у открытых источников. Строительная стоимость их выше, но меньше эксплуатационные затраты.

### Схемы водоснабжения различного назначения

### 1. Раздельная схема.



где 1 - водозаборные сооружения.

2 - НС2.

3 - водопроводная сеть технической воды.

4 - водонапорные башни.

5 - гидроколонны для заправки паровозов.

6 – водозабор питьевой воды.

7 – водовод питьевой воды.

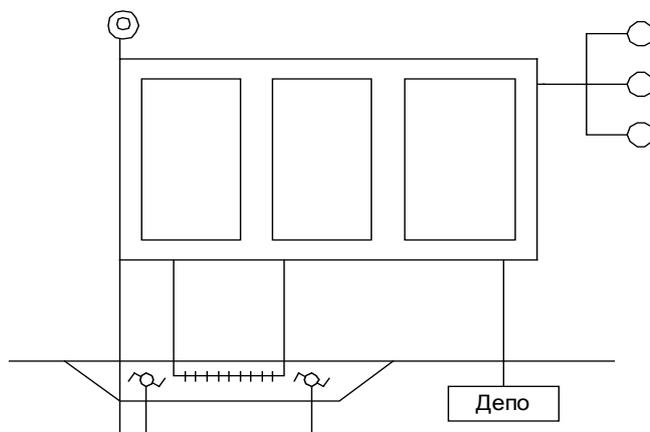
8 – кольцевая водопроводная сеть питьевой воды.

9 – башня питьевой воды.

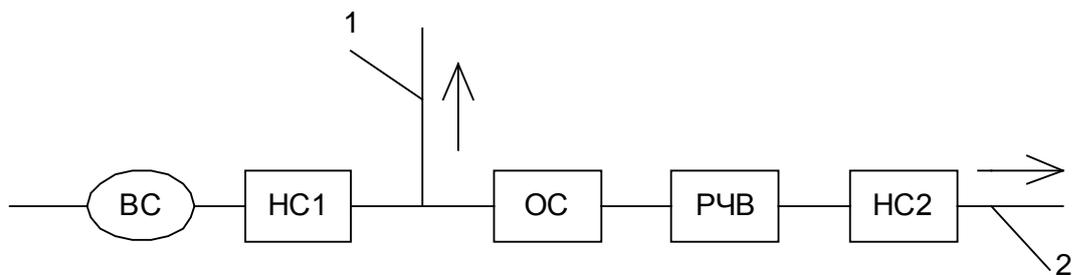
10 – краны для заправки пассажирских вагонов.

### 2. Объединенная схема.

Обеспечивает подачу воды питьевого качества всем потребителям, в том числе и производственным.



### 3. Полураздельная схема

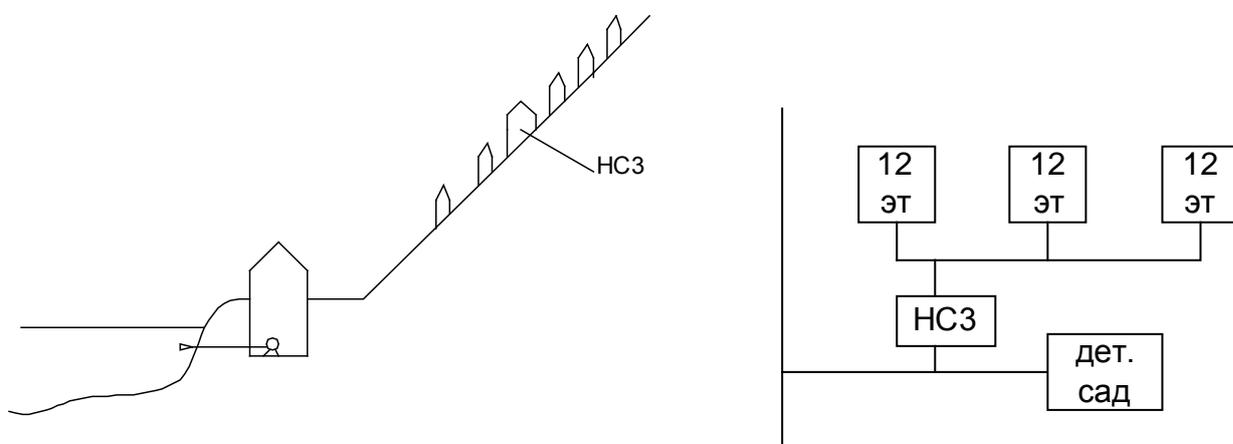


1 – подача технической воды на технологические нужды.

2 – подача питьевой воды.

#### 4. Зонная схема водоснабжения.

Применяется при значительных перепадах рельефа местности и при больших различиях в этажности застройки.



### Расчетные расходы воды

Проект системы водоснабжения разрабатывается с учетом имеющегося водопотребления и перспективы развития. Обычно первая очередь строительства водопровода должна удовлетворять все нужды потребителей в течении 5-10 лет. Должна быть предусмотрена возможность усиления водопровода с перспективой 15-20 лет.

Для определения расчетных расходов необходимо знать количество потребителей и нормы водопотребления. Нормой водопотребления называется количество воды, потребляемое одним потребителем в единицу времени, либо количество воды, необходимое для производства единицы продукции.

### Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления

Эти нормы включают водопотребление в жилых и общественных зданиях на самые различные нужды. Зависят от климатических условий, степени благоустройства зданий, развития социальной инфраструктуры.

Нормы водопотребления определены на основе опыта эксплуатации существующих систем водоснабжения. Так, для населенных пунктов, застроенных зданиями с внутренним водопроводом, канализацией, горячим водоснабжением норма водопотребления на одного человека составляет 230-350 литров на человека в сутки. В этих пределах выбор нормы производится с учетом местных условий.

В районах с централизованным горячим водоснабжением считается, что 40% этой нормы водопотребления потребляется в виде горячей воды. Дополнительно учитываются расходы питьевой воды на промышленных предприятиях. На пример на одного рабочего в холодном цехе дополнительно учитывается 23 литров воды не человека в сутки, в горячем цехе 45 литров.

### **Нормы водопотребления на производственные нужды**

Определяются на основе технологических расчетов. Если таких расчетов нет, то по укрупненным удельным нормам расхода воды на единицу продукции. Например, на предприятиях, выпускающих синтетический каучук норма расхода воды 600-1000 м<sup>3</sup> на тонну каучука.

### **Расход воды на полив**

Принимается в зависимости от способа полива и от характера поливаемых территорий. При отсутствии точных данных о характере поливаемых территорий допускается принимать расход воды на полив 50-90 л. на человека.

### **Расход воды на нужды местной промышленности**

Разрешается принимать размером 10-20 % от расхода на хозяйственно-питьевые нужды.

### **Расход воды на пожаротушение**

Противопожарный водопровод, как правило, объединяется с технологическим, либо с хозяйственно-питьевым. Наружное пожаротушение зданий осуществляется через пожарные гидранты, установленные в колодцах водопроводной сети.

Расчетное количество одновременных пожаров в городе назначается в зависимости от количества жителей. Так, при числе жителей от 50 до 100 тысяч человек учитываются два одновременных пожара. В это число пожаров могут входить пожары в жилых зданиях и промышленных предприятиях. Выбирается наихудший вариант. В жилых зданиях расход на один пожар назначается в зависимости от этажности. При одно-двух этажной застройке назначается 25 литров в секунду. Три и более этажей 35 литров. Таблица 5 СНиП 2.04.02-84.

Расход на пожаротушение промышленных предприятий назначается в соответствии с категорией пожарной опасности производства и степенью огнестойкости конструкции здания. Таблицы 6,7,8 СНиП 2.04.02-84. Кроме этого учитывается дополнительный расход на внутреннее пожаротушение в здании.

Для населенных пунктов и отдельных зданий допускается принимать наружное противопожарное водоснабжение из специальных резервуаров, в которых хранится запас воды, необходимый для расчетного времени тушения пожаров. Это в общем случае 3 часа, а для зданий с повышенной огнестойкостью 2 часа.

Подача расчетного расхода воды на пожаротушение должна быть обеспечена при наибольшем водопотреблении на все другие нужды (в час максимального водопотребления).

## Режим водопотребления

Режим работы системы водоснабжения определяется режимом разбора воды потребителем.

Для промышленных предприятий график водопотребления можно составить с достаточно высокой точностью на основе технологических данных и данных о начале и конце рабочей смены.

Для населения составить такой график очень сложно т.к. на него влияют множество факторов бытового характера связанных с режимом жизни и трудовой деятельностью людей. На основании изучения и анализа режима водопотребления существующих систем водоснабжения получены вероятные графики водопотребления населения для городов с различной численностью.

Режим водопотребления города характеризуется коэффициентом часовой неравномерности.

$$K_{\text{час max}} = q_{\text{час max}} / q_{\text{час средн}}$$
$$K_{\text{час min}} = q_{\text{час min}} / q_{\text{час средн}}$$

В течение расчетного часа также имеют место колебания расходов. Однако, учет этих колебаний весьма сложен и не вносит существенных уточнений в расчеты. Поэтому в реальных инженерных расчетах принято считать в пределах расчетного часа водопотребление равномерным.

$$q_{\text{сек}} = \frac{q_{\text{час}} \cdot 1000}{3600}$$

## Режим водопотребления города

Расчетные расходы воды населением в сутки наибольшего водопотребления определяется:

$$q_{\text{сут max}}^{X-II} = \frac{K_{\text{сут max}} \sum (q_{\text{ж}} N_{\text{ж}})}{1000} \alpha$$

где  $K_{\text{сут max}}$  – коэффициент суточной неравномерности (1,1-1,3).

$N_{\text{ж}}$  – количество жителей.

$q_{\text{ж}}$  – норма водопотребления на одного жителя.

$\alpha$  – коэффициент, принимаемый 0,6 при открытой системе водоснабжения.

Определяется максимальный коэффициент часовой неравномерности.

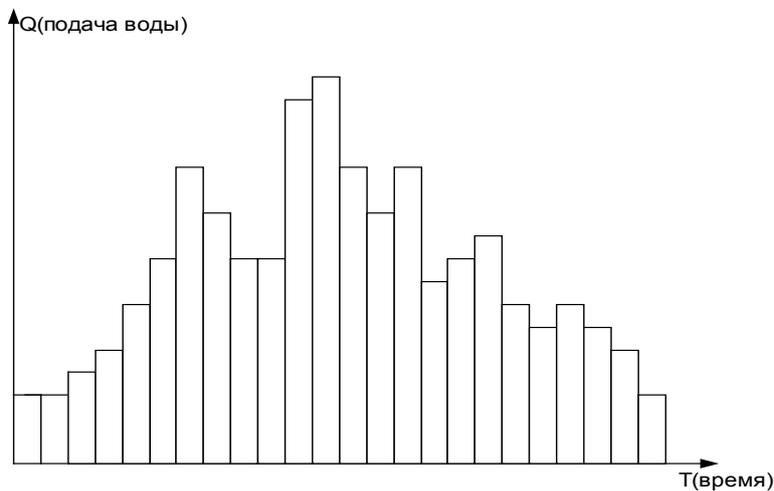
$$K_{\text{час min}} = \alpha_{\text{min}} \beta_{\text{max}}$$
$$K_{\text{час min}} = \alpha_{\text{min}} \beta_{\text{min}}$$

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий (1,2-1,4).

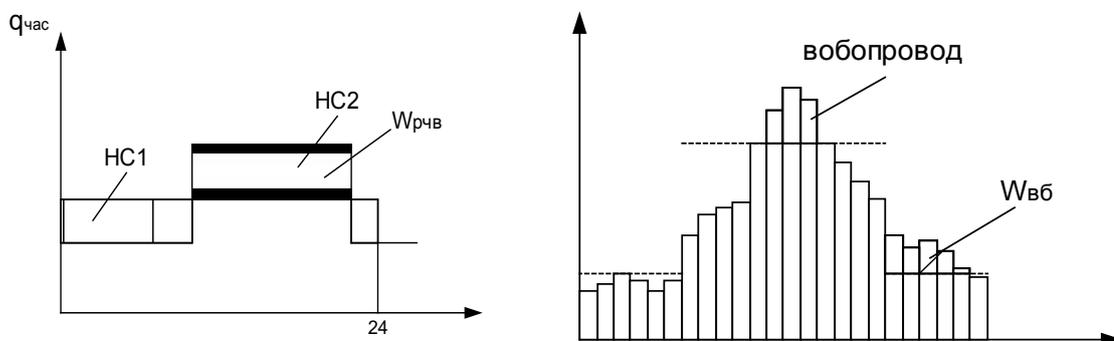
$\beta$  – коэффициент, учитывающий количество жителей.

По рекомендациям нормативной литературы назначается график суточного водопотребления населением и графики водопотребления промышленными предприятиями.

Все расчеты сводятся в таблицу водопотребления и строится предварительный график водопотребления (без полива).



### Взаимосвязь работы некоторых сооружений водоснабжения



$$W_{рчв} + W_{вб} = \text{const}$$

где  $W_{рчв}$ - объем резервуара чистой воды;

$W_{вб}$ - минимальный объем водонапорного бака

Манипулируя режимом работы НС мы можем изменять значения  $W_{вб}$  и  $W_{рчв}$ .

При назначении режима работы НС-II следует стремиться к минимизации  $W_{вб}$ , хотя это ведет к увеличению  $W_{рчв}$ , но по экономическим соображениям это целесообразно, т.е. выгодно.

Полный объем водонапорного бака определяется как сумма регулирующего объема  $W_{рег}$ , определенного на основе анализа графика водопотребления и НС-II (таблица 2) и пожарного запаса воды  $W_{пож}$ .

$$W_{вб} = W_{рег} + W_{пож}$$

Пожарный запас должен быть достаточен для тушения рассчитанного количества пожара с расчетной интенсивностью (по СНиП) в течение 10 минут, считается что 10 минут – время достаточное для сообщения на НС-II и включения пожарного насоса.

Подбирается стандартный бак.

## Проектирование водопроводной сети

Водопроводные сети составляют примерно 2/3 от общей стоимости системы водоснабжения, поэтому особое внимание всегда уделяется поиску оптимальных вариантов трассировки и способов прокладки сети.

Водопроводная сеть должна обеспечивать бесперебойную подачу воды всем потребителям с необходимыми напорами и расчетными расходами.

По характеру своей работы различают:

- магистральная сеть
- разводящая сеть (распределительная)

Магистральная сеть используется для подачи основного объема воды от источника к наиболее крупным потребителям (и удаленным).

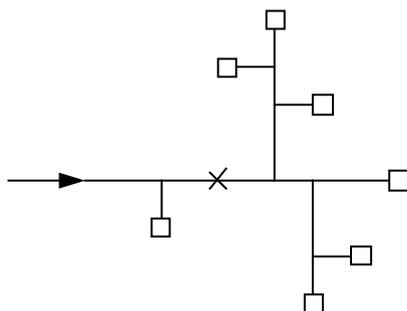
К разводящей сети относят внутриквартальные трубопроводы и вводы в здание.

Гидравлический расчет обычно производится только для магистральных сетей.

### Типы сетей

По своему начертанию различают:

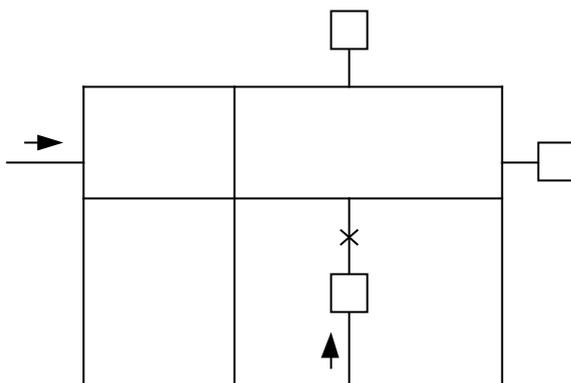
1. *Тупиковые сети* – представляют собой систему несвязанных между собой магистралей. Это самая дешевая схема водоснабжения, так как минимум погонаж труб, но такая схема крайне не надежна, так как любая авария приводит к прекращению водоснабжения одного, а чаще нескольких потребителей.



Тупиковые линии разрешается устраивать:

- 1) при подаче воды на технологические нужды, если допустимы перерывы в подаче воды на время ликвидации аварии.
- 2) При подаче воды на хозяйственно-питьевые нужды при диаметре труб не менее 100 мм.
- 3) Для подачи на хозяйственно-питьевые или противопожарные нужды независимо от расхода, если длина тупикового ответвления не более 200 м.

2. *Кольцевые сети* – образуют целый ряд замкнутых контуров или колец. Это самая надежная схема.



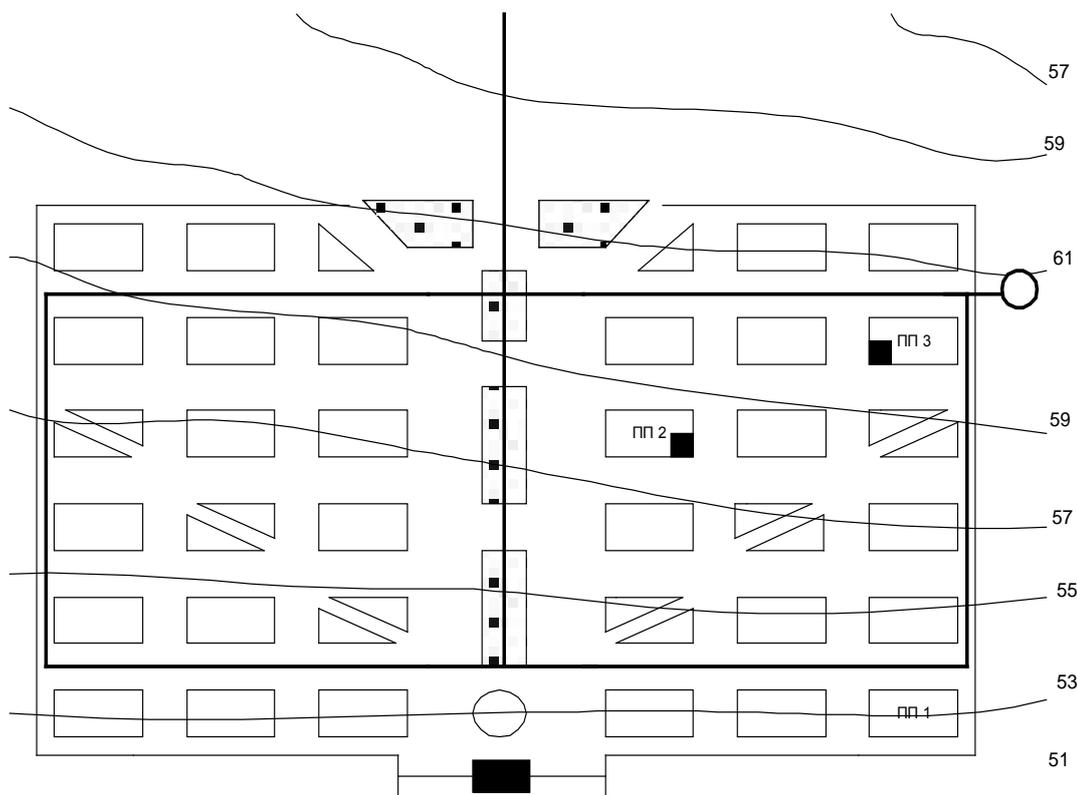
В этом случае аварийное отключение любого участка кольцевой сети не приводит к прекращению водоснабжения всех потребителей.

Кольцевые сети дороже, так как существенно повышен погонаж труб, хотя несколько уменьшен диаметр отдельных линий за счет перераспределения потоков.

### Основные правила трассировки сети.

1. Главные магистральные линии необходимо направлять от точки питания сети к наиболее крупным потребителям и водонапорной башне (ВБ).
2. Число таких магистральных линий должно быть не менее двух, для обеспечения надежности и взаимозаменяемости. Расстояние между магистралями 400-600 м.
3. Для возможности перераспределения потоков между магистралями через 600-800 метров предусмотрены перемычки.
4. Магистральная сеть должна по возможности охватывать всю площадь города.
5. Водопроводные линии располагают вдоль проездов и по обочинам дорог, по возможности избегая асфальтовых и бетонных покрытий.
6. Пересечение железнодорожных путей производится под прямым углом и за пределами стрелочных переводов.
7. Магистральные линии, идущие вдоль путей располагают на расстоянии 15-20 м от ближайшего пути с учетом развития станций.
8. В междупутьях могут прокладываться только линии для водоснабжения железнодорожного хозяйства.

Водонапорные башни размещаются в самой высокой точке вблизи от крупного неравномерно работающего предприятия.



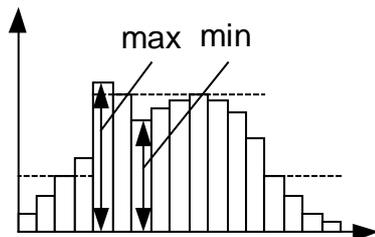
## Расчетные случаи работы системы водоснабжения

Под расчетными случаями работы понимают возможные сочетания отбора воды потребителями и подачи воды НС, при которых имеют место наибольшие нагрузки на отдельные сооружения. Водопроводная сеть рассчитывается на следующие расчетные случаи:

1. Максимальный часовой расход в сутки максимального водопотребления – наибольшая нагрузка на трубопроводы. По этому расчетному случаю назначают диаметр трубопроводов и высоту водонапорной башни.

2. Минимальный часовой расход в сутки максимального водопотребления.

В этот час происходит заполнение бака башни. Имеют место максимальные напоры в сети. По этому расчетному случаю назначают напор насоса.



3. Максимальный часовой расход, в сутки максимального водопотребления плюс расчетный час расхода на пожаротушение. По этому расчетному случаю проверяется ранее подобранный диаметр труб и определяется требуемый напор в режиме пожаротушения.

Различают две стадии тушения пожара:

- в течение первых 10 минут расходуется пожарный запас в баке, остальное время работает пожарный насос.

4. Выключение одного участка кольцевой магистральной водопроводной сети. При этом разрешается водопотребление всего города уменьшить на 30%, а водопотребление в отдельных неблагоприятно расположенных узлах на 75% (в 4 раза).

По результатам этого расчета могут изменяться диаметры, может изменяться вся топология (схема) водопроводной сети.

В курсовом проекте предусмотрено аварийное отключение одного ремонтного участка на водоводе.

*Все расчетные случаи рассматриваются в рамках одной ступени работы НС-2*

## Расчет водопроводной сети

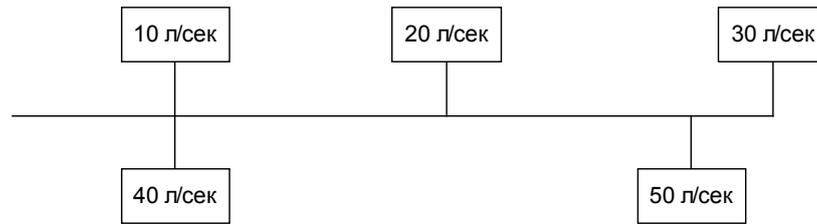
### Подготовка расчетной схемы

Расчетная схема – это упрощенная, но максимально приближенная к действительности схема разбора воды из сети в отдельные расчетные моменты ее работы.

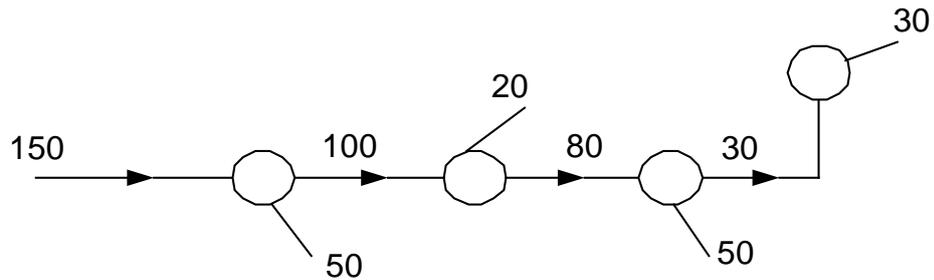
1. узел – точка отбора воды из сети;
2. расчетный участок – участок, ограниченный двумя узлами.

Если число точек водоразбора невелико и величина разбора вполне определены, то расчетная схема соответствует действительной схеме отбора воды из сети. Например на промышленных предприятиях.

### План



### Расчетная схема



Если число точек отбора воды из магистральной сети велико и в каждой точке незначительный и часто не вполне определенный расход, который сильно колеблется во времени, то в этих случаях действующую картину отбора воды из сети заменяют упрощенной условной схемой. При этом считается:

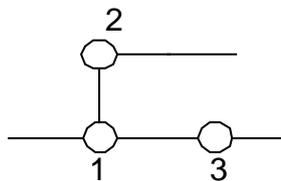
1. Что вода разбирается по всей длине сети равномерно.
2. Этот равномерно распределенный расход сосредотачивается в узлах водопроводной сети.

Такой прием используется при учете хозяйственно – питьевого водопотребления в сетях коммунального водоснабжения.

$$q_{\text{нум}}^{\text{уд}} = \frac{q^{\text{хоз-питьев}} + q^{\text{полив}}}{\sum l_{\text{прив}}}$$

$$q_{\text{узел}} = q_{\text{соср}} + q_{\text{нум}}$$

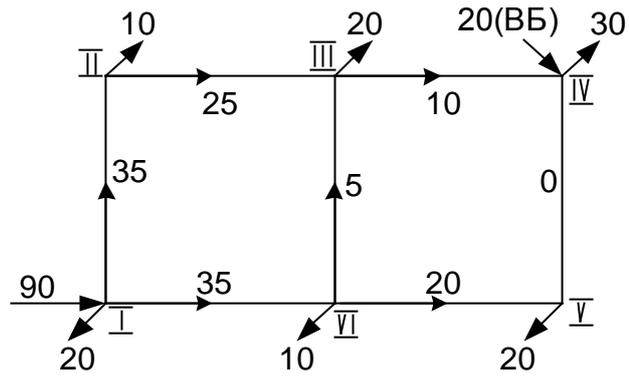
$$q_{\text{нум}} = q_{\text{нум}}^{\text{уд}} \times \frac{1}{2} \times \sum l_{\text{прилег.уч-ков}}$$



Расчет выполняется отдельно на час максимального и на час минимального водопотребления.

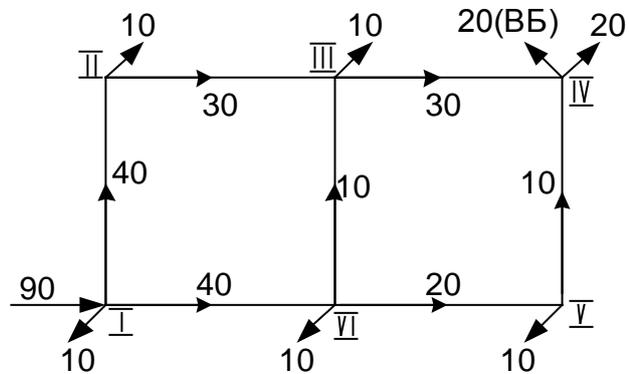
$$q_{\text{нум}}^1 = q_{\text{нум}}^{\text{уд}} \times \frac{1}{2} \times (l_{1-2} + l_{1-3})$$

Составление расчетной схемы для первого расчетного случая



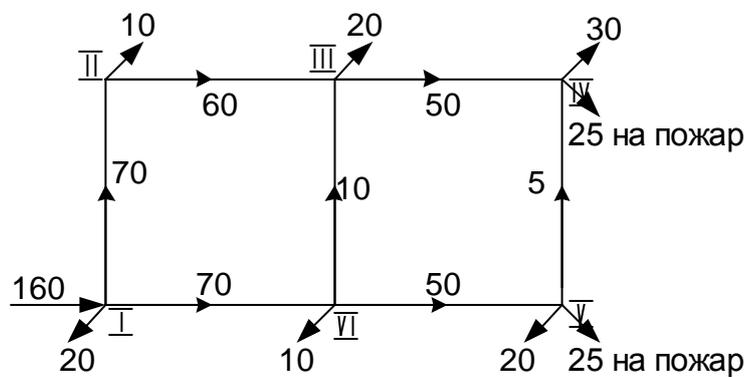
$$\Sigma q_{\text{узловых}} = 110 \text{ л/с}$$

Подготовка расчетной схемы для второго расчетного случая



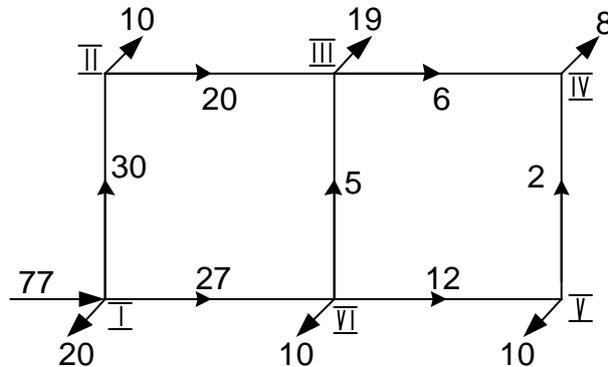
$$\Sigma q_{\text{узловых}} = 70 \text{ л/с}$$

Подготовка расчетной схемы для третьего расчетного случая (вторая стадия тушения пожара в час максимального водопотребления)



## Подготовка расчетной схемы для четвертого расчетного случая

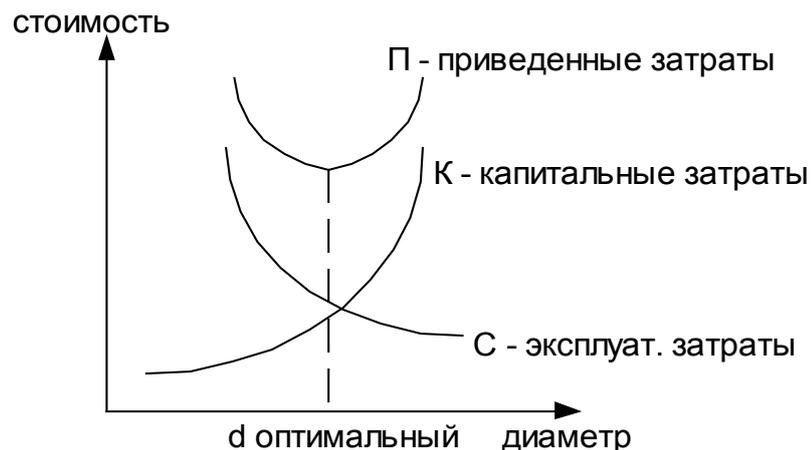
Рассматриваем аварию на водоводе. Топология кольцевой магистральной сети та же самая. СНИП разрешает на время ликвидации аварии снижать общее водопотребление на 30%, а в отдельных узлах на 75%. Новую картину водозабора составляют на основе картины водоразбора для первого случая.



Итого водопотребление  $110 \times 0,7 = 77$  л/с

## Назначение диаметра на расчетных участках водопроводной сети

Диаметр определяется по расчетному расходу воды на участке. По условиям эксплуатации скорость не должна превышать 2,5 – 3 м/с, то есть любые скорости от минимальной до 2,5 м/с могут быть приемлемыми, и вопрос назначения диаметра при приемлемых скоростях это вопрос экономический. При увеличении диаметра возрастают капитальные затраты, но снижаются скорости, следовательно уменьшаются потери напора и как следствие уменьшаются расходы электроэнергии на перекачку жидкости т.е. снижаются эксплуатационные затраты.



$$П = EK + С$$

Где  $E$  – коэффициент экономической эффективности =  $1/t$

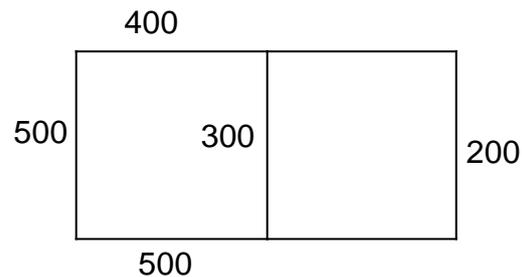
$t$  – время окупаемости проекта

Приблизительно величина приведенных затрат характеризуется экономическим фактором ( $\mathcal{E}$ ), который может быть вычислен по таблицам Шевелева. Чаще пользуются таблицами, в которых для значений  $\mathcal{E} = 0,5; 0,75$  и  $1$  даны предельные экономические скорости и диаметр.

Приблизительно считают: ЮГ страны  $\Theta = 1$ ; центральная часть -  $\Theta = 0,75$ ; Сибирь, Дальний восток, север -  $\Theta = 0,5$ .

При назначении диаметров

1. В пределах каждого кольца для обеспечения надежности при авариях диаметры должны отличаться не более, чем на 2 размера по сортаменту

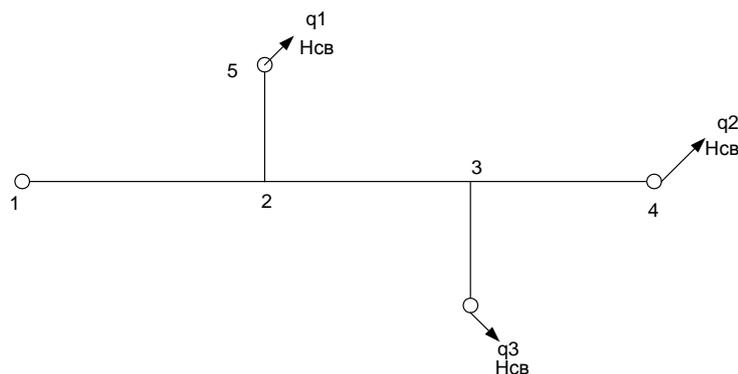


2. Во всей сети количество используемых диаметров должно быть не более трех – четырех.

### Гидравлический расчет

#### Гидравлический расчет разветвленных тупиковых сетей.

Возможны два варианта постановки задачи расчета:  
по заданным свободным напорам в диктующей точке и известным узловым расходам воды. Определить диаметр труб и необходимый напор в начале сети (напор насоса, высота башни).



- 1) Выбрана расчетная ветвь к диктующей точке
- 2) На участках этой ветви определяется расчетные расходы

$$Q_{1-2} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q_{2-3} = q_2 + q_3$$

$$Q_{3-4} = q_2$$

3) По этим расходам с учетом экономического фактора назначается экономичный диаметр труб и определяются потери напора на участках.

- 4) определяется требуемый напор в начальной точке.

$$H_1 = (Z_4 - Z_1) + H_{св}^2 + \sum h_{1-2-3-4}$$

По заданным напорам в начале и конце расчетного участка подобрать диаметр трубы (не экономичный).

$$H_2 = H_1 + (Z_2 - Z_1) - \sum h_{1-2}$$

$$h_{2-5}^{don} = H_2 - H_{ce}^1 + (Z_2 - Z_5)$$

$$i_{don} = \frac{h_{2-5}^{don}}{l_{2-5}} \rightarrow d, i_{расч}$$

Подбирается диаметр трубы, который при пропуске расчетного расхода  $q$  имеет гидравлический уклон менее  $j_{доп}$ .

Определяются действительный напор в точке 5.

$$H_5 = H_2 + (Z_5 - Z_2) - i_{расч} \cdot l_{2-5}$$

Первый вариант постановки задачи имеет место при расчете тупиковых линий к наиболее удаленным и крупным потребителям. Второй вариант постановки задачи имеет место при расчете ответвлений (сравнительно коротких тупиковых ответвлений)

### Гидравлический расчет кольцевой сети

В кольцевой сети при заданной ее конфигурации и известных узловых расходах (отборах воды из сети) можно наметить бесконечное количество вариантов распределения потоков воды, удовлетворяющих заданному водопотреблению. Каждому из этих вариантов потокораспределения будут соответствовать определенные диаметры труб, а изменения диаметра хотя бы одного участка повлечет за собой изменения расходов на всех участках сети, таким образом задача сводится к совместному определению и расходов и диаметров на всех участках сети.

Общее математическое решение задачи сводится к решению системы уравнений в которой число неизвестных в 2 раза больше числа участков. В систему уравнений входят уравнения двух типов:

1. Уравнение баланса потерь напора в кольцах по второму закону Кирхгоффа.

$$\sum Q_{узн} = 0$$

2. Уравнение по первому закону Кирхгоффа .

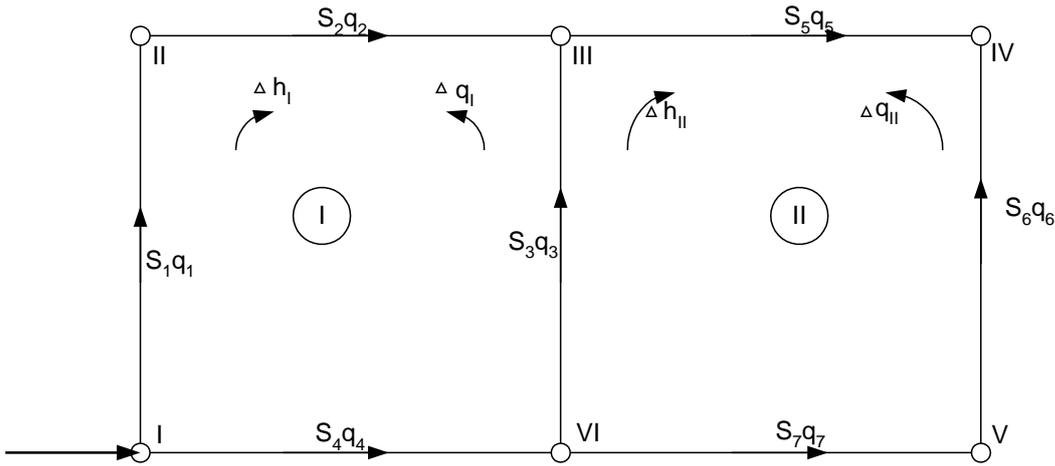
$$\sum h_{колец} = 0$$

Число уравнений первого типа равно числу узлов. Число уравнений второго типа равно числу колец, что в сумме меньше чем удвоенное число участков.

$$n_{узн} + n_{колец} < 2n_{участков}$$

Такая система уравнений не имеет решения в общем виде (является неопределенной) и для ее решения нужно задаться дополнительными условиями: либо расходами, либо диаметрами (т.е. уменьшить количество неизвестных в 2 раза). В практических расчетах поступают следующим образом: обоснованно производят начальное потокораспределение в кольцах сети с выполнением первого закона Кирхгоффа ( $\sum Q_{узн} = 0$ ). По полученным расходам на участках назначают их экономичные диаметры, затем производят перераспределение потоков при известных диаметрах с тем, чтобы добиться выполнения также и второго закона Кирхгоффа ( $\sum h_{колец} = 0$ ). Этот поверочный расчет называется увязкой сети.

## Увязка сети



$$h = AIQ^2 = SQ^2$$

где S- гидравлическая характеристика участка  
 A- гидравлическая характеристика трубы  
 l- длина трубы

Конечно, при начальном потокораспределении не удалось добиться выполнения второго закона Кирхгоффа, и сумма потерь напора в кольцах равна не 0, а какому-то значению  $\Delta h$ .

$$\Delta h_I = s_1q_1^2 + s_2q_2^2 - s_4q_4^2 - s_3q_3^2$$

«-» против часовой стрелки

«+» по часовой стрелке

$$\Delta h_{II} = s_3q_3^2 + s_5q_5^2 - s_7q_7^2 - s_6q_6^2$$

чтобы добиться выполнения второго закона Кирхгоффа нужно ввести поправочные расходы  $\Delta q$  в кольцах в направлении противоположном направлению невязки, т.е. где надо уменьшить и увеличить.

$$S_1(q_1 - \Delta q_I)^2 + S_2(q_2 - \Delta q_I)^2 - S_4(q_4 + \Delta q_I)^2 - S_3(q_3 + \Delta q_I - \Delta q_{II})^2 = 0$$

Для второго кольца

$$S_3(q_3 - \Delta q_{II} + \Delta q_I)^2 + S_5(q_5 - \Delta q_{II})^2 - S_7(q_7 + \Delta q_{II})^2 - S_6(q_6 + \Delta q_{II})^2 = 0$$

Эта система уравнений с двумя неизвестными  $\Delta q_I$  и  $\Delta q_{II}$  которая имеет в принципе математическое решение, которое достаточно сложное. В реальных инженерных расчетах каждое кольцо рассматривается самостоятельно, независимо от примыкающих колец, т.е. из каждого уравнения выбрасываются члены, содержащие  $\Delta q$  примыкающих колец, выбрасываются члены, содержащие  $\Delta q^2$ , как имеющие сравнительно очень малую величину.

В результате решения этой системы при таких допущениях получим:

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \sum (S \cdot q)}$$

где  $\Delta q$  - поправочный расход для данного кольца;

$\Delta h$  – невязка, полученная в результате гидравлического расчета при начальном потокораспределении в данном кольце.

$S$  – гидравлические характеристики

$q$  – расходы по участкам при первоначальном потокораспределении.

Так как математическая задача решена очень грубо, после учета поправочного расхода  $\Delta q$  второй закон Кирхгофа выполнен не будет, и в кольце все равно останется невязка, но конечно, меньше предыдущей.

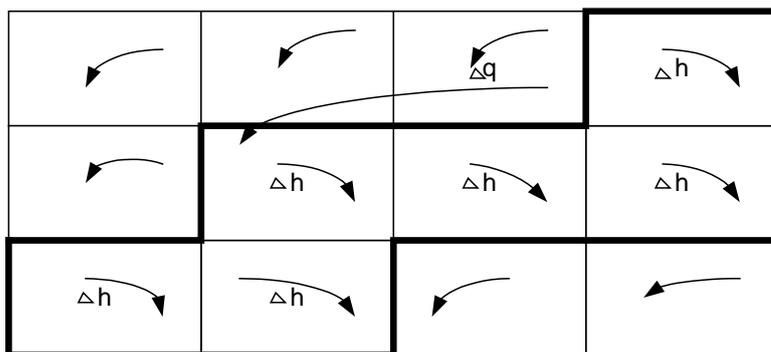
В инженерных расчетах принято считать допустимой невязку в кольцах 0,5 м. Если полученные невязки больше 0,5, цикл расчетов повторяется несколько раз, пока не доберемся до 0,5 м.

### Увязка по методу Лобачева-Кросса.

Все кольца рассматриваются независимыми друг от друга. Поправочные расходы  $\Delta q$  вводятся одновременно во все кольца. Расчет ведется в табличной форме. Это самый простой метод.

### Увязка по методу Андрияшева.

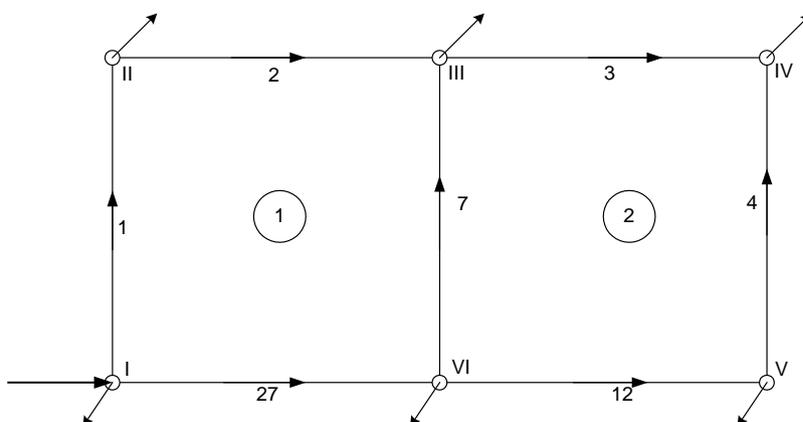
На кольцевой сети выделяются контуры, состоящие из нескольких колец, имеющих  $\Delta q$  одного знака и увязочные расходы пропускаются по этим контурам.



Положительные стороны: задача может быть решена быстрее.

Отрицательные: требуется высокая квалификация расчетчика, чтобы удачно выбрать эти увязочные контуры. Этот метод трудно формализуем и не используется в компьютерах.

### Подготовка к расчету сети на ЭВМ.



## Определение основных параметров водонапорной башни и насоса

### 1. Башня в начале сети

При графическом решении этой задачи строится профиль, включающий в себя следующие узлы: 1) точка питания, 2) точка в которой подсоединена водонапорная башня, 3) точка встречи потоков по результатам гидравлического расчета, 4) точка сети с самой высокой геодезической отметкой, 5) точка пожара, 6) точка встречи потоков в режиме пожаротушения.

Выбираем масштаб самостоятельно и строим профиль по земле.

№ участка	Левое кольцо	Правое кольцо	Диаметр, мм	Длина, м	Тип труб	Расход, л/с
1	0	1				
2	0	1				
3	0	2				
4	2	0				

Начинаем с расчета в час максимального водопотребления. Диктующая точка может оказаться либо в точке встречи потоков (в этом расчетном случае) либо в самой высокой точке местности. Проверяем обе из них.

$$H_{св} = 10 + 4(n-1),$$

где  $n$  – число этажей

Для отметки определения дна бака

$$Z_{ДБ} = Z_A + H_{св}^A + \sum h_{ВБ-А}^{час\ max}$$

где  $Z_A$  - отметка земли в диктующей точке, м;

$\sum h_{ВБ-А}^{час\ max}$  - сумма потерь напора по результатам гидравлического расчета на час максимального водопотребления в участках от водонапорной башни до диктующей точки А (по первому расчетному случаю).

Отметка земли в точке размещения водонапорного бака определяется по формуле

$$Z_{ВБ} = Z_{ДБ} + h_б$$

Определяется напор насоса НС-2 необходимый для заполнения бака водонапорной башни

$$H_{нас} = (Z_{ВБ} - Z_{мин}^{PQB}) + h_{ег}^{мин}$$

где  $h_{ВБ}$  – потери напора на водоводе

При пожаре на всех точках сети напор должен быть не менее 10 м.

По результатам расчета сети в режиме пожаротушения определяется требуемый напор пожарного насоса, м

$$H_{нас}^{пож} = (Z_A - Z_{мин}^{PQB}) + 10 + \sum h_{НС-А}$$

## Схема с контррезервуаром

Отметка дна бака определяется

$$Z_{ДБ} = Z_A + H_{св}^A + \sum h_{ВБ-А}^{час\ max}$$

Напор насоса НС-2, необходимый для заполнения бака водой( на час минимального водопотребления)

$$H_{нас} = (Z_{ВБ} - Z_{min}^{PЧБ}) + H_{св}^A + \sum h_{НС-Б}$$

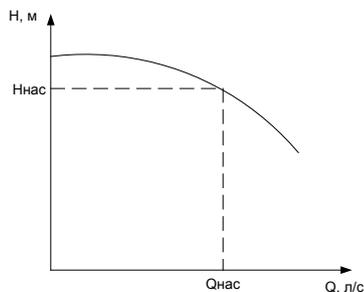
Требуемый напор пожарного насоса, м

$$H_{нас}^{пож} = (Z_B - Z_{min}^{PЧБ}) + 10 + \sum h_{НС-Б}$$

А – диктующая точка на час тах.

Б – диктующая точка при пожаре.

По полученному значению  $H_{нас}$  и  $Q$  подбираем марку насоса.



## Расчет переключений на водоводе

При аварийном выключении аварийного одного ремонтного участка на одной из ниток водовода должна обеспечиваться работа водопроводной сети в расчетном аварийном режиме. (общее снижение подачи на 30%, в отдельных узлах на 75%).

$$h_{авар.}^{водовода} = A \cdot l \cdot Q_{ав}^2 + A \cdot (L - l) \cdot \left(\frac{Q_{ав.}}{2}\right)^2$$

где  $L$  – общая длина водовода, м;

$l$  – длина отключенного ремонтного участка;

$A$  – гидравлическая характеристика трубы.

$l$  – неизвестная и находится по формуле

$$l = \frac{4h_{авар.}^{водов.} - A \cdot L \cdot Q_{ав}^2}{3 \cdot A \cdot Q_{ав}^2}$$

Это предельная максимальная длина ремонтного участка, который может быть отключен при аварии.

Конкретные длины ремонтных участков назначаются с учетом реальной длины водовода и его профиля. Желательно, чтобы в пределах одного ремонтного участка был минимум переломов профиля.

### Устройство водопроводной сети

Водопроводные сети монтируются из труб заводского изготовителя. Соединение производится на месте. К водопроводным линиям предъявляются следующие требования:

1. Они должны быть прочными и выдержать внутренние и внешние нагрузки.
2. Должны быть герметичными.
3. Иметь гладкую внутреннюю поверхность, для уменьшения потерь напора.
4. Долговечными.
5. Должны обеспечивать возможность легкого, простого и быстрого соединения труб на месте.

Эти требования учитываются при выборе материала и класса труб.

### Чугунные трубы

Выпускаются диаметром 50-1200 мм. По расчетному давлению делятся на три класса ЛА, А и Б. С толщиной стенок у разных диаметров 6-30 мм. Рассчитаны на рабочее давление 15-35 атм. Для предохранения от коррозии еще на заводе трубы покрывают нефтяным битумом изнутри и снаружи. Наиболее уязвимое место чугунных труб – в стыке. Их прочность должна соответствовать прочности самих труб. Кроме того, стыки должны обладать эластичностью, без нарушения герметичности.

При заделке стыка вначале производится его конопатка на 2/3 длины жгутом смоленой или битуминизированной пряжи.

Этот слой обеспечивает гидроизоляцию стыка.

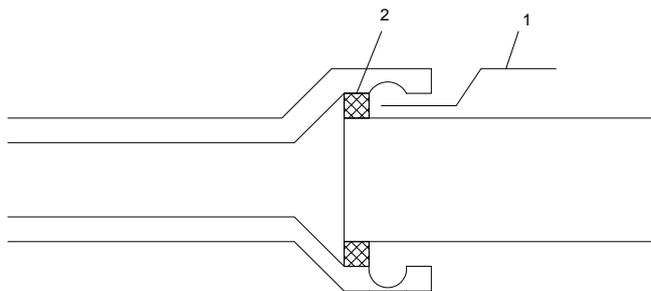


Рисунок –Стык с битуминизированной пряжью

1- Конопатка; 2-битуминизированная пряжья

В остальную часть раструба вводится наполнитель, который обеспечивает прочность стыка. В качестве наполнителя используют асбестоцемент, свинец, сернистые сплавы, 70 % портландцемента и 30% распушенного асбестового волокна + вода. Раструбные щели заполняются этим раствором слоями толщиной не менее 10 мм, с последовательной зачеканкой

каждого слоя. После изготовления этот стык 1-2 суток выдерживаются под влажным покрытием и только после этого можно давать нагрузку.

При аварийно-восстановительных работах в качестве заполнителя используется свинец. Стык прочен и эластичен.

Для заделки стыков также используются резиновые самоуплотняющиеся кольца.

Под действием гидростатического давления воды в трубе лепестки кольца прижимаются к поверхности трубы и обеспечивают прочность.

Для присоединения арматуры используются фланцевые соединения, герметичность которых обеспечивается резиновыми прокладками.

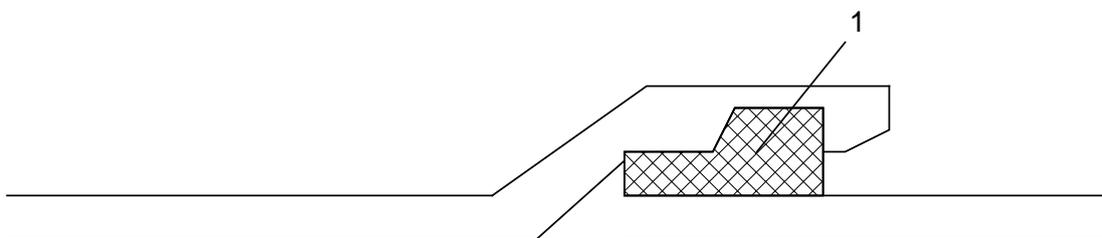


Рисунок – Стыковое соединение на резиновых уплотнителях  
1- Резиновый уплотнитель

Чугунные трубы характеризуются сравнительно малой коррозионностью, повышенной долговечностью.

Недостатки: большой расход металла, хрупкость, сложность контроля за качеством стыков в процессе монтажа.

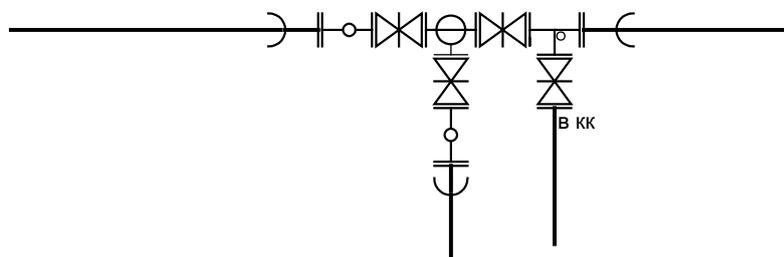


Рисунок- Узел водопроводной сети в чугунном исполнении

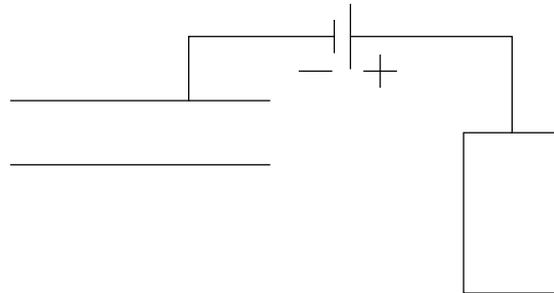
## Стальные трубы

Промышленность выпускает электросварные трубы, диаметром от 25 до 1400 мм, и водогазопроводные, диаметром 6-150 мм. Допускаемое давление до 25 атм. Хорошо выдерживают динамические нагрузки и деформации, поэтому рекомендуются к использованию в местах, подверженных динамическим нагрузкам: 1) под путями; 2) в макропористых и просадочных грунтах 3) в сейсмических районах; 4) в дюкерах и всасывающих линиях насосных станций. Соединение труб производится сваркой, обычно поворотным швом.

Для защиты от коррозии наружную поверхность труб покрывают битумной изоляцией. Почвенная коррозия обуславливается разрушающим действием на металл жидких электролитов растворов солей, имеющих в грунте. Коррозионная активность почвы характеризуется ее электрическим сопротивлением. Чем меньше сопротивление, тем больше коррозионное действие грунта. По этому признаку все почвы разделяются на 5 категорий. Для каждой из них требуется

определенный тип изоляции от нормальной до весьма усиленной. Кроме битумной изоляции используются полиэтиленовые или полихлорвиниловые пленки. Трубы изолируются после опрессовки.

Также используется способ защиты труб от коррозии, основанный на электрохимической теории коррозии. По этой теории на поверхности металла, соприкасающейся с влажным грунтом, возникают гальванические пары. При этом труба является анодом, из которого токи уходят в окружающую среду, разрушая поверхность трубы. Чтобы не допустить возникновения этих токов, трубу соединяют с отрицательным полюсом источником постоянного тока, т.е. с катодом, полюс источника присоединяют к куску железа, закопанному в землю.



В грунте возникают токи от куска железа к трубе.

Для защиты от коррозии внутренней поверхности труб необходимо уменьшить содержание в воде кислорода, хлоридов и т.д. (окислителей). Внутренняя поверхность может также покрываться защитной пленкой.

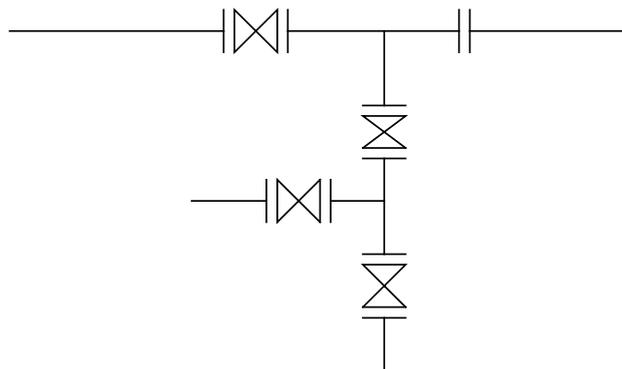


Рисунок – Узел водопроводной сети из стальных трубопроводов на фланцах

### **Пластмассовые трубы**

В водоснабжении используют трубы из полиэтилена, повышенного и пониженного (ПВП, ПНП) и из винилпласта (ВП). ПВП до 10 атм. ПНП, ВП – до 2,5 атм.

Соединение труб производится сваркой и склеиванием.

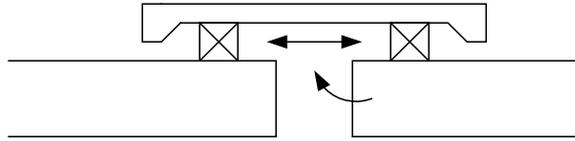
Достоинства пластмассовых труб: коррозионная стойкость, гладкая внутренняя поверхность, малая масса, эластичность, малая стоимость.

Недостатки: повышенный коэффициент линейного расширения, подверженность тепловому и световому старению.

### **Асбестоцементные трубы**

Выпускаются диаметром 50-500 мм. Маркируются ВТ -3,6,9,12. Цифрой обозначается расчетное давление в атмосферах. Изготавливаются из портландцемента и асбестового волокна. Соединение производится под давлением до 9 атмосфер включительно с помощью асбестоцементных муфт и резиновых колец.

Для ВТ-12 используют чугунные муфты.



Достоинства: малая теплопроводность, эластичный стык, повышенная коррозионная стойкость, малая масса.

Недостатки: малая сопротивляемость ударам и динамическим нагрузкам, хрупкость, сложность стыков, соединений (визуального контроля нет).

### Железобетонные трубы

Выпускаются диаметром 500-1600 мм. Выпускаются трех классов для расчетных давлений 15, 10 и 5 атмосфер.

ТН-50-1 (15 атм)

ЦТН-100-2 (10 атм)

Ц – если труба изготовлена путем центрифуги – ровная.

Последняя цифра обозначает класс трубы; второе число диаметр.

Достоинства - сравнительно дешево, коррозионная стойкость, гладкая внутренняя поверхность

Недостатки- громоздкость, не терпят ударных нагрузок (при доставке и монтаже).

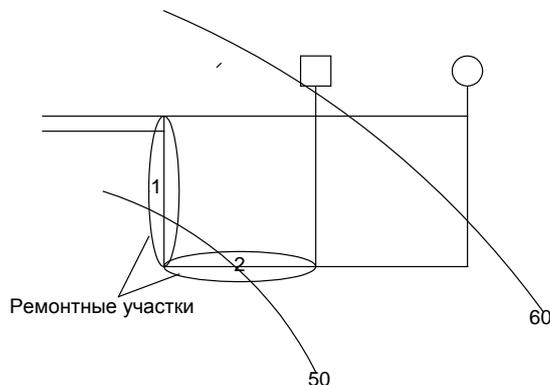
### Выбор типа труб

Выбор материала и класса прочности труб производится на основе статического расчета с учетом санитарных условий, агрессивности грунта и воды, условий работы трубопроводов, СНиП рекомендует применять преимущественно неметаллические трубы, а металлические только в особых условиях.

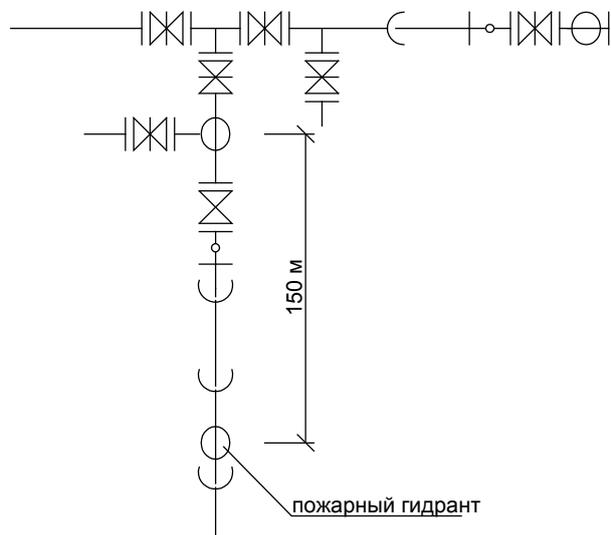
Стальные - в случаях, когда трубы подвергаются воздействию динамических нагрузок или деформации, или на особо ответственных участках (дюкеры, всасывающие линии, водоводы открытой прокладки).

Чугунные трубы могут использоваться в пределах населенных пунктов и других объектов водоснабжения. Трубы должны рассчитываться на давление воды (внутренние нагрузки), давление грунта (внешние нагрузки), временные внешние нагрузки, т.е. на все возможные нагрузки в период монтажа и эксплуатации. Внутреннее давление в трубопроводе при наиболее невыгодном режиме не должно превышать расчет рабочего давления для данного типа.

### Конструирование сети



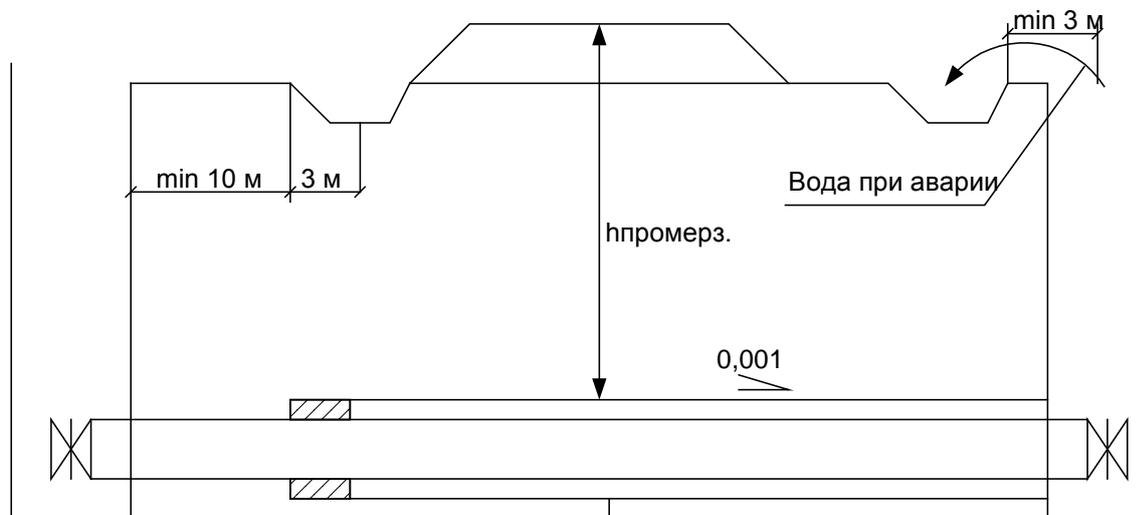
Ремонтный участок 1



### Конструктивные решения переходов через железнодорожные пути

Эти участки подвергаются воздействию динамических нагрузок, поэтому выполняются из стальных труб в футлярах.

Переход под железной дорогой – самостоятельный ремонтный участок, должны быть задвижки с той и с другой стороны путей. А также устройства для выпуска воды в нижнем колодце и устройства для выпуска воздуха в верхнем колодце. Пересечение по прямому углом



$h_{\text{промерз.}}$  - от подошвы рельса до верха футляра

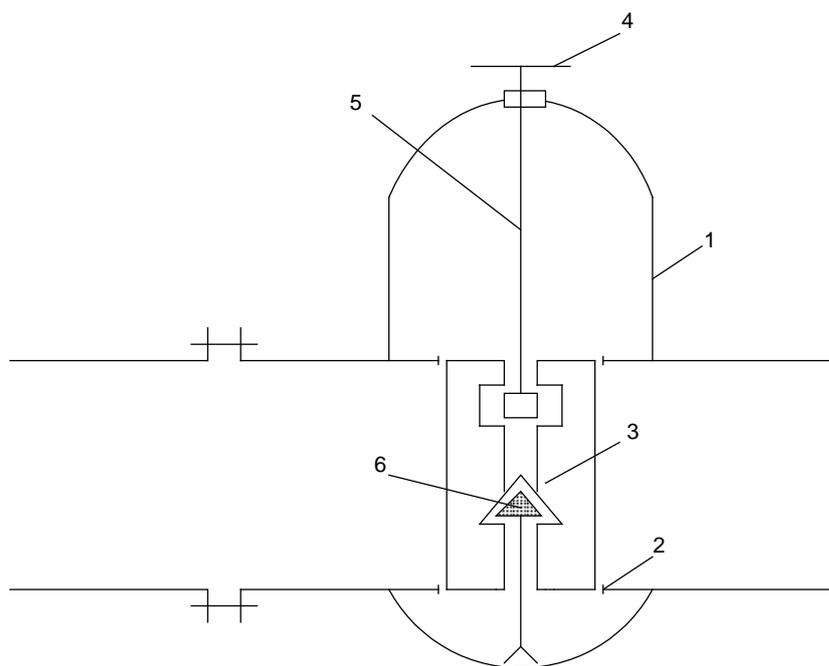
### Дюкеры

Устраиваются при пересечении рек и оврагов во избежание вымывания грунта из-под трубы, ее верх располагают на 0,5 м ниже дна реки. А на судоходных реках в пределах фарватера на 1 м ниже. Дюкер также укладывают из стальных труб с усиленной изоляцией. Число ниток не менее 2. Расстояние между нитками не менее 1,5 м в свету. При аварийном отключении одной нитки оставшиеся должны обеспечить пропуск 100% расчетного расхода. Угол наклона восходящих частей дюкера не больше 20 градусов к горизонту. По обе стороны дюкера устраиваются колодцы с переключениями, запорной арматурой и выпусками. Люки колодцев

должны быть на 0,5 м выше максимального уровня воды в реке с 5% обеспеченностью (вода поднимается раз в 20 лет).

## Арматура на водопроводной сети

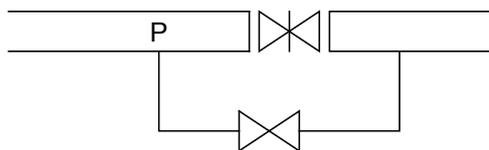
### 1. Задвижки



1. корпус;
2. бронзовый уплотнитель кольца
3. запорные диски
4. маховик
5. шпindel с резьбой
6. клин

При вращении маховика шпindel поднимается и поднимает диск, полностью освобождая сечение трубы. При опускании шпинделя диски перекрывают сечение трубы и расклиниваются клином, который упирается в нижнюю часть корпуса.

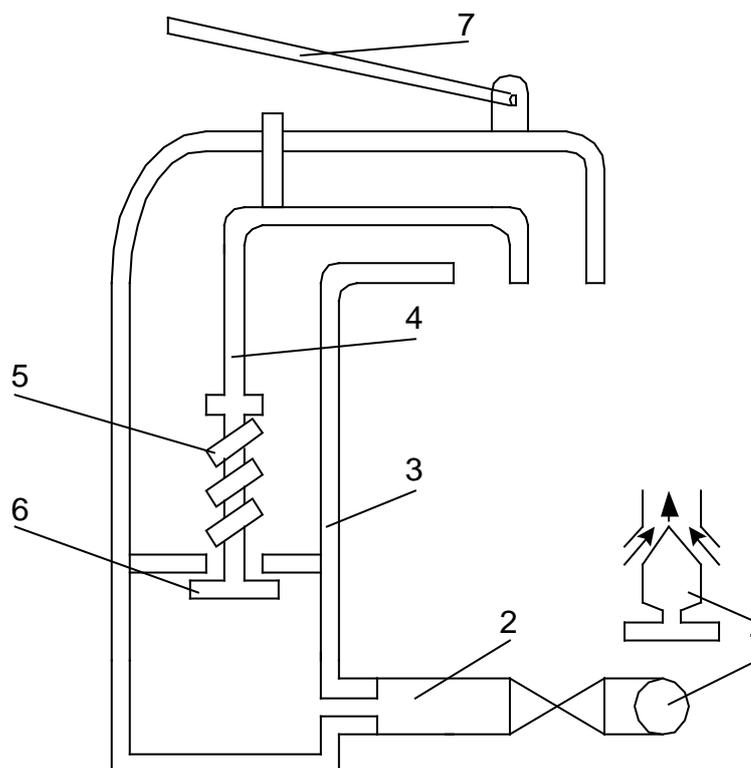
На трубах больших диаметров для обеспечения открывания задвижек устраивают байпасы – обводные линии меньшего диаметра.



Перед открыванием задвижки открывается запорное устройство на байпасе, давление до и после задвижки выравнивается и открывание ее потребует меньших физических усилий.

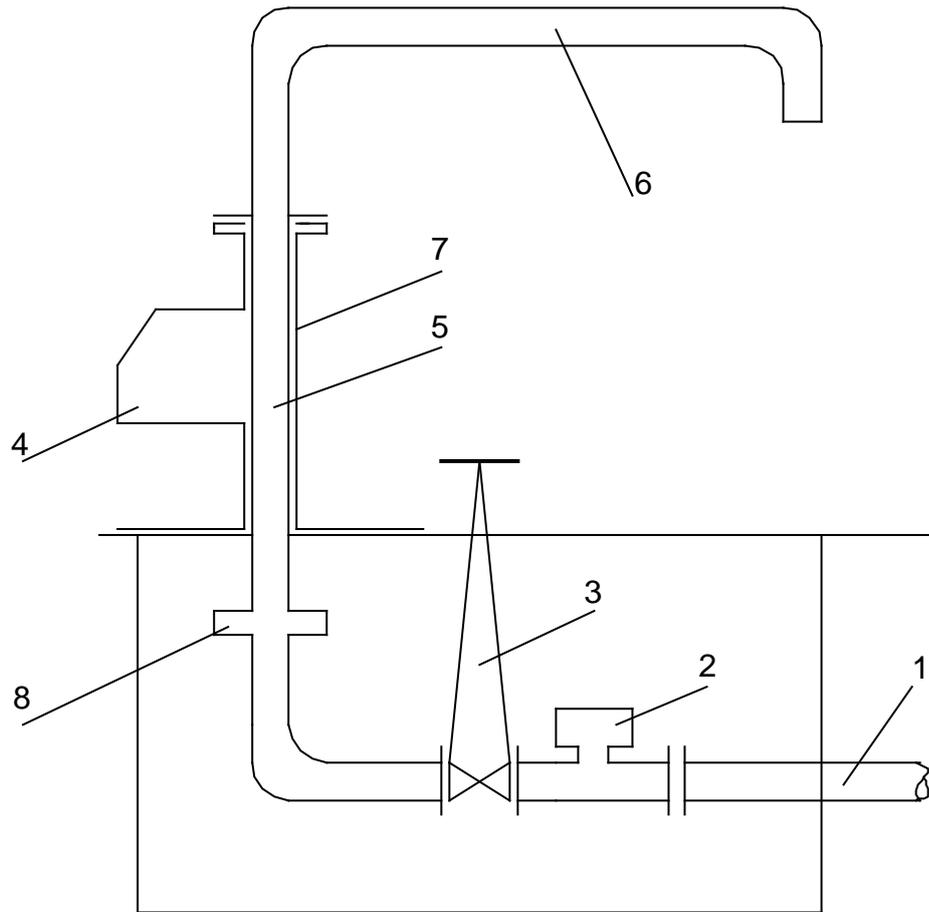
## Водоразборная арматура на сети

### 1. Водоразборная колонка



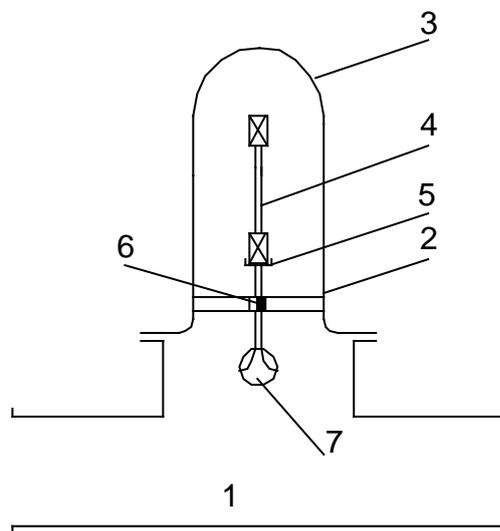
1. магистральный трубопровод в колодце
2. резиновый шланг
3. корпус
4. водоразборная трубка, в нижней части которой имеется эжектор; после выключения колонки вода из водоразборной трубки стекает в полость корпуса. При следующем включении колонки эта вода из корпуса удаляется через эжектор.
5. пружина
6. клапан
7. рычаг с толкателем

## 2. Гидроколонна для заправки паровоза



1. подводящая труба
2. противоударный воздушный колпак
3. клапан
4. печка
5. водоразборный стояк
6. наливной хобот (стояк с хоботом поворотные)
7. кожух
8. сальник

## 3. Пожарный гидрант



1. пожарная подставка на водопроводной сети (тройник повернут вверх)
2. чугунный стояк
3. крышка гидранта
4. стержень
5. стакан
6. резьбовое соединение
7. клапан шаровой

При вращении стержня 4 клапан опускается или поднимается. После окончания использования гидранта вода из чугунного стояка сливается в колодец.

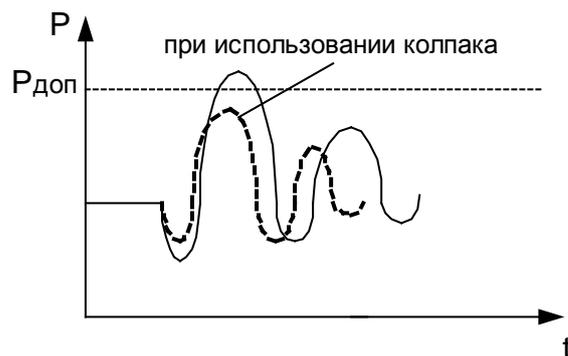
### Предохранительная арматура на сети.

Предназначена для защиты трубопровода от разрушения при гидравлических ударах. Различают 2 типа ударов:

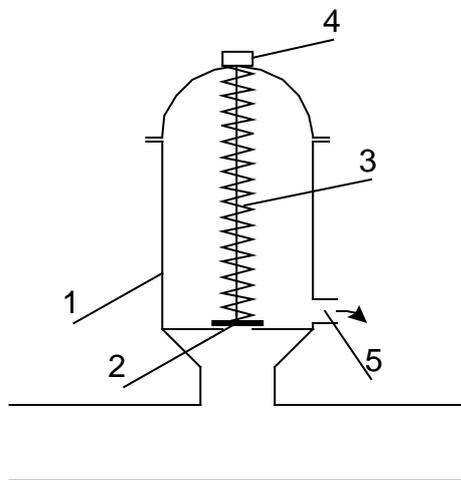
1. гидравлический удар при внезапной остановке насоса. При этом вода по инерции некоторое время продолжает движение и давление в трубопроводе после насоса резко снижается. Это первая волна снижения.

Затем вода начинает двигаться в обратном направлении, возникает 2 волна высокого давления.

2. удар от внезапного закрытия задвижки. Начинается со второй волны высокого давления.



Защитное устройство: предохранительный клапан



1. корпус
2. клапан

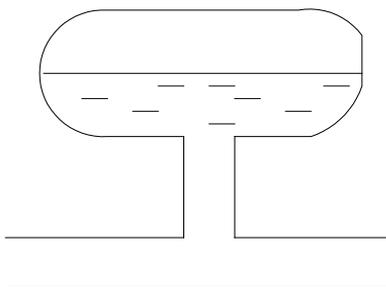
3. пружина
4. регулировочный винт
5. патрубок для сброса воды

Когда давление в трубопроводе поднимается до расчетного, под действием этого давления клапан открывается, происходит сброс воды, когда давление понижается – клапан закрывается.

Недостатки - закрытие клапана само по себе вызывает гидравлический удар в трубопроводе.

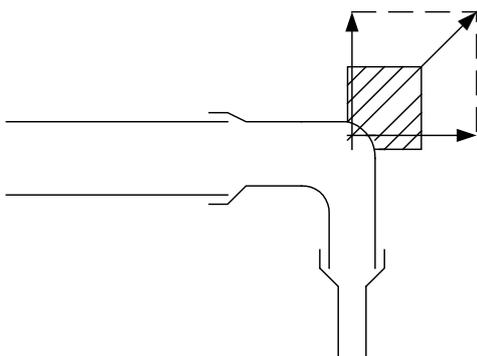
#### Воздушный колпак

Колпак частично заполнен воздухом, частично водой. При повышении давления воды в трубопроводе происходит перетекание воды в колпак и наоборот.



#### Упоры

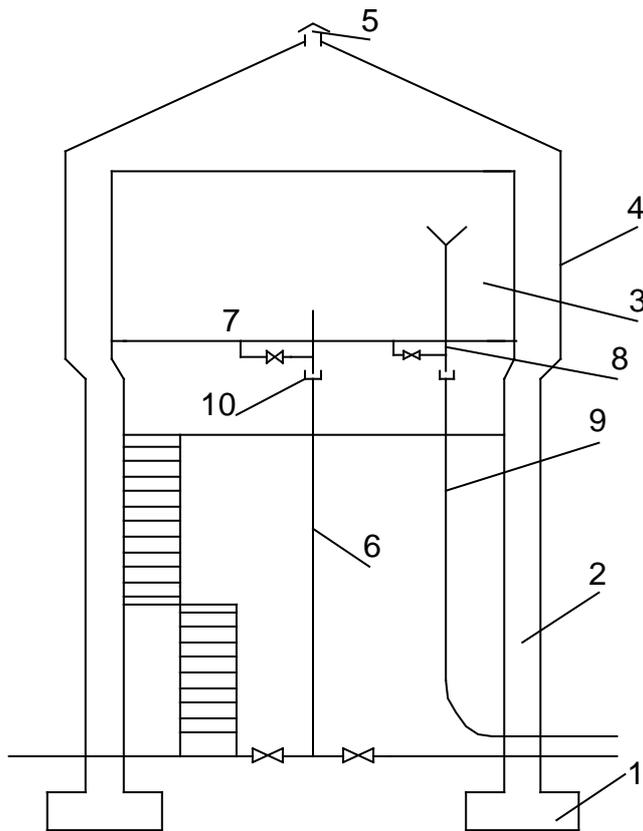
Устраиваются в местах поворота трубопровода, предназначены для продольных сил, обусловленных гидростатическим давлением. На трубопроводах, стыки которых способны воспринимать продольные нагрузки – стальные трубопроводы, упоры устраиваются при угле поворота 30% и более. На трубопроводах, стыки которых не способны принимать продольные нагрузки (раструбные соединения и муфтовые – чугунно, асбестоцементные), упоры устраиваются при угле поворота 10 градусов и более.



#### Регулирующие емкости на водопроводной сети

Обеспечивает равномерный режим работы насосов. Запасные емкости делают обычно безнапорными и используются при авариях и пожарах.

## Водонапорные башни (ВБ)

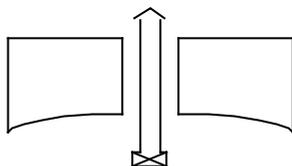


1. фундамент
2. ствол башни (кирпичный, бетонный, бутовый)
3. бак (сталь, железобетонный)
4. шатер (деревянный, бетонный)

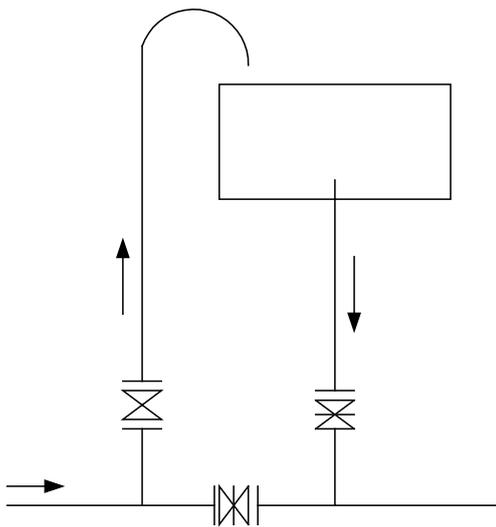
для защиты бака: зимой от переохлаждения, летом от перегрева, бывают безшатровые башни, но в них требуется непосредственное утепление бака

5. вентиляция
6. трубопровод, по которому происходит подача воды в бак и разбор воды из бака (может быть одна или две трубы)
7. труба для разбора пожарного запаса
8. переливная труба. Принимаются на 2-3 размера по сортаменту, меньше рабочей, отводится в ливневую канализацию или пониженную точку местности или на отмоксту. На трубе не должно быть никаких запорных устройств.
9. труба для опорожнения бака
10. компенсаторы. Устраиваются на всех вертикальных трубопроводах
11. трубы для смыва конденсата

В зимнее время башня должна отапливаться либо от центрального отопления, либо печкой. В случае печки, в центре бака предусматривается канал для трубы (дымовой). Башня оборудуется сигнализацией для включения и выключения насосов.

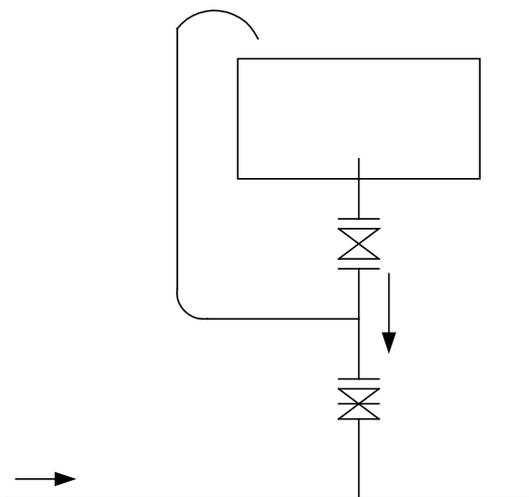


Возможны различные схемы соединения напорной и разводящей труб башни.

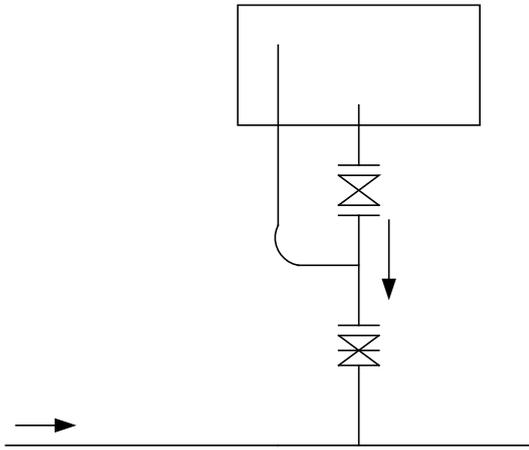


1. Такая схема обычно применяется, если башня в начале сети. Вся вода проходит через бак.  
Достоинства - обеспечен водообмен в баке.

2. схема с объединенной напорно-разводящей трубой.



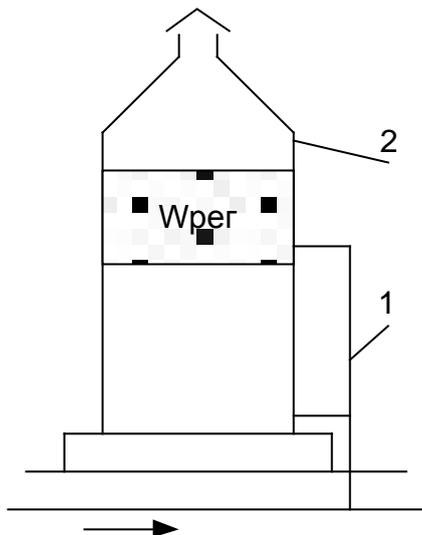
3.



Во всех случаях должен быть обеспечен водообмен в баке, во-первых по санитарным соображениям, во-вторых, чтобы обеспечить понижение отложения взвешенных веществ.

### Башни-колонны

Используются при небольшой расчетной высоте в сравнительно теплых регионах. Представляет собой ту же башню, ствол которой заполнен водой.



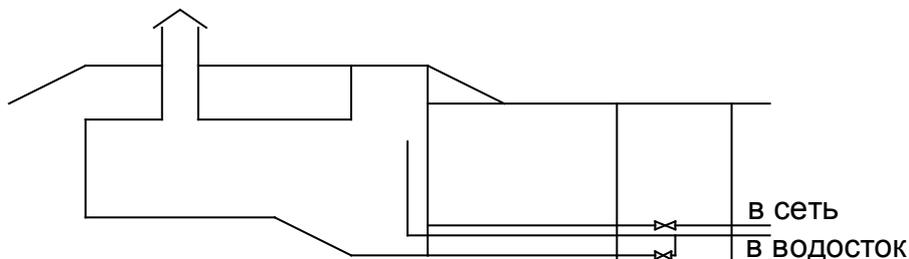
1. рабочая труба
2. переливная

Такая башня содержит аварийный запас воды (ниже  $W_{рег}$ ), который может быть подан потребителю, хотя и с меньшим напором.

Недостатки - возможность застоя воды в нижней зоне.

### Напорные резервуары

Выполняет те же функции, что и водонапорная башня. Устраивается в повышенных точках рельефа (если позволяет рельеф). Резервуар выполняется из монолитного и сборного железобетона. При емкостях до  $600 \text{ м}^3$  - форма круглая, перекрытие купольное. При емкостях более  $600 \text{ м}^3$  резервуар в плане может быть как круглым так и прямоугольным. Перекрытие обычно плоское, устраивается по колоннам, имеющимся внутри резервуара.



1. рабочая труба
2. переливная труба (отводится в пониженную точку местности)
3. труба для опорожнения бака

Желательно предусмотреть подачу воды в бак и разбор воды из бака в различных и максимально удаленных друг от друга точках, чтобы предотвратить отложение в баке взвешенных веществ.

Количество резервуаров в системе не более двух. При отключении одного из резервуаров оставшиеся должны хранить не менее 50% пожарного и аварийного объема запаса воды.

### Расчет емкости бака

Баки башен и напорных резервуаров могут включать в себя следующие запасы воды: регулирующий, пожарный и аварийный.

*Регулирующий* объем определяется сопоставлением графиков подачи воды и графика водоразбора. Если таких графиков нет, то СНиП разрешает считать объем  $W$  по формуле.

$$W_p = Q_{\text{сут. max}} \left[ 1 - K_n + (K_r - 1) \cdot \left( \frac{K_n}{K_r} \right)^{K_r / (K_r - 1)} \right]$$

$K_n$  – коэффициент неравномерности подачи воды насосом, это отношение максимальной часовой подачи воды к подаче в течении суток  $Q_{\text{max час}}/Q_{\text{min час}}$

$K_r$  – коэффициент часовой неравномерности водопотребления

*Пожарный* запас принимается на 10 минут тушения пожара, в резервуарах предусмотрен полный объем, необходимый для тушения пожара на 2-3 часа в зависимости от огнестойкости зданий.

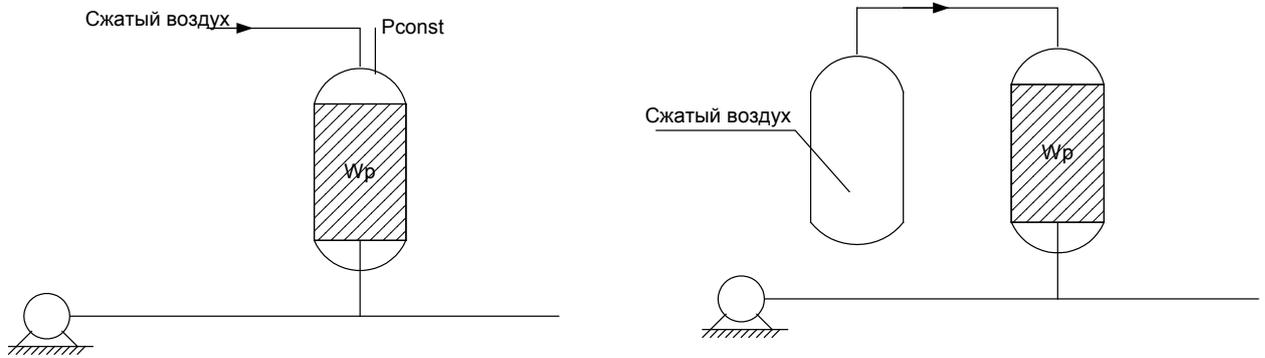
*Аварийный* предусматривается, когда подача воды в систему водоснабжения происходит по одной нитке трубопровода. Этот объем должен содержать 70% часового водопотребления в течение времени ликвидации аварии.

В хозяйственно-питьевом водопроводе должен быть обеспечен объем полного объема воды в баке в течение 48 часов ( 2 суток).

### Пневматические водонапорные установки

Служат для тех же целей, что и башни, но напор создается давлением сжатого воздуха.

На железной дороге нашли применение гидropневматические регуляторы Рожновского. В них водяной бак располагается внутри воздушного. Такая схема более компактна и обеспечивают защиту водяного бака от замерзания.



## Особенности водоснабжения в условиях севера

В этих условиях трубопроводы могут подвергаться воздействию низких температур. Это может привести к замерзанию и разрушению трубопровода. Процесс идет в следующей последовательности:

1. Вода в трубопроводе остывает до 0 градусов.
2. Замерзает талик вокруг трубы и на внутренней поверхности трубы образуется тонкий слой льда. Причем этот слой будет образовываться более интенсивно в местах установки арматуры, фланцев и т.п.
3. Толщина слоя льда в трубе увеличивается и образуются пробки (места, где сечение трубы замерзло полностью).

Между пробками остаются замкнутые полости, заполненные водой.

4. При продолжении процесса льдообразования давление воды в этих пузырях, заполненных водой, сильно возрастает и когда давление воды в пузыре превысит допустимое давление трубопровода и происходит разрушение трубопровода, часть воды из пузыря выливается наружу, давление понижается и трубопровод полностью замерзает.

## Классификация способов защиты систем водоснабжения от замерзания

### I Уменьшение теплотерь воды

1. обеспечение положительной температуры окружающей среды
2. уменьшение теплотерь трубопровода (Q)

### II Восполнение теплосодержания воды

1. за счет увеличения скорости и использования энергии трения
2. подогрев воды
3. сброс воды.

## Уменьшение теплотерь воды

А) Прокладка труб ниже глубины промерзания. Низ трубы должен быть на 0,5 м ниже  $h_{\text{промерзания}}$ . При обеспечении надлежащей защиты труб, разрешается прокладывать выше.

$$\frac{t_n - t_e}{t_k - t_e} = \exp \frac{K_m \cdot \pi \cdot l}{C \cdot G}$$

$t_n$ ,  $t_k$  – температуры в начале и конце водопровода

$t_e$  – температура окружающего воздуха при открытой прокладке

$K_m$  – коэффициент теплопроводности утеплителя

$l$  – длина трубопровода

$c$  – удельная теплоемкость воды

G - расход воды.

Б) Совместная прокладка трубопровода с тепловыми сетями

Уменьшение теплопотерь трубопровода

А) Обеспечивается использованием теплоизоляции



Б) Создание теплового экрана за счет нагрева самой трубы. Подсоединяет два провода и нагревается электрическим током.

II Восполнение теплосодержания воды



Чем меньше диаметр тем больше скорость- тепловыделения за счет трения

Возможен попутный и сосредоточенный подогрев (паром). Часто на водоводах большей протяженности стоят промежуточные пункты подогрева.

Самый надежный способ.

Сброс: постоянный, периодичный, аварийный – производится в концевых точках сети, чтобы обеспечить непрерывное движение воды в трубопроводах и обеспечить приток свежей, т.е. более теплой воды.

- 1) устройства для сброса воды могут включаться при пониженной температуре воды в трубе до 0 градусов или до другой заданной температуры.
- 2) При образовании в трубе слоя льда
- 3) При образовании в трубе ледяных пробок

Наиболее выгодно использование выпусков, которые срабатывают при заданном оледенении трубопровода (10-20 %).

Целесообразно устанавливать в концевых точках сети и начальных точках водовода.

Пока вода в трубе движется, она не замерзнет. Движение необходимо поддерживать любым путем.