

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

# **ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

для студентов специальности 1–70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Составление и общая редакция  
О.С. Софинской

Новополоцк 2004

УДК 628.1 (075.8)  
ББК 38.761.1 я 73  
В 62

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

А.Г. Ларин, главный инженер Новополоцкого предприятия  
водопроводно-канализационного хозяйства;  
С.П.Седлуха, доцент кафедры "Водоснабжение и водоотведение",  
ведущий научный сотрудник

Рекомендована к изданию Советом инженерно-строительного факультета

**В 62** **Водопроводные сети и сооружения:** Учеб.-метод. комплекс для студ. спец.  
1–70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / Сост.  
и общ. ред. О.С. Софинской. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 180 с.  
ISBN 985-418-261-4

Приведены темы изучаемого курса, их объем в часах лекционных и практических занятий; основные сведения о системах и сооружениях, предназначенных для получения воды из природных источников и транспортирования ее к месту потребления. Изложены теоретические и практические основы проектирования и эксплуатации систем подачи и распределения воды. Представлены задания для практических занятий и рекомендации по их выполнению.

Предназначен для преподавателей и студентов вузов строительных специальностей.

УДК 628.1 (075.8)  
ББК 38.761.1 я 73

ISBN 985-418-261-4

© УО «ПГУ», 2004  
© О.С. Софинская, сост., 2004

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Введение .....  | 4   |
| Рабочая программа .....                               | 5   |
| М-0. Введение в курс .....                            | 7   |
| М-1. Водопотребление и его режим .....                | 9   |
| М-2. Системы водоснабжения и режим их работы .....    | 29  |
| М-3. Системы подачи и распределения воды .....        | 52  |
| М-4. Расчет систем подачи и распределения воды .....  | 64  |
| М-5. Устройство водопроводных сетей и водоводов ..... | 94  |
| М-6. Запасные и регулирующие емкости .....            | 126 |
| Курсовое проектирование .....                         | 143 |
| М-Р. Обобщение .....                                  | 165 |
| М-К. Итоговый контроль по курсу .....                 | 165 |
| Приложения .....                                      | 166 |

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методический комплекс должен способствовать самостоятельному построению студентом условий и этапов решения профессиональных задач, становлению рефлексивной позиции, выстраиванию индивидуального стиля деятельности, выбора путей достижения желаемых профессиональных позиций.

Дисциплина «Водопроводные сети и сооружения» базируется на таких специальных предметах, как «Гидравлика», «Насосные и воздухоподводящие станции», и является одним из фундаментальных курсов, читаемых кафедрой своим студентам.

В этой дисциплине рассматриваются основополагающие вопросы расчета, проектирования и эксплуатации систем подачи и распределения воды.

Для изучения УМК необходимы знания по дисциплинам: высшая математика, физика, химия, гидравлика, насосные и воздухоподводящие станции, техника и технология строительного-монтажных работ, начертательная геометрия и графика.

Цель изучения дисциплины: сформировать у студентов научно обоснованные представления о системах подачи и распределения воды; взаимосвязи в работе сооружений систем подачи и распределения воды.

Задачи изучения дисциплины: исходя из указанной выше цели при изучении данного курса решаются следующие задачи:

- получение знаний по вопросам определения требуемых количеств воды для различных водопотребителей и режимах водопотребления;
- формирование у студентов четкого понимания взаимосвязи в работе сооружений системы подачи и распределения воды;
- уяснение теоретических основ и методов гидравлической увязки водопроводной сети;
- получение знаний по вопросам устройства водопроводных сетей.

Преподается данная дисциплина студентам очной формы обучения в 6 семестре в форме чтения лекций и проведения практических занятий. Студенты также должны выполнить курсовой проект и по итогам изучения предмета сдать экзамен.

Учебно-методический комплекс состоит из трех частей: рабочей программы; учебных модулей для использования на лекционных и практических занятиях; курсового проектирования.

Приведенные в УМК для преподавателя тесты по темам могут использоваться для определения исходного уровня знаний студентов, что позволяет определить для некоторых студентов индивидуальный план обучения, заменить изучение некоторых тем факультативными темами. Кроме данного варианта тестов созданы электронные тесты, и преподаватель может сочетать их использование на занятиях.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| Факультет            | инженерно-строительный        |
| Кафедра              | водоснабжение и водоотведение |
| Курс                 | 3                             |
| Семестр              | 6                             |
| Экзамен              | 6 семестр                     |
| Лекция               | 48 часов                      |
| Практические занятия | 32 часа                       |
| Курсовой проект      | 6 семестр                     |
| Всего часов          | 140 часов                     |

### 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование тем, объем лекционных занятий

| Название тем  | Объем в часах |
|---|---------------|
| Введение в курс   | 2             |
| М-1. Водопотребление и его режим  |               |
| 1. Нормы водопотребления  | 4             |
| 2. Режим водопотребления  | 2             |
| М-2. Системы водоснабжения и режим их работы                                    |               |
| 1. Системы и схемы водоснабжения  | 4             |
| 2. Режим работы систем водоснабжения  | 4             |
| 3. Зонные системы водоснабжения   | 2             |
| М-3. Системы подачи и распределения воды  |               |
| 1. Типы водопроводных сетей   | 2             |
| 2. Расчетная схема отбора воды из сети  | 4             |
| М-4. Расчет систем подачи и распределения воды                                  |               |
| 1. Подготовка сети к гидравлическому расчету                                    | 4             |
| 2. Гидравлический расчет водопроводных сетей                                    | 4             |
| 3. Совместная работа водоводов, сетей, насосных станций и регулирующих емкостей | 2             |
| М-5. Устройство водопроводных сетей и водоводов                                 |               |
| 1. Основные типы труб, применяемые в системах водоснабжения                     | 4             |
| 2. Арматура и сооружения на сети  | 6             |
| М-6. Запасные и регулирующие емкости  |               |
| 1. Безнапорные регулирующие запасные емкости                                    | 2             |
| 2. Напорно-регулирующие сооружения  | 2             |

## Практические занятия, их объем в часах

| Название тем практических занятий  | Объем в часах |
|--|---------------|
| Расчет объемов водопотребления и характерных расходов, распределение расходов по часам суток | 8             |
| Трассировка сети, расчет удельных, путевых и узловых расходов                                | 6             |
| Начальное потокораспределение и расчет экономически выгодных диаметров труб                  | 4             |
| Увязка кольцевой сети методом Лобачева-Кросса (вручную и на компьютере)                      | 6             |
| Нахождение диктующей точки, расчет пьезометрических и свободных напоров                      | 4             |
| Выполнение детализировка колодца и определение его строительного размера                     | 4             |

## 2. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовой проект разрабатывается студентом на основании индивидуального задания. Номер варианта выбирается по двум последним числам зачетной книжки.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графического материала.

1. Краткая характеристика объекта водоснабжения.
  - 1.1. Определение площади территории и расчетного населения города.
  - 1.2 Выбор схемы сети и ее конструктивные особенности.
2. Определение расчетных расходов воды.
  - 2.1 Определение расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды.
  - 2.2. Расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений.
  - 2.3. Расход воды на нужды промышленных предприятий.
  - 2.4 Расход воды на нужды пожаротушения.
  - 2.5 Распределение расходов воды по часам суток в период максимального водопотребления.
3. Гидравлический расчет сети.
  - 3.1. Подготовка сети к гидравлическому расчету.
  - 3.2. Гидравлический расчет сети вручную на случай максимального водопотребления.
  - 3.3. Гидравлический расчет водопроводной сети на компьютере.
  - 3.4 Построение пьезометрических линий водопроводной сети.
4. Анализ работы системы подачи и распределения воды.
5. Детализировка кольца водопроводной сети.

## М-0. ВВЕДЕНИЕ В КУРС

«Водопроводные сети и сооружения» – курс, направленный на получение знаний по проектированию, строительству и эксплуатации систем подачи и распределения воды при их совместной работе с другими сооружениями систем водоснабжения.

Водоснабжение является одной из важнейших отраслей техники, направленной на повышение уровня жизни людей, благоустройство населенных мест и развитие промышленности. Снабжение населения чистой, доброкачественной водой в достаточном количестве имеет важное санитарно-гигиеническое значение, предохраняет людей от возможных эпидемических заболеваний, распространяемых через воду.

В настоящее время многочисленные потребители предъявляют к воде требования, различные как в количественном, так и в качественном отношении. Современные условия требуют комплексного подхода к решению задач водоснабжения, учитывающих интересы различных групп потребителей воды, рациональное ее использование, совершенствование систем водоснабжения, использование научно обоснованных норм водопотребления и др.

В соответствии с этим учебная программа курса состоит из шести связанных друг с другом частей, которые объединены в модули.

Структурная схема:



М-0. Введение в курс.

М-1. Водопотребление и его режим. Этот модуль посвящен вопросам потребления воды, нормам для различных категорий потребителей и режимам расходования воды.

М-2. Системы водоснабжения и режим их работы. Во втором модуле рассматриваются системы и схемы водоснабжения, роль отдельных элементов в системе водоснабжения, режим их работы и взаимная связь.

М-3. Системы подачи и распределения воды. В третьем модуле освещены вопросы проектирования систем подачи и распределения воды.

М-4. Расчет систем подачи и распределения воды. В этом модуле рассматриваются методики расчета систем подачи и распределения воды, анализ их совместной работы с насосными станциями и регулирующими емкостями.

М-5. Устройство водопроводных сетей и водоводов. Пятый модуль посвящен вопросам устройства водопроводных сетей и водоводов.

М-6. Запасные и регулируемые емкости. В шестом модуле представлены сведения о запасных и регулируемых емкостях.

М-Р. Обобщение.

М-К. Итоговый контроль по курсу.

## М-1. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И ЕГО РЕЖИМ

• Место и значение модуля «Водопотребление и его режим» в системе курса: на основании знаний об объемах водопотребления и его режимах принимаются решения в процессе проектирования каждого элемента системы водоснабжения в соответствии с количеством подаваемой воды и с намеченным для них режимом работы; таким образом, данный модуль занимает важное место в системе учебного курса.

- Цель изучения модуля:
  - знать основные категории потребления воды, нормы водопотребления;
  - характеризовать режим водопотребления;
  - уметь определить расчетные расходы воды.

Структура модуля:



Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ) в том порядке, в котором их рекомендуется изучать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение в модуль;

УЭ-1. Нормы водопотребления;

УЭ-2. Режим водопотребления;

УЭ-R. Обобщение;

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

### УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ

**Ключевая проблема:** каков механизм неравномерности потребления воды различными категориями потребителей и его влияние на величины расчетных расходов.

**Ведущая идея:** при проектировании систем водоснабжения определение требуемого потребителю количества воды является ответственной задачей. Основным фактором, определяющим режим работы всех элементов системы водоснабжения, является режим расходования воды потребителями, которых эта система должна обслуживать.

**Основные понятия:** категории потребителей воды, нормы водопотребления, удельное водопотребление, режим водопотребления, коэффициенты суточной и часовой неравномерности, характерные суточные и часовые расходы, расчетные часовые и секундные расходы воды.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**

### **Учебные цели УЭ-1:**

1. Студент должен знать:
  - основных потребителей воды;
  - нормы потребления воды, факторы влияющие на их величину;
  - каким образом учитываются расходы воды на нужды местной промышленности.
2. Студент должен уметь: оценить величину нормы водопотребления для различных категорий потребителей.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Основные виды потребления воды.
2. Нормы водопотребления в населенных пунктах:
  - удельное водопотребление; факторы, влияющие на его величину;
  - нормы расхода воды на поливку улиц и зеленых насаждений.
3. Нормы расхода воды на промышленных предприятиях:
  - нормы расхода воды на производственные нужды;
  - нормы на хозяйственно-питьевые нужды на производстве;
  - нормы расхода воды в производственных душевых.
4. Нормы расхода воды на нужды пожаротушения.

## **1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать все виды потребления воды, которые сводятся к нескольким основным категориям; требования к качеству используемой воды для различных нужд и степени централизации системы водоснабжения.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Проектирование систем водоснабжения любого объекта начинается с определения требуемого количества воды для различных водопотребителей. Все виды потребления воды сводятся к нескольким основным категориям. К **первой категории** относится хозяйственно-питьевое потребление воды. Оно связано с жизнедеятельностью людей во время их нахождения в жилых домах и общественных зданиях. Во **вторую категорию** входят промышленные предприятия, использующие воду в технологических процессах и для санитарно-гигиенических, питьевых и хозяйственных нужд. К **третьей категории** относится потребление воды жилищно-коммунальными предприятиями для мойки улиц, площадей, на поливку зеленых насаждений и т. п. **Четвертая категория** предусматривает использование воды на нужды пожаротушения, которое носит эпизодический характер и требует обеспеченности запаса воды. Кроме того, необходимо учитывать потребление воды и меньших объемов по сравнению с указанными, например, на собственные нужды водопроводной системы.

Учет всех видов потребления невозможен без учета требований к качеству используемой воды для различных нужд и степени централизации системы водоснабжения. Если для хозяйственно-питьевых нужд требуется вода, отвечающая требованиям стандартов на питьевую воду, то для других потребителей эти требования могут носить специфический характер. Требования к воде для хозяйственно-бытовых нужд, как правило, отвечают требованиям к качеству питьевой воды. В настоящее время для полива территорий и зеленых насаждений в большинстве городов используется вода питьевого качества, хотя для этих целей целесообразнее использовать воду другого качества.

Многообразие условий использования воды в производстве обуславливает и многообразие требований к ее качеству. В любом случае вода, используемая в технологических процессах, не должна ухудшать качества выпускаемой продукции и нарушать технологический режим эксплуатации оборудования.

Вода для пожаротушения не должна содержать механические примеси, загрязняющие элементы противопожарной системы, и химические вещества, отрицательно влияющие на эффект использования воды. Вода питьевого качества отвечает этим требованиям, но это не означает, что вода иного качества не может быть использована для тех же целей.

## 2. НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять специфику определения норм водопотребления в населенных пунктах.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

На стадии проектирования расход воды определяется на основании норм, полученных путем обработки статистических данных о фактическом потреблении или технологическим расчетом.

### 2.1. Удельное водопотребление. Факторы, влияющие на его величину

Расход, приходящийся на одного чел/сутки, носит название удельного хозяйственно-питьевого водопотребления.

Удельное водопотребление учитывает количество воды, потребляемое **одним человеком** на хозяйственно-питьевые нужды не только в жилых домах, но и в общественных зданиях (столовых, банях, прачечных, кинотеатрах и т. д.). Оно зависит от степени благоустройства районов жилой застройки. Очевидно, что при более комфортабельных условиях удельное потребление воды выше. В значительной мере на его величину оказывают влияние климатические условия: в районах с жарким климатом воды потребляется больше, чем в холодных районах. На его величину влияют местные условия, качество воды. При проектировании систем водоснабжения населенных пунктов удельное среднесуточное (за год) водопотребление на одного жителя определяется по СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (табл. 1.1)

Таблица 1.1

#### Удельное водопотребление

| Степень благоустройства районов жилой застройки                            | Удельное среднесуточное хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на 1 жителя (за год) $q$ , л/сут |
|--|---|
| Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией: |   |
| – без ванн;  | 125 – 160   |
| – с ваннами и местными водонагревателями;                                  | 160 – 230   |
| – с централизованным горячим водоснабжением                                | 230 – 350   |

Для районов, где водопользование предусмотрено из водоразборных колонок, удельное среднесуточное водопотребление на одного жителя принимается 30 – 50 л/сут.

Следует отметить, что в последнее время наметились тенденции снижения удельного водопотребления за счет экономии воды, повышения качества водоразборных и санитарно-технических приборов и действия экономических рычагов оплаты за воду.

При этом для населенных пунктов необходимо учитывать нужды местной промышленности, обслуживающей население, и нужды неучтенных потребителей. Эти нужды допускается учитывать дополнительно в размере 10 – 20 % суммарного расхода хозяйственно-питьевого водопотребления населения.

## 2.2. Нормы расхода воды на поливку улиц и зеленых насаждений

Нормы расхода воды на поливку улиц, зеленых насаждений и усовершенствованных покрытий, проездов и площадей принимается по СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (табл. 1.2)

Количество моек и поливок принимается в каждом отдельном случае в зависимости от местных климатических условий.

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды  $q_{пол.}$  принимается равным 50 – 90 л/сут в расчете на одного жителя. При назначении нормы поливки учитываются климатические условия, мощность источника водоснабжения и другие местные условия. Число поливок в зависимости от климата принимается равным 1 – 2 в сутки.

Таблица 1.2

**Нормы расхода воды на поливку**

| Вид поливки   | Измеритель | Нормы расхода воды, л/м <sup>2</sup> |
|---|------------|--------------------------------------|
| Механизованная мойка усовершенствованных покрытий, проездов, площадей           | 1 мойка    | 1,2 – 1,5                            |
| Механизованная поливка усовершенствованных покрытий, проездов, площадей         | 1 полив    | 0,3 – 0,4                            |
| Поливка вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий, тротуаров и проездов | то же      | 0,4 – 0,5                            |
| Поливка городских зеленых насаждений  |            | 3 – 4                                |
| Поливка газонов и цветников   |            | 4 – 6                                |
| Поливка посадок в грунтовых зимних теплицах                                     | 1 сут      | 15                                   |
| Поливка посадок в теплицах, парниках  | то же      | 6                                    |

### 3. НОРМЫ РАСХОДА ВОДЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

#### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать факторы, влияющие на величину норм расхода воды на промышленных предприятиях.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

#### 3.1. Нормы расхода воды на производственные нужды

Нормы расхода воды на производственные нужды зависят от вида производства, принятого технологического процесса, вида системы водоснабжения, качества воды и т. д. Также нормы расхода воды можно ориентировочно принимать по укрупненным удельным нормам на единицу продукции, выпускаемой предприятием. Эти нормы устанавливаются на основании опыта эксплуатации аналогичных предприятий.

#### 3.2 Нормы на хозяйственно-питьевые нужды на производстве

В соответствии с существующими нормами расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве учитывается дополнительно к тем хозяйственно-питьевым расходам, которые рассматривались выше. Они зависят от температурного режима в производственных помещениях и принимают в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (табл. 1.3).

Таблица 1.3

#### Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления в цехах предприятий

| Виды цехов   | Нормы расходы воды на 1 человека в смену, л |
|--|---|
| Цеха с тепловыделением более 84 кДж на 1 м <sup>3</sup> /ч | 45  |
| Остальные цеха   | 25  |

#### 3.3. Нормы расхода воды в производственных душевых

Кроме того, на производствах, связанных с загрязнением тела или требующих особого санитарного режима, должен быть учтен расход воды на прием душа из расчета 500 л/ч на одну душевую сетку.

В зависимости от категории производства, количество человек, обслуживаемых в одной душевой сетке, принимается в соответствии с нормативными рекомендациями:

- производственные процессы, связанные с избытком явного конвекционного тепла – 7;
- для прочих производств – 5.

При количестве работающих в смену не более 10 человек допускается устройство душевой кабины, обслуживающей попеременно мужчин и женщин.

#### 4. НОРМЫ РАСХОДА ВОДЫ НА НУЖДЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

##### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать факторы, влияющие на нормы расхода воды на наружное и внутреннее пожаротушение для зданий различного назначения.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Нормы расхода воды на тушение пожара приведены в нормативных документах (СНиП 2.04.02-84). Они составлены на основании обработки статистических данных о фактических расходах воды с учетом создания требуемых условий тушения пожаров на различных объектах. Расход воды для наружного пожаротушения в населенных местах зависит от численности населения и характера застройки (табл. 1.4)

Таблица 1.4

##### Расчетный расход воды на наружное пожаротушение и расчетное количество одновременных пожаров

| Количество жителей в населенном пункте тыс. чел., до | Расчетное количество одновременных пожаров | Расход воды на наружное пожаротушение в нас. пункте, л/с (независимо от степени огнестойкости здания) при их этажности |                  |
|--|--|--|------------------|
|  |  | до 3-х этажей  | 3 и более этажей |
| 1  | 2  | 3  | 4                |
| 5  | 1  | 10   | 10               |
| 10   | 1  | 10   | 15               |
| 25   | 2  | 10   | 15               |
| 50   | 2  | 20   | 25               |
| 100  | 2  | 25   | 35               |
| 200  | 3  | -  | 40               |
| 300  | 3  | -  | 55               |
| 400  | 3  | -  | 70               |
| 500  | 3  | -  | 80               |
| 600  | 3  | -  | 85               |
| 700  | 3  | -  | 90               |
| 800  | 3  | -  | 95               |
| 1000   | 3  | -  | 100              |
| 2000   | 4  | -  | 100              |

Продолжительность тушения пожара в большинстве случаев принимается равной 3 часа. Расход воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях с фонарями и в зданиях шириной до 60 м без

фонарей зависит от объема здания, степени огнестойкости его строительных конструкций, а также категории пожарной опасности производства, размещенного в здании (табл. 1.5).

Таблица 1.5

**Расход воды на наружное пожаротушение для производственных зданий с фонарями и без фонарей шириной до 60 м**

| Степень огнестойкости зданий | Категория производств по пожарной опасности | Расход воды на 1 пожар, л/с при объеме здания, тыс. м <sup>3</sup> |       |        |         |          |           |           |
|------------------------------|---|--|-------|--------|---------|----------|-----------|-----------|
|                              |   | до 3   | 3 – 5 | 5 – 20 | 20 – 50 | 50 – 200 | 200 – 400 | более 400 |
| I и II                       | Г, Д, Е                                     | 10   | 10    | 10     | 10      | 15       | 20        | 25        |
|                              | А, Б, В                                     | 10   | 10    | 15     | 20      | 30       | 35        | 40        |
| III                          | Г, Д  | 10   | 10    | 15     | 25      | 35       | -         | -         |
|                              | В   | 10   | 15    | 20     | 30      | 40       | -         | -         |
| IV и V                       | Г, Д  | 10   | 15    | 20     | 30      | -        | -         | -         |
|                              | В   | 15   | 20    | 25     | 40      | -        | -         | -         |

Норма расхода воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях шириной 60 м и более без фонарей несколько иная (табл. 1.6).

Таблица 1.6

**Расход воды на наружное пожаротушение для производственных зданий без фонарей шириной 60 м и более (степень огнестойкости здания I и II)**

| Категория производств по пожарной опасности | Расход воды на 1 пожар, л/с, при объеме здания, тыс. м <sup>3</sup> |          |           |           |           |           |           |           |           |  |
|---|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|   | до 50   | 50 – 100 | 100 – 200 | 200 – 300 | 300 – 400 | 400 – 500 | 500 – 600 | 600 – 700 | 700 – 800 |  |
| А, Б, В                                     | 20  | 30       | 40        | 50        | 60        | 70        | 80        | 90        | 100       |  |
| Г, Д, Е                                     | 10  | 15       | 20        | 25        | 30        | 35        | 40        | 45        | 50        |  |

Таблица 1.7

**Расход воды на внутреннее пожаротушение в жилых и общественных зданиях и помещениях**

| Наименование зданий и помещений  | Расход воды, л/с | Число струй |
|--|------------------|-------------|
| 1  | 2                | 3           |
| 1. Здания управлений:  |                  |             |
| – высотой от 6 до 10 этажей и объемом до 25 000 м <sup>3</sup> включительно; | 2,5              | 1           |
| – то же, объемом более 25 000 м <sup>3</sup> ;                               | 2,5              | 2           |
| – то же, при числе этажей свыше 10 и объемом до 25 000 м <sup>3</sup> ;      | 2,5              | 2           |
| – более 25 000 м <sup>3</sup>  | 2,5              | 3           |

|   |     |   |
|---|-----|---|
| 2. Общежития и общественные здания:                                     |     |   |
| – при числе этажей до 10 и объемом до 25 000 м <sup>3</sup> ;           | 2,5 | 1 |
| – то же, объемом более 25 000 м <sup>3</sup> ;                          | 2,5 | 2 |
| – то же, при числе этажей свыше 10 и объемом до 25 000 м <sup>3</sup> ; | 2,5 | 2 |
| – более 25 000 м <sup>3</sup> ;   | 2,5 | 3 |
| – то же, высотой более 50 м и объемом до 50 000 м <sup>3</sup> ;        | 5,0 | 4 |
| – более 50 000 м <sup>3</sup>   | 5,0 | 8 |
| 3. Вспомогательные здания пром. предприятий объемом, м <sup>3</sup> :   |     |   |
| – от 5 000 до 25 000  | 2,5 | 1 |
| – более 25 000  | 2,5 | 2 |
| 4. Жилые здания:  |     |   |
| – высотой 12 – 16 этажей;   | 2,5 | 1 |
| – то же, при общей длине коридора свыше 10 м;                           | 2,5 | 2 |
| – высотой 17 – 25 этажей;   | 2,5 | 2 |
| – то же, при общей длине коридора свыше 10 м                            | 2,5 | 3 |
| 5. Производственные здания:   |     |   |
| – высотой более 50 м и объемом до 50 000 м <sup>3</sup> ;               | 5,0 | 4 |
| – то же более 50 000 м <sup>3</sup>                                     | 5,0 | 8 |

Таблица 1.8

**Расход воды на внутреннее пожаротушение  
в производственных и складских зданиях высотой до 50 м**

| Степень огнестойкости зданий | Категория производств по пожарной опасности | Число струй и расход воды, л/с на 1 струю при объеме здания, тыс. м <sup>3</sup> |         |          |           |           |
|------------------------------|---|--|---------|----------|-----------|-----------|
|                              |   | 0,5 – 5  | 5 – 50  | 50 – 200 | 200 – 400 | 400 – 800 |
| I и II                       | А, Б, В                                     | 2 × 2,5  | 2 × 5   | 2 × 5    | 3 × 5     | 4 × 5     |
| III                          | В   | 2 × 2,5  | 2 × 5   | 2 × 5    | -         | -         |
|                              | Г, Д  | -  | 2 × 2,5 | 2 × 2,5  | -         | -         |
| IV и V                       | В   | 2 × 2,5  | 2 × 5   | -        | -         | -         |
|                              | Г, Д  | -  | 2 × 2,5 | -        | -         | -         |

**Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните основные категории потребителей воды.
2. Дайте характеристику удельного хозяйственно-питьевого водопотребления.
3. Назовите факторы, влияющие на величину нормы на поливку улиц и зеленых насаждений.
4. Вспомните, каким образом учитываются расходы на нужды местной промышленности.

В этом учебном элементе вы ознакомились с основными потребителями воды и представлениями о нормах расхода воды для каждой категории потребителей. Эти нормы влияют на величину суммарного суточного расхода воды, с методикой расчета которого вы должны ознакомиться. Также для

определения расчетных часовых расходов воды вы должны ознакомиться с режимом водопотребления. Эти вопросы освещаются в УЭ-2.

## **УЭ-2. РЕЖИМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - методику определения суточных расходов воды;
  - каким образом учитывается неравномерность потребления воды в течение года;
    - что такое коэффициенты часовой неравномерности и от чего зависит их величина.
2. Студент должен уметь: определить величину характерных суточных и часовых расходов воды.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Расчетные суточные расходы воды в населенном пункте:
  - расчетный (средний за год) суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте;
  - расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений;
  - расход воды на промышленном предприятии;
  - расход воды на пожаротушение;
  - коэффициенты суточной неравномерности;
  - расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды в сутки максимального и минимального водопотребления.
2. Расчетные часовые и секундные расходы воды
  - режим расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в течение суток;
  - определение коэффициентов часовой неравномерности;
  - режим расходования воды на нужды промышленных предприятий, поливку улиц и зеленых насаждений;
  - определение расчетных часовых и секундных расходов воды.

## **1. РАСЧЕТНЫЕ СУТОЧНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять механизм изменения суточных расходов воды в течение года и знать методику определения характерных суточных расходов воды.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Основным измерителем количества воды, требуемой для водоснабжения объекта, принимается суточный расход.

Суммарный суточный расход воды, определяемый по отдельным категориям водопотребителей, зависит от вида и числа потребителей, снабжаемых водой рассчитываемой системы водоснабжения.

### **1.1 Расчетный (средний за год) суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте**

Расчетный (средний за год) суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте, м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{сут. ср.}} = \frac{\sum q_i \cdot N_i}{1000}, \quad (1.1)$$

где  $q_i$  – удельное среднесуточное хозяйственно-питьевое водопотребление для районов населенного пункта с различной степенью благоустройства, л/сут, принимаемое по табл. 1.1;

$N_i$  – количество жителей в каждом районе, чел.

### **1.2. Расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений**

Расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений, м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{пол.}} = 10 \sum_{i=1}^N F_{ni} \cdot q_{ni} \cdot n, \quad (1.2)$$

где  $F_n$  – поливаемая площадь, га;

$q_n$  – норма расхода воды, л/м<sup>2</sup> на 1 поливку в зависимости от вида поливаемых площадей, принимается по табл. 1.2;

$n$  – количество поливок в сутки;

$i$  – тип поливаемой поверхности.

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений можно определить по среднесуточному за поливочный сезон потреблению воды на одного жителя, м<sup>3</sup>/сут, таким образом:

$$Q_{\text{пол.}} = \frac{q_{\text{пол.}} \cdot N}{1000}, \quad (1.3)$$

где  $q_{\text{пол.}}$  – среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на одного жителя, л/сут;

$N$  – количество жителей в населенном пункте.

При этом можно считать, что 50 % поливочного расхода отбирается из сети поливочными машинами равномерно в течение 8 – 10 часов в сутки

во время наименьшего среднего водопотребления и движения по улицам, а остальные 50 % – из шлангов дворниками.

### 1.3. Расход воды на промышленном предприятии

Расход воды на промышленном предприятии складывается из расходов воды на производственные, хозяйственно-питьевые нужды и прием душа работниками.

#### 1.3.1. Расход воды на производственные нужды

Расход воды на производственные нужды определяется на основании технологических расчетов (по заданию технологов или хозяйственных и планирующих организаций). При отсутствии этих данных расход воды на производственные нужды можно ориентировочно принимать по укрупненным удельным нормам на единицу продукции, выпускаемой предприятием. Эти нормы устанавливаются на основании опыта эксплуатации аналогичных предприятий. В этом случае расход воды на производственные нужды, м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле

$$Q_{np.} = q_{np.} \cdot N_{np.}, \quad (1.4)$$

где  $q_{np.}$  – удельная норма на единицу выпускаемой продукции, м<sup>3</sup>/ед.;

$N_{np.}$  – производительность предприятия по выпускаемой продукции, ед./сут.

#### 1.3.2. Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих зависит как от численности рабочих, так и от вида производства. Суточные расходы воды, м<sup>3</sup>/сут, на хозяйственно-питьевые нужды рабочих определяется по формуле

$$Q_{x.n.} = \frac{q_{x.ц.} \cdot n_{x.ц.} \cdot m_{x.ц.}}{1000} + \frac{q_{г.ц.} \cdot n_{г.ц.} \cdot m_{г.ц.}}{1000}, \quad (1.5)$$

где  $q_{x.ц.}$ ,  $q_{г.ц.}$  – нормы расхода воды на 1 человека в смену соответственно для «холодных» и «горячих» цехов, л, принимаются по табл. 1.3;

$n_{x.ц.}$ ,  $n_{г.ц.}$  – количество работающих в смену соответственно в «холодных» и «горячих» цехах, чел.;

$m_{x.ц.}$ ,  $m_{г.ц.}$  – количество смен.

### 1.3.3. Расходы воды на прием душа рабочими

Расход воды на прием душа для производств, требующих особого санитарного режима или связанных с загрязнением одежды и рук определяется из расчета 500 л/ч на одну душевую сетку в течение 45 минут после окончания смены.

Количество душевых сеток определяется в зависимости от санитарной характеристики производств по рекомендации п. 3.3, УЭ-1.

### 1.4. Расход воды на пожаротушение

Расчетный расход воды на пожаротушение не входит в расчетную сумму суточного водопотребления населенного пункта, однако его значение необходимо знать для проверки сети водопровода на пропуск требуемых количеств воды для тушения пожаров. Расход воды на пожаротушение определяется в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 4, УЭ-1.

### 1.5. Коэффициенты суточной неравномерности

Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды города неравномерно в течение года. Происходят колебания суточного расхода: сезонные, связанные с изменением температуры и влажности в отдельные сезоны года; недельные, обусловленные особенностями водопотребления в различные дни недели. Эти колебания определяются целым рядом факторов бытового характера, связанные с режимом жизни и трудовой деятельности людей и характеризуются коэффициентами суточной неравномерности.

Коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, учитывающие уклад жизни, режим работы, степень благоустройства, водопотребление по сезонам года и дням недели, принимаются по действующим нормам СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» равными:  $K_{сут.маx} = 1,1 - 1,3$ ;  $K_{сут.мин} = 0,7 - 0,9$ .

Коэффициенты суточной неравномерности соответствуют:

- наибольший  $K_{сут.маx} = Q_{сут.маx} / Q_{сут.ср.}$ ;
- наименьший  $K_{сут.мин} = Q_{сут.мин} / Q_{сут.ср.}$ .

При определении суточных расходов воды на поливку коэффициент суточной неравномерности поливки принимается равным 1.

### **1.6. Расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды в сутки максимального и минимального водопотребления**

Для проектирования системы водоснабжения сведений о среднесуточном водопотреблении, определенного по формуле (1.1) недостаточно. Система должна обеспечивать потребность населения в любой момент времени, в том числе и в сутки максимального водопотребления. Для определения расходов воды в городе в различные сутки года по данным среднесуточного за год расхода воды необходимо учесть коэффициенты суточной неравномерности водопотребления  $K_{сут.}$ .

Расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды в сутки максимального и минимального водопотребления определяют по формулам

$$Q_{сут. max} = Q_{сут. ср.} \cdot K_{сут. max}, \quad (1.6)$$

$$Q_{сут. min} = Q_{сут. ср.} \cdot K_{сут. min}. \quad (1.7)$$

## **2. РАСЧЕТНЫЕ ЧАСОВЫЕ И СЕКУНДНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять характер неравномерности потребления воды в течение суток и влияние коэффициентов часовой неравномерности на расчетные часовые расходы.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

### **2.1. Режим расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в течение суток**

При расчете систем подачи и распределения воды необходимо учитывать не только изменения расходования воды потребителями по дням в течение года, но и изменения, происходящие в отдельные периоды суток.

Водопотребление в населенных пунктах является случайным процессом изменения во времени часовых расходов воды. Он зависит от численности населения, степени благоустройства жилых зданий, режима работы предприятий и других факторов. Изучение режима водопотребления в населенных пунктах различного типа позволило определить для них характерные графики колебания расходов в течение суток. Таким образом, неравномерность потребления воды в течение суток характеризуется **коэффициентом часовой неравномерности**.

## 2.2. Определение коэффициентов часовой неравномерности

Отношение максимального часового расхода  $q_{ч.маx}$  к среднему часовому расходу  $q_{ч.ср.}$  называется коэффициентом часовой неравномерности максимальным, а отношение минимального часового расхода  $q_{ч.мин.}$  к среднему часовому расходу  $q_{ч.ср.}$  – коэффициентом часовой неравномерности минимальным:

$$K_{ч\ max.} = q_{ч\ max} / q_{ч\ ср.};$$

$$K_{ч\ min.} = q_{ч\ ср.} / q_{ч\ ср.}.$$

Коэффициенты часовой неравномерности определяются по формулам

$$K_{ч\ max} = \alpha_{max} \cdot \beta_{max}, \quad (1.8)$$

$$K_{ч\ min} = \alpha_{min} \cdot \beta_{min}, \quad (1.9)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий степень благоустройства, режим работы предприятий и другие местные условия ( $\alpha_{max} = 1,2 - 1,4$ ;  $\alpha_{min} = 0,4 - 0,6$ );

$\beta$  – коэффициент, учитывающий количество жителей в населенном пункте, принимают в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (табл. 1.9).

Таблица 1.9

Значения коэффициента  $\beta$  в зависимости от числа жителей

| Коэф-<br>фициент | Число жителей, тыс.чел. |      |      |      |      |      |     |     |     |     |      |     |     |      |     |      |                 |
|------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-----------------|
|                  | до 0,1                  | 0,15 | 0,2  | 0,3  | 0,5  | 0,75 | 1   | 1,5 | 2,5 | 4   | 6    | 10  | 20  | 50   | 100 | 300  | 1000<br>и более |
| $\beta_{max}$    | 4,5                     | 4,0  | 3,5  | 3,0  | 2,5  | 2,2  | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,4  | 1,3 | 1,2 | 1,15 | 1,1 | 1,05 | 1,0             |
| $\beta_{min}$    | 0,01                    | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,25 | 0,4 | 0,5 | 0,6  | 0,7 | 0,85 | 1,0             |

## 2.3 Режим расходования воды на нужды режим расходования воды на бытовые нужды промышленных предприятий, поливку улиц и зеленых насаждений

Как указывалось выше, расход воды на хозяйственно питьевые нужды рабочих во время их пребывания на производстве определяется дополнительно и прибавляется к хозяйственно-питьевому водопотреблению населения города. При этом коэффициент часовой неравномерности принимается равным 2,5 для горячих цехов и 3 – для остальных цехов. Расчетная продолжительность действия душей принимается равной 45 мин после каждой смены.

Колебания расходов воды в течение суток на производственные нужды промышленности диктуются особенностями технологического процесса и способами потребления воды, зависят от числа смен работы предприятий в сутки. В большинстве случаев на крупных промышленных предприятиях устраивают регулирующие емкости, пополняемые по заданному режиму.

Режим расходования воды на поливку улиц и зеленых насаждений принимается равномерным в часы минимального и среднего водопотребления.

## 2.4 Определение расчетных часовых и секундных расходов воды

Максимальные и минимальные часовые расходы воды населением из водопроводной сети, м<sup>3</sup>/ч, для любых характерных суток определяют по формулам

$$q_{ч\max} = K_{ч\max} \cdot \frac{Q_{сут.\max}}{24}, \quad (1.10)$$

$$q_{ч\min} = K_{ч\min} \cdot \frac{Q_{сут\min}}{24}, \quad (1.11)$$

Максимальный суточный расход воды  $Q_{сут.\max}$  на хозяйственно-питьевые нужды населения распределяется по часам суток для соответствующего коэффициента  $K_{ч\max}$ . Типовое процентное распределение хозяйственно-питьевых расходов воды:

- населением по часам суток для некоторых значений коэффициентов часовой неравномерности,
  - на нужды промышленных предприятий
- приведено в табл. 1.10.

### 2.4.1 Расчетные секундные расходы

Чтобы правильно определить необходимую пропускную способность труб распределительной водопроводной сети необходимо знать расчетный секунднй расход.

Условно для расчета наружных водопроводных сетей принимается, что в течение часа вода в населенном пункте расходуется равномерно.

Таблица 1.10

## Распределение суточного расхода воды по часам суток, %

| Часы суток | Расход воды населенным пунктом, % от суточного, при коэффициенте часовой неравномерности водопотребления |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды предприятия в цехах |          |
|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|----------|
|            | 1,2  | 1,25 | 1,3  | 1,35 | 1,4  | 1,45 | 1,5  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 2,5  | горячих  | ХОЛОДНЫХ |
| 1          | 2  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14*  | 15*      |
| 0-1        | 3,5  | 3,35 | 3,20 | 3,00 | 2,50 | 2,00 | 1,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 | 0,60 | 12,05  | 6,25     |
| 1-2        | 2,45   | 3,25 | 3,25 | 3,20 | 2,65 | 2,10 | 1,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 | 0,60 | 12,05  | 12,50    |
| 2-3        | 3,45   | 3,30 | 2,90 | 2,50 | 2,20 | 1,85 | 1,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 1,00 | 1,20 | 12,05  | 12,50    |
| 3-4        | 3,40   | 3,20 | 2,90 | 2,60 | 2,25 | 1,90 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 12,05  | 18,75    |
| 4-5        | 3,40   | 3,25 | 3,35 | 3,50 | 3,20 | 2,85 | 2,50 | 2,00 | 1,35 | 2,70 | 3,00 | 3,50 | 12,05  | 6,25     |
| 5-6        | 3,55   | 3,40 | 3,75 | 4,10 | 3,90 | 3,70 | 3,50 | 3,00 | 3,85 | 4,70 | 5,50 | 3,50 | 12,05  | 12,50    |
| 6-7        | 4,00   | 3,85 | 4,15 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 5,00 | 5,20 | 5,35 | 5,50 | 4,50 | 12,05  | 12,50    |
| 7-8        | 4,40   | 4,45 | 4,65 | 4,90 | 5,10 | 5,30 | 5,50 | 6,50 | 6,20 | 5,85 | 5,50 | 10,2 | 15,65  | 18,75    |
| 8-9        | 5,00   | 5,20 | 5,05 | 4,90 | 5,35 | 5,80 | 6,25 | 6,50 | 5,50 | 4,50 | 3,50 | 8,80 |  |          |
| 9-10       | 4,80   | 5,05 | 5,40 | 5,60 | 5,85 | 6,05 | 6,25 | 5,50 | 5,85 | 4,20 | 3,50 | 6,50 |  |          |
| 10-11      | 4,70   | 4,85 | 4,85 | 4,90 | 5,35 | 5,80 | 6,25 | 4,45 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 4,10 |  |          |
| 11-12      | 4,55   | 4,60 | 4,60 | 4,70 | 5,25 | 5,70 | 6,25 | 5,50 | 6,50 | 7,50 | 8,50 | 4,10 |  |          |
| 12-13      | 4,55   | 4,60 | 4,50 | 4,40 | 4,60 | 4,80 | 5,00 | 7,05 | 7,50 | 7,90 | 8,50 | 3,50 |  |          |
| 13-14      | 4,55   | 4,55 | 4,30 | 4,10 | 4,40 | 4,70 | 5,00 | 7,05 | 6,70 | 6,35 | 6,00 | 3,50 |  |          |
| 14-15      | 4,60   | 4,75 | 4,40 | 4,10 | 4,60 | 5,05 | 5,50 | 5,50 | 5,35 | 5,20 | 5,00 | 4,70 |  |          |
| 15-16      | 4,60   | 4,70 | 4,55 | 4,40 | 4,60 | 5,30 | 6,00 | 4,45 | 4,65 | 4,80 | 5,00 | 6,20 |  |          |
| 16-17      | 4,60   | 4,65 | 4,50 | 4,30 | 4,90 | 5,45 | 6,00 | 5,00 | 4,50 | 4,00 | 3,50 | 10,4 |  |          |
| 17-18      | 4,30   | 4,35 | 4,25 | 4,10 | 4,60 | 5,05 | 5,50 | 6,50 | 5,50 | 4,50 | 3,50 | 9,40 |  |          |
| 18-19      | 4,35   | 4,40 | 4,45 | 4,50 | 4,70 | 4,85 | 5,00 | 6,50 | 6,30 | 6,20 | 6,00 | 7,30 |  |          |
| 19-20      | 4,25   | 4,30 | 4,40 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 5,00 | 5,35 | 5,70 | 6,00 | 1,60 |  |          |
| 20-21      | 4,25   | 4,30 | 4,40 | 4,50 | 4,40 | 4,20 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 1,60 |  |          |
| 21-22      | 4,15   | 4,20 | 4,50 | 4,80 | 4,20 | 3,60 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 1,00 |  |          |
| 22-23      | 3,90   | 3,75 | 4,20 | 4,60 | 3,70 | 2,85 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 0,60 |  |          |
| 23-24      | 3,80   | 3,70 | 3,50 | 3,30 | 2,70 | 2,10 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 |  |          |
| Итого      | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100      |

Примечание: \* – распределение расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды предприятия дается на одну восьмичасовую рабочую смену.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ К УЭ-2

В качестве практических занятий предлагается выполнить следующие учебные задания по исходным данным, разработанным по вариантам:

1. Определить характерные часовые расходы для всех характерных суток на хозяйственно-питьевые нужды населения.
2. Определить расходы воды на поливку улиц и зеленых насаждений.
3. Определить расходы воды на нужды промышленных предприятий.
4. Выполнить распределение суточных расходов воды по часам суток.

### Рекомендации к выполнению задания 1:

Для определения характерных часовых расходов принять следующие исходные данные:

| Вариант  | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| количество жителей в населенном пункте, тыс. человек                     | 80  | 30  | 90  | 35  | 40  | 45  | 50  | 55  | 60  | 70  |
| удельное среднесуточное (за год) водопотребление на одного жителя, л/сут | 160 | 230 | 170 | 240 | 180 | 250 | 190 | 260 | 200 | 270 |

### Рекомендации к выполнению задания 2:

Для определения расходов воды на поливку улиц и зеленых насаждений, в связи с отсутствием данных о площадях по видам благоустройства, принять удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды в пределах 50 – 90 л/сут в расчете на 1 жителя.

### Рекомендации к выполнению задания 3:

Для определения расходов воды на нужды промышленных предприятий принять следующие исходные данные:

| Вариант                                     | 0   | 1   | 2   | 3    | 4   | 5   | 6    | 7   | 8   | 9   |
|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| количество рабочих в "холодных" цехах, чел. | 800 | 730 | 990 | 1350 | 840 | 945 | 1500 | 550 | 660 | 770 |
| количество рабочих в "горячих" цехах, чел.  | 180 | 300 | 190 | 350  | 140 | 450 | 500  | 355 | 260 | 170 |
| сменность работы, см                        | 1   | 3   | 2   | 3    | 1   | 2   | 3    | 2   | 1   | 2   |

### Рекомендации к выполнению задания 4:

Следует выполнить распределение суточных расходов воды для всех категорий потребителей, приняв за основу типовое процентное распределение.

**Обратите внимание на то, что в процессе распределения суточных расходов воды должен отображаться более реальный режим водопотребления.**

### **Самоконтроль по УЭ-2**

1. Вспомните, как изменяется водопотребление населенного пункта в течение года и чем характеризуются эти изменения.

2. Назовите факторы, влияющие на величину коэффициентов часовой неравномерности.

3. Вспомните, от чего зависит распределение суточного расхода на хозяйственно-питьевые нужды населения по часам суток.

4. Вспомните, как распределяются расходы воды на прием душа на промышленных предприятиях.

5. Вспомните, как распределяются расходы на поливку улиц и зеленых насаждений по часам суток.

6. Вспомните, как определяется расчетный секундный расход.

Итак, вы изучили учебный модуль М-1. Водопотребление и его режим. Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Дайте определение системы водоснабжения.

2. Перечислите основных потребителей воды.

3. Что влияет на норму хозяйственно-питьевого водопотребления на производстве.

4. Какая продолжительность тушения пожара в населенном пункте.

5. Как определить среднесуточный расход на хозяйственно-питьевые нужды населения.

6. Перечислите характерные сутки водопотребления.

7. От чего зависит режим водопотребления на производственные нужды промышленных предприятий.

8. Входит ли расход воды на пожаротушение в суммарный суточный расход.

9. Что характеризует изменение водопотребления в течение суток.
10. Изменяется ли водопотребление в течение часа.

### **УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ**

После изучения данного модуля вы должны:

- знать нормы водопотребления для всех категорий потребителей;
- уметь обосновать нормы водопотребления;
- овладеть навыками определения всех расчетных расходов.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат, 1982.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест», предложенный преподавателем.

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## **М-2. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И РЕЖИМ ИХ РАБОТЫ**

Для изучения данного модуля потребуются опорные знания и умения из ранее изученного материала.

Приступая к изучению модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Что такое система водоснабжения?
2. Какие факторы влияют на режим водопотребления населенного пункта?
3. Как определить суммарный суточный расход воды населенного пункта?
4. Что такое расчетный секундный расход и как его определить?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модуля М-1.

- Место и значение модуля «Системы водоснабжения и режим их работы» Каждый из потребителей предъявляет свои требования к количеству и качеству подаваемой ему воды, напору, создаваемому в системе и т.д. В зависимости от графика водопотребления, суточного расхода воды назначается режим работы отдельных элементов системы водоснабжения. В работе всех элементов системы водоснабжения должна быть организована такая взаимосвязь, чтобы были обеспечены заданные требования в отношении водообеспечения потребителя.

- Цель изучения модуля:
  - знать роль и значение отдельных элементов системы водоснабжения;
  - знать взаимосвязь между расходами в системе водоснабжения;
  - знать взаимосвязь между напорами в системе водоснабжения;
  - знать особенности работы систем водоснабжения при пожаротушении;
  - знать особенности работы систем водоснабжения с контррезервуаром;
  - уметь определить свободные и пьезометрические напоры, а также требуемые напоры насосной станции;
  - знать особенности проектирования зонных систем водоснабжения.

Структура модуля:

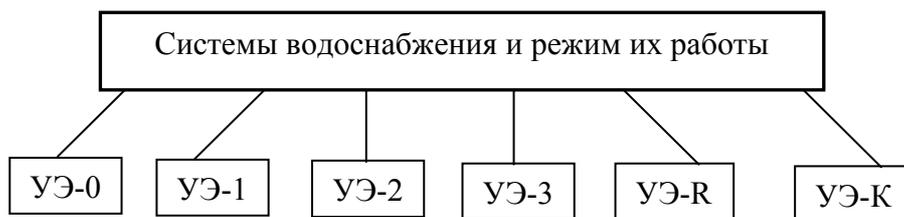


Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ). Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно усваивать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Системы и схемы водоснабжения.

УЭ-2. Режим работы систем водоснабжения.

УЭ-3. Зонные системы водоснабжения.

УЭ-Р. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

## УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ

**Ключевая проблема:** какая связь между режимом водопотребления и режимом подачи воды для отдельных сооружений системы водоснабжения.

**Ведущая идея:** При проектировании систем водоснабжения в зависимости от характера используемого источника, рельефа местности, взаимного расположения потребителей и их требований к количеству, качеству воды и требуемой категории надежности водообеспечения и при соответствующем обосновании принимается схема системы водоснабжения.

**Основные понятия:** системы водоснабжения, схемы водоснабжения, диктующая точка, нормативный свободный напор, расчетный свободный напор, пьезометрический напор, зонирование.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## УЭ-1. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### Учебные цели УЭ-1:

1. Студент должен знать:
  - основные схемы систем водоснабжения населенных пунктов;
  - роль отдельных сооружений в системе водоснабжения;
2. Студент должен уметь: определиться со схемой водоснабжения населенного пункта.

### Узловые вопросы для изучения УЭ-1:

1. Общие понятия о системах водоснабжения:
  - роль и значение отдельных элементов системы водоснабжения;
  - групповые и районные системы водоснабжения.
2. Общая схема водоснабжения:
  - зависимость схемы водоснабжения от характера используемого источника, рельефа местности, взаимного расположения потребителей и их требований к количеству, качеству воды и требуемой категории надежности водообеспечения;
  - взаимное расположение водопроводных сооружений.

## 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать, что такое система водоснабжения и роль основных элементов, входящих в нее.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Системы водоснабжения представляют собой комплекс сооружений, предназначенных для снабжения потребителей водой в необходимых количествах, требуемого качества и под требуемым напором при соблюдении надежности их работы. Все многообразие встречающихся на практике систем водоснабжения можно классифицировать по следующим основным признакам:

- **по характеру используемых природных источников:**
  - водопроводы, получающие воду из поверхностных источников (реки, озера, моря и т. д.);
  - водопроводы, забирающие воду из подземных источников (артезианские, грунтовые и т. д.);
  - водопроводы смешанного питания (при использовании различных видов водоисточников);

- **по назначению:**
  - хозяйственно-питьевые;
  - производственные;
  - сельскохозяйственные;
  - противопожарные и т. д.;
- **по способам подачи воды:**
  - самотечные (гравитационные);
  - напорные (с механической подачей воды с помощью насосов);
- **по видам обслуживаемых объектов:**
  - городские;
  - поселковые;
  - промышленные;
  - железнодорожные и т. д.

Как указывалось, системы разделяются на хозяйственно-питьевые, производственные, поливочные и противопожарные. Каждый из потребителей предъявляет свои требования к качеству и количеству воды, величине напора и т. п. Вода на указанные нужды к потребителям может поступать как по единой системе водоснабжения, так и по отдельным системам для отдельных групп потребителей. Степень объединения этих систем зависит от технических и экономических факторов. В городах, как правило, устраивают единую систему водоснабжения, которая подает воду для хозяйственно-питьевых нужд населения и производств, а также для противопожарных целей. Забор воды для полива может осуществляться как из городской системы водоснабжения, так и из постороннего источника. Возможность объединения городской системы водоснабжения с производственной и степень их объединения зависят от технических и экономических факторов.

Система водоснабжения в процессе работы должна удовлетворять требованиям надежности и экономичности. Одним из показателей надежности функционирования системы может служить вероятность ее безотказной работы в течение рассматриваемого периода. Повышение надежности системы водоснабжения достигается осуществлением комплекса мер на стадии проектирования, строительства и эксплуатации.

### **1.1. Роль и значение отдельных элементов системы водоснабжения**

Система водоснабжения населенного пункта должна обеспечивать получение воды из природных источников, ее очистку и передачу к месту

потребления. Для выполнения этих задач служат следующие сооружения, входящие обычно в состав системы:

1. Водозаборные сооружения, при помощи которых осуществляется забор воды из природных источников.

2. Сооружения для подъема и перекачки воды, то есть насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения и потребления.

3. Сооружения для очистки воды, которые служат для доведения качества воды до требований, предъявляемых к ней потребителям.

4. Сборные резервуары (резервуары чистой воды) и водонапорные башни служат для сглаживания неравномерности режима работы насосных станций и режима водопотребления, а также аккумуляции объемов воды.

5. Водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования воды к местам потребления и ее распределения.

## 1.2. Групповые и районные системы водоснабжения

Для потребителей, расположенных на значительном расстоянии друг от друга в условиях дефицита источников водоснабжения, применяют групповые и районные системы водоснабжения (рис. 2.1).

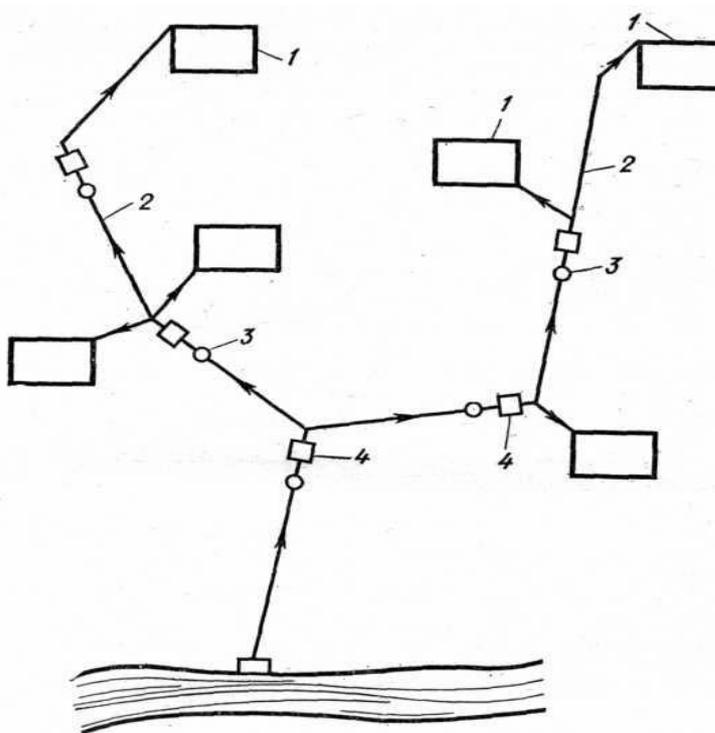


Рис. 2.1. Групповая система водоснабжения: 1 – потребители воды; 2 – водоводы; 3 – резервуары; 4 – насосная станция

В этих условиях целесообразно устройство единой системы водоснабжения, транспортирующей воду потребителям 1 по системе водоводов 2. Для снижения высоких давлений в водоводах, возникающих из-за большой их протяженности, в отдельных узлах сети устанавливают резервуары 3, в которые сбрасывается вода. Вода из этих резервуаров забирается насосными станциями 4 и подается в последующий участок водовода, а также близлежащим потребителям.

## 2. ОБЩАЯ СХЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать факторы, влияющие на выбор схемы водоснабжения населенного пункта.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

**Схема водоснабжения** – последовательное расположение сооружений от источника до потребителя, взаимное расположение их относительно друг друга.

Взаимное расположение основных водопроводных сооружений видно из общей схемы водоснабжения, показанной на рис. 2.2.

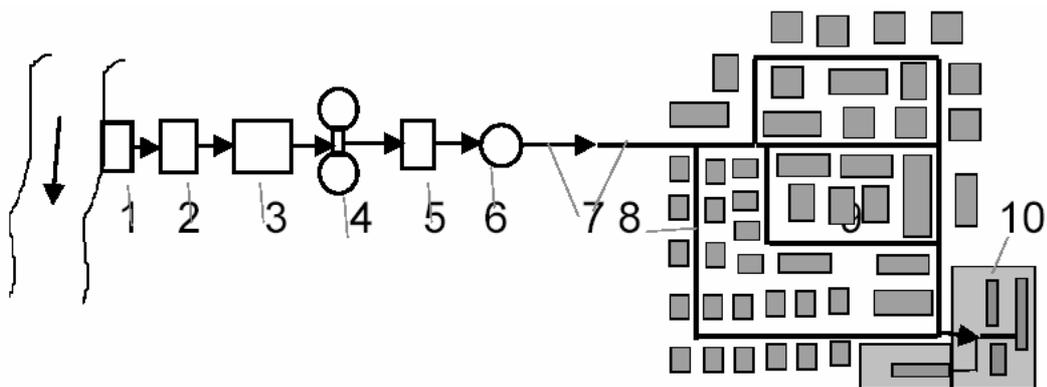


Рис. 2.2. Общая схема системы водоснабжения населенного пункта из поверхностного источника: 1 – водозаборное сооружение; 2 – насосная станция 1-го подъема; 3 – очистные сооружения; 4 – резервуары чистой воды; 5 – насосная станция 2-го подъема; 6 – водонапорная башня; 7 – водоводы; 8 – водопроводная сеть; 9 – населенный пункт; 10 – промышленная зона

## **2.1. Зависимость схемы водоснабжения от характера используемого источника, рельефа местности, взаимного расположения потребителей и их требований к количеству, качеству воды и требуемой категории надежности водообеспечения**

Схемы водоснабжения, количество и размеры элементов системы водоснабжения бывают различны и зависят от ряда местных условий: от вида источников и свойств воды в них, от требований потребителей в отношении количества и качества воды, от топографических условий, от размеров объектов, снабжаемых водой и т. д.

Схемы водоснабжения упрощаются, например, при следующих условиях:

- если не требуется улучшать качество воды, в этом случае отпадает необходимость в строительстве очистных сооружений;

- когда источник водоснабжения находится на отметках, значительно превышающих отметки территории снабжаемого объекта. В этом случае воду можно подавать к местам потребления самотеком и устройство насосной станции не требуется;

- когда необходимость строительства резервуаров и водонапорной башни отпадает. Например, при равномерном технологическом водопотреблении и при возможности обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям непосредственно из источника.

Таким образом, обязательными элементами любой системы водоснабжения являются водозаборные сооружения, водоводы и водопроводная сеть. Однако, в более сложной системе водоснабжения элементов бывает больше, чем на рис. 2.2. Например, при подаче воды на объект из нескольких источников, или когда напор одной насосной станции, подающей воду в город недостаточен и необходимо устройство дополнительных насосных станций.

## **2.2. Взаимное расположение водопроводных сооружений**

Водонапорная башня может быть расположена в начале сети (рис. 2.2), в конце ее (система с контррезервуаром) или в какой-либо промежуточной точке сети, что во многом определяется рельефом местности. Как правило, башни устанавливаются на возвышенных участках с целью уменьшения их строительной стоимости. При наличии вблизи объекта водоснабжения возвышенных мест вместо водонапорных башен устраивают наземные (подземные) напорные резервуары.

Порядок расположения прочих сооружений также может быть различен. При использовании поверхностных источников принимают водоприемники различных типов и конструкций, представляющие собой иногда сложные гидротехнические сооружения. При использовании подземных вод водоприемные сооружения чаще всего выполняют в виде буровых колодцев (скважин).

Очистные сооружения могут располагаться как вблизи водозаборных сооружений, так и вблизи потребителя, что зависит от удаленности снабжаемого водой объекта от источника водоснабжения, качества воды в нем, условий эксплуатации и технико-экономическими соображениями.

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните классификацию систем водоснабжения.
2. Определите роль ее основных элементов.
3. Вспомните, что такое общая схема системы водоснабжения.
4. Вспомните, от чего она зависит.
5. Подумайте, какие элементы системы водоснабжения обязательны в схеме водоснабжения.

В этом учебном элементе вы ознакомились с основными схемами системы водоснабжения населенных пунктов. Для проектирования системы водоснабжения вы должны ознакомиться с режимом работы сооружений системы водоснабжения и их взаимосвязью, режимом водопотребления. Эти вопросы освещаются в УЭ-2.

## **УЭ-2. РЕЖИМ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - связь отдельных элементов системы водоснабжения в отношении расходов и напоров;
  - особенности работы системы с контррезервуаром;
  - особенности работы систем при пожаротушении.
2. Студент должен уметь:
  - определить свободный и пьезометрический напоры для любого узла сети;
  - определить требуемый напор насосов.

## **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Связь между режимом водопотребления и режимом водоподачи:
  - режим работы отдельных водопроводных сооружений и их взаимная связь;
  - роль водонапорной башни;
  - роль резервуаров чистой воды;
  - экономическое значение регулирующих и запасных емкостей, их роль в повышении надежности систем водоснабжения.
2. Характер расположения пьезометрических линий в водопроводной системе:
  - понятие о требуемом свободном напоре, определение его расчетной величины;
  - диктующая точка на сети, ее месторасположение;
  - определение высоты водонапорной башни и требуемого напора насосов.
3. Особенности работы систем водоснабжения с контррезервуаром.
4. Режим работы системы водоснабжения во время пожара:
  - определение требуемого напора насосов при пожаротушении.

## **1. СВЯЗЬ МЕЖДУ РЕЖИМОМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И РЕЖИМОМ ВОДОПОДАЧИ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять взаимосвязь основных элементов системы водоснабжения в отношении расходов и напоров.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

После того, как принят режим водопотребления, должен быть установлен и режим работы отдельных сооружений системы водоснабжения. Все эти сооружения должны быть рассчитаны на работу в сутки максимального водопотребления.

### **1.1. Режим работы отдельных водопроводных сооружений и их взаимная связь**

Рассмотрим режим работы сооружений системы водоснабжения, подающей воду в городскую сеть и в промышленную зону (рис. 2.2) в соответствии с графиком водопотребления. В их работе должна быть организована такая взаимосвязь, чтобы были удовлетворены заданные требования в водообеспечении потребителя.

Задачей водоприемных сооружений, насосной станции 1-го подъема и очистных сооружений является забор, подача и очистка воды в размерах суточного водопотребления объекта. Режим работы этих сооружений, как правило, назначается равномерным.

Режим работы сети в целом определяется режимом водорзбора. В рассматриваемой системе вода подается в сеть насосной станцией 2-го подъема. При подаче воды насосами определенной производительности в отдельные часы суток количество подаваемой воды не будет совпадать с количеством израсходованной.

Режим работы водоводов, соединяющих водозаборные сооружения с очистными сооружениями и резервуарами чистой воды, определяется режимом работы насосной станции 1-го подъема. Режим работы трубопроводов, подающих воду от резервуаров чистой воды до водонапорной башни, зависит от режима работы насосной станции 2-го подъема; трубопроводов от водонапорной башни до города – от режима водопотребления.

### **1.2. Роль водонапорной башни**

Водонапорная башня является регулирующей емкостью, находящейся на границе зон, работа сооружений которых определяется режимом подачи воды насосной станции 2-го подъема и графиком водопотребления. В этом случае, в часы максимального водопотребления насосная станция подает несколько меньшее количество воды по сравнению с требуемым, а в часы минимального водопотребления подача насосов превышает потребление воды.

В первом случае недостаток воды компенсируется расходом, подаваемым из водонапорной башни; во втором избыток ее аккумулируется в резервуаре.

### **1.3. Роль резервуаров чистой воды**

Еще одним типом регулирующих емкостей являются резервуары чистой воды, находящиеся на границе двух зон системы. Работа сооружений первой зоны определяется режимом работы насосной станции 1-го подъема; работа сооружений второй зоны – режимом работы насосной станции 2-го подъема.

Объемы регулирующих емкостей должны быть такими, чтобы была возможность обеспечить суточное водопотребление при их совместной работе с насосами.

#### **1.4. Экономическое значение регулирующих и запасных емкостей, их роль в повышении надежности систем водоснабжения**

Для регулирования режима работы системы водоснабжения, создания противопожарных и аварийных запасов воды, хранения расходов на технологические нужды производства и на собственные нужды применяют емкости. Правильность выбора места расположения, режима работы и объемов регулирующих емкостей позволяет снизить их стоимость и повысить степень надежности системы водоснабжения. Это достигается равномерной нагрузкой водоводов и магистралей, обеспечением работы насосных станций практически в постоянном режиме при оптимальных значениях КПД насосных агрегатов.

## **2. ХАРАКТЕР РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ В ВОДОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать, что такое пьезометрический напор и чему равна его величина.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Помимо взаимосвязи режима работы сооружений и их расходов существует взаимосвязь между напорами, создаваемыми в системе. К системе водоснабжения предъявляются требования не только в отношении подачи воды потребителям в необходимых количествах, но и в отношении величин напоров, которые должны быть обеспечены в точках отбора. Напор, развиваемый насосной станцией, должен быть достаточным для преодоления потерь напора при движении воды по водоводам и линиям сети, а также для подъема воды до наивысшей точки ее отбора и излива.

### **2.1. Понятие о требуемом свободном напоре, определение его расчетной величины**

Напор, необходимый в узлах сети для снабжения водой потребителей, обычно называется **требуемым свободным напором**. СНиП 2.04.02-84 регламентирует величины требуемого свободного напора в зависимости от этажности зданий. Минимальный свободный напор в сети водопровода в населенном пункте при максимальном хозяйственно-питьевом водопотреблении на вводе в здание (над поверхностью земли) при одноэтажной застройке принимается равным не менее 10 м, при большей этажности – на каждый последующий этаж добавляется 4 м.

## 2.2. Диктующая точка на сети, ее месторасположение

Связь между напорами для схемы водоснабжения, показанной на рис. 2.2 на момент максимального водопотребления представлена на рис. 2.3. Она определяется пьезометрическими линиями, которые отражают падение напора в сети при движении воды от источника водоснабжения до ее точек, наиболее неблагоприятно расположенных в отношении обеспечения свободных напоров. Чаще всего в число наиболее неблагоприятных точек попадают те, которые имеют наибольшие геодезические отметки и наиболее удалены от водонапорной башни (при условии одинаковой этажности застройки). Они называются «**критическими**» или **диктующими точками** (точка *a* на рис. 2.3). В них будут самые низкие пьезометрические напоры и самые малые свободные напоры.

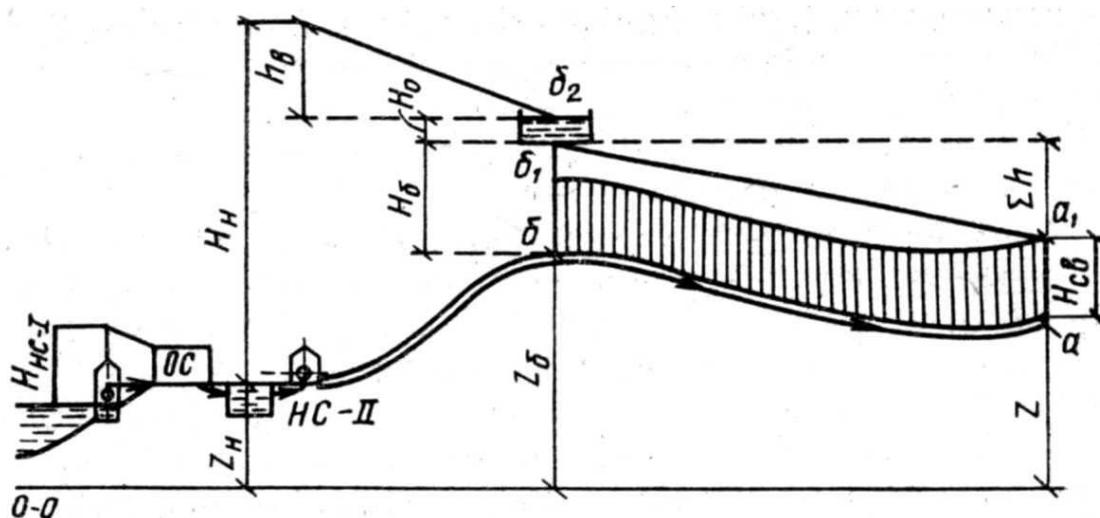


Рис. 2.3. Схема взаимосвязи между напорами в системе водоснабжения с башней в начале сети

## 2.3. Определение высоты водонапорной башни и требуемого напора насосов

Пьезометрический напор представляет собой сумму геодезической отметки рассматриваемой точки и величины свободного напора в ней. Если за диктующую точку принять точку *a*, имеющую наибольшую геодезическую отметку *z*, то требуемый свободный напор в ней будет равен  $z + H_{св.}$ , где  $H_{св.}$  – требуемый свободный напор. Пьезометрическая линия  $a_1$   $b_1$  характеризует падение напора в сети в момент максимального водопотребления. Высота водонапорной башни  $H_б$  должна быть такой, чтобы в час максимального водопотребления в точке *a* обеспечивался напор  $H_{св.}$

Связь между напорами в точках  $b$  и  $a$  определяется уравнением:

$$z_{б.} + H_{б.} = z + H_{св.} + \sum h,$$

где  $z_{б.}$  – отметка земли в месте расположения башни;

$\sum h$  – потери напора на участках сети от башни до диктующей точки.

Пользуясь этим уравнением, можно определить высоту водонапорной башни:

$$H_{б.} = H_{св.} + \sum h - (z_{б.} - z).$$

С изменением водопотребления и степени заполнения бака водонапорной башни положение пьезометрической линии будет меняться. При уменьшении водопотребления потери напора будут уменьшаться. В результате этого пьезометрическая линия будет иметь меньший уклон и поворачиваться вокруг точек  $b_1$  и  $b_2$  или в их промежуточных положениях. При прекращении отбора воды из сети пьезометрическая линия займет горизонтальное положение, отвечающее максимальному значению свободного напора.

Исходя из условий эксплуатации и класса прочности труб, применяемых в системах водоснабжения, величина максимального свободного напора в соответствии с требованиями СНиП ограничивается 60м.

Напор, развиваемый насосной станцией 2-го подъема, определяется из условия возможности подачи воды на отметку максимального уровня воды в баке водонапорной башни:

$$H_{н.} = (z_{б.} - z_{н.}) + (H_{б.} + H_{о.}) + h_{в.},$$

где  $z_{н.}$  – отметка уровня воды в резервуаре;

$H_{б.}$  – расчетная высота бака башни;

$h_{в.}$  – потери напора в напорных и всасывающих трубопроводах насосной станции, включая потери в коммуникациях.

### 3. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С КОНТРЕЗЕРВУАРОМ

#### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять особенность работы системы водоснабжения с контррезервуаром.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

В том случае, если возвышенные отметки снабжаемой водой территории находятся в противоположной от насосной станции стороне, то система водоснабжения с башней, установленной на этих отметках, называется системой с контррезервуаром (рис. 2.4). Режим работы этой системы отличается от режима работы системы с башней в начале сети.



Рис. 2.4. Система водоснабжения с контррезервуаром

В часы максимального водопотребления, забор воды городом из сети превышает подачу насосной станцией. Ее недостаток компенсируется расходом воды, подаваемой из водонапорной башни. Для системы с башней в начале сети суммарные расходы от насосной станции и водонапорной башни подаются в начальную точку сети, то есть  $Q = Q_H + Q_Б$ . В системе с контррезервуаром в эти часы максимальный расход в сеть подается с двух противоположных сторон:  $Q_H$  — от насосной станции и  $Q_Б$  от водонапорной башни. Потоки воды от этих источников будут направлены навстречу друг другу. Линия, проведенная через узлы, в которых произошла встреча потоков, называется границей зон питания (линия  $aa$  на рис. 2.4). Диктующей из расположенных на этой линии точек будет та, которая имеет наибольшую геодезическую отметку.

Такой точкой является узел  $a_1$  с геодезической отметкой  $z$ . Величина требуемого свободного напора в этой точке равна  $H_{св}$ . Зная геодезические отметки земли в месте расположения башни  $z_Б$ , а также потери напора  $\sum h_H$  при движении воды от насосной станции до точки  $a_1$  и потери напора  $\sum h_Б$  по пути от башни до этой точки, можно построить пьезометрические линии для часа максимального водопотребления (линия 1 на рис. 2.5). Они будут иметь уклоны противоположных знаков и общую точку в узле  $a_1$ .

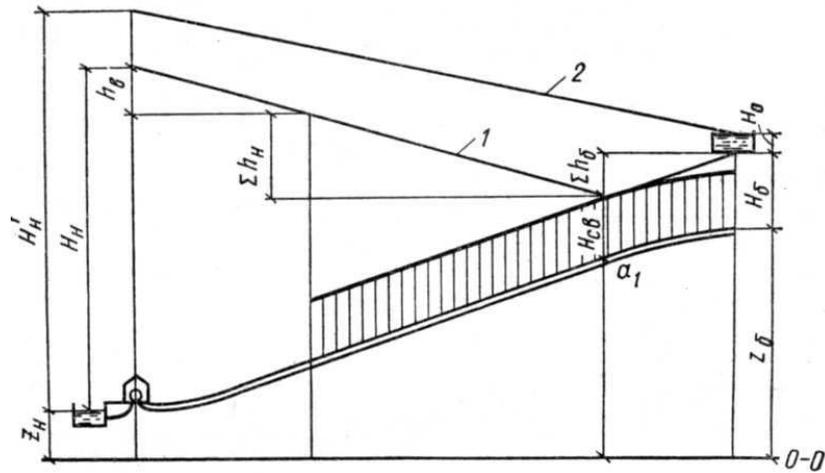


Рис. 2.5. Схема взаимосвязи между напорами в системе водоснабжения с контррезервуаром

Требуемая высота водонапорной башни  $H_b$  и необходимый напор насосов  $H_n$  определяют по формулам

$$H_b = H_{св.} + \sum h_b - (z_b - z);$$

$$H_n = H_b + (\sum h_n + h_v - \sum h_b) + (z_b - z_n),$$

где  $h_v$  – потери напора в водоводах, соединяющих насосную станцию с сетью.

В часы минимального водопотребления подача насосов превышает количество востребованной воды. В этом случае ее избыток транзитом проходит через всю сеть и сбрасывается в бак водонапорной башни. Этот момент называется **максимальным транзитом**. В этот момент пьезометрическая линия приобретает однозначный уклон (линия 2 на рис. 2.5). Наибольший напор, который должны развивать насосы, соответствует максимальному уровню воды в баке башни. Он, как правило, выше чем напор в час максимального водопотребления. Это объясняется возрастанием потерь напора в сети из-за увеличения расходов воды в районе границы зон питания и длины пути ее транспортирования.

#### 4. РЕЖИМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРА

##### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять особенности режима работы системы водоснабжения при пожаре.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

В соответствии с требованиями проектирования необходимо проводить расчеты водопроводных систем на случай пожара, исходя из условия его возникновения в час максимального водопотребления. Пожар приводит к значительному возрастанию отбираемых расходов воды из сети, а следовательно, к возрастанию потерь напора в линиях сети. При этом возрастают нагрузки на насосных станциях.

Число расчетных пожаров и количество воды, необходимое для пожаротушения, как указывалось, определяется в соответствии с требованиями СНиПа. При назначении предполагаемых мест пожара следует рассматривать наиболее неблагоприятные условия работы системы. В качестве мест пожара могут быть выбраны узлы сети, наиболее удаленные от источника питания системы и имеющие максимальные геодезические отметки.

По способу тушения пожара системы разделяются на системы пожаротушения высокого и низкого давлений. В системах пожаротушения высокого давления водопровод в момент пожара должен обеспечивать подачу воды при давлениях, необходимых для создания струй непосредственно от гидрантов. В системах водоснабжения населенных пунктов, как правило, применяют системы пожаротушения низкого давления. При этом требуется, чтобы в момент пожара напоры во всех узлах сети были не менее 10 м. Это необходимо для предотвращения падения давления ниже атмосферного при отборе воды пожарными насосами.

Во всех случаях, когда противопожарный запас хранится в резервуарах чистой воды, насосная станция 2-го подъема должна обеспечивать подачу, равную сумме потребностей на хозяйственно-питьевые нужды и пожаротушение.

Рассмотрим режим работы водопровода (рис. 2.6) в системе пожаротушения низкого давления. Пусть при нормальном режиме водопотребления в диктующей точке  $N$  требуется свободный напор  $H_{св}^{х-п}$  и отбирается расход  $q_{х-п}$ . Пьезометрическая линия займет положение  $\Gamma - A' - E$ . При возникновении пожара в этой точке устанавливается свободный напор  $H_{св}^{пож} = 10$  м и производится увеличенный отбор воды  $q_{х-п} + q_{пож}$ . В результате возросших расходов потери напора в водоводах увеличатся и пьезометрическая линия  $D - A - B$  будет иметь больший уклон, чем линия  $\Gamma - A' - E$ . Соотношение между указанными потерями напора, а также между  $H_{св}^{х-п}$  и  $H_{св}^{пож}$  влияет на положение пьезометрической линии  $D - A - B$  относительно бака башни. Если она пройдет выше башни, то есть через точку  $A$ , то требуемый свободный напор ( $H_{св} = 10$  м) в узле  $N$  будет обеспечен, когда башня отключена от водопровода. В противном случае бак

башни будет переполняться и перестанет выполняться роль регулирующей емкости. Точка  $A$  переместится в точку  $A'$ , в которой произойдет излом пьезометрической линии и она займет положение  $D - A' - B'$ . При этом, как видно из рис. 2.6, свободный напор в узле  $N$  станет ниже 10 м.

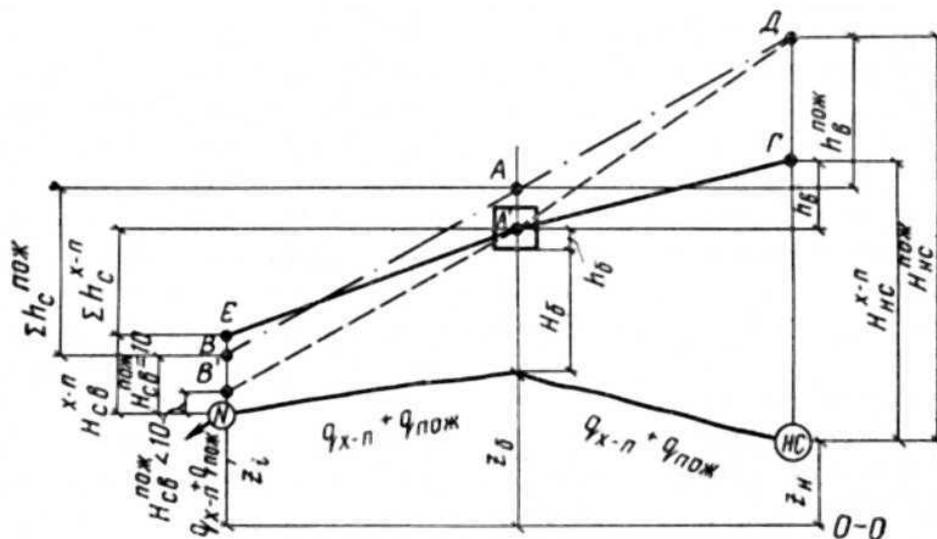


Рис. 2.6. Режим работы водопровода при пожаре

В системах с контррезервуаром наиболее неблагоприятными в отношении пожаров являются точки, расположенные вблизи башни. При пожаре будет происходить быстрое ее опорожнение. Поэтому системы с контррезервуаром рассчитывают на подачу в период пожара суммарного хозяйственного и противопожарного расхода от насосной станции.

#### Самоконтроль по УЭ-2:

1. Вспомните, чем определяется режим работы сети.
2. Вспомните, что такое пьезометрический напор и от чего он зависит.
3. Дайте определение диктующей точки сети.
4. Вспомните, как определить величину нормативного свободного напора.
5. Что такое система с контррезервуаром.
6. Вспомните, как определить требуемый напор насосов.
7. Как вы думаете, почему водонапорная башня располагается на возвышенных участках.

В этом учебном элементе вы ознакомились с режимом работы сооружений системы водоснабжения и их взаимосвязью с режимом водопотребления. В следующем учебном элементе вы ознакомитесь с особенностями проектирования зонных систем водоснабжения.

## УЭ-3. ЗОННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### Учебные цели УЭ-3:

1. Студент должен знать:
  - типы зонных систем;
  - чем обуславливается зонирование систем водоснабжения.
2. Студент должен уметь: правильно и экономически обосновано произвести выбор системы зонирования.

### Узловые вопросы для изучения УЭ-3:

1. Особенности проектирования и расчета зонных водопроводов:
  - область применения зонных систем водоснабжения;
  - основные типы зонных систем;
  - технико-экономическое обоснование зонирования, выбор системы зонирования.

## 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ЗОННЫХ ВОДОПРОВОДОВ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать, что такое зонная система водоснабжения и технико-экономическое обоснование зонирования.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

В ряде случаев характер планировки снабжаемых водой объектов, рельеф местности и различие требований отдельных потребителей к напорам приводят к целесообразности деления территории объекта на две или несколько высотных зон. Такое деление единой системы водоснабжения на отдельные системы для каждой группы потребителей принято называть **зонированием систем водоснабжения**, а сами системы – **зонными**.

### 1.1. Область применения зонных систем водоснабжения

Зонирование применяется в городских, и промышленных водопроводах.

Зонирование водопроводов промышленных предприятий применяется при большом различии свободных напоров, требуемых отдельными потребителями.

Зонирование систем городских водопроводов обуславливается в основном значительной разностью геодезических отметок и большой протяженности охватываемой водопроводом территории. Деление на зоны при значительной разности отметок или большой протяженности обслуживаемой территории вызывается чаще всего технической необходимостью: в наиболее высоко расположенной (диктующей) точке сети должен быть обеспечен необходимый свободный напор, а в нижней точке напор не должен превышать 60 м (согласно СНИП).

Зонирование водопроводной сети снижает недопустимо высокие напоры, уменьшает затраты электроэнергии на подъем воды, сокращает утечки.

### 1.2. Основные типы зонных систем

В зависимости от характера взаимного соединения зон различают системы последовательного и параллельного зонирования.

В системах параллельного зонирования, схема которой представлена на рис. 2.7, зоны включаются параллельно и вода поступает в каждую зону отдельно по своим водоводам.

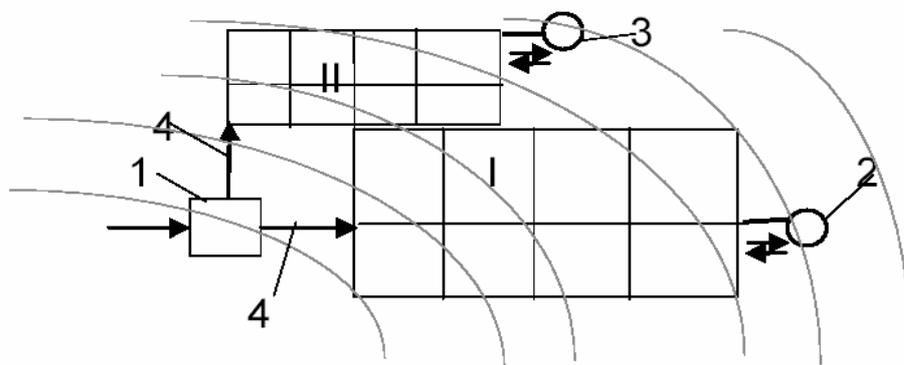


Рис. 2.7. Схема параллельного зонирования: 1 – насосная станция; 2 – водонапорная башня зоны I; 3 – водонапорная башня зоны II; 4 – водоводы

В здании насосной станции для каждой зоны установлены отдельные группы насосов, отличающиеся по производительности и напору. Каждая зона рассчитывается как отдельный объект водоснабжения.

При последовательном зонировании (рис. 2.8) вода в полном объеме водопотребности объекта сначала подается в нижнюю зону, часть ее (в объеме водопотребности верхней зоны) транзитом проходит через нижнюю зону и далее отдельной группой насосов передается в верхнюю зону.

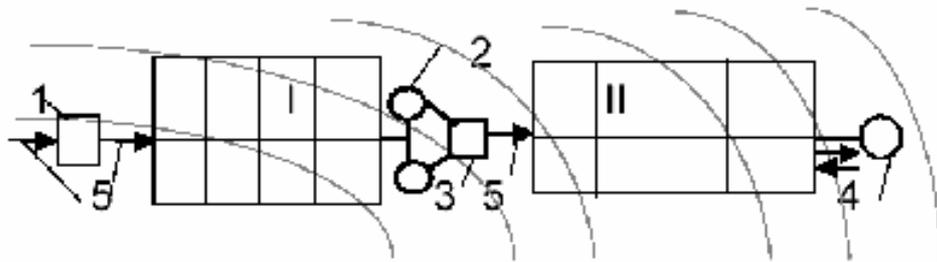


Рис. 2.8. Схема последовательного зонирования:  
 1 – насосная станция зоны I; 2 – резервуары; 3 – насосная станция зоны II;  
 4 – водонапорная башня зоны II; 5 – водоводы.

Пьезометрические линии при последовательной системе зонирования показаны на рис 2.9.

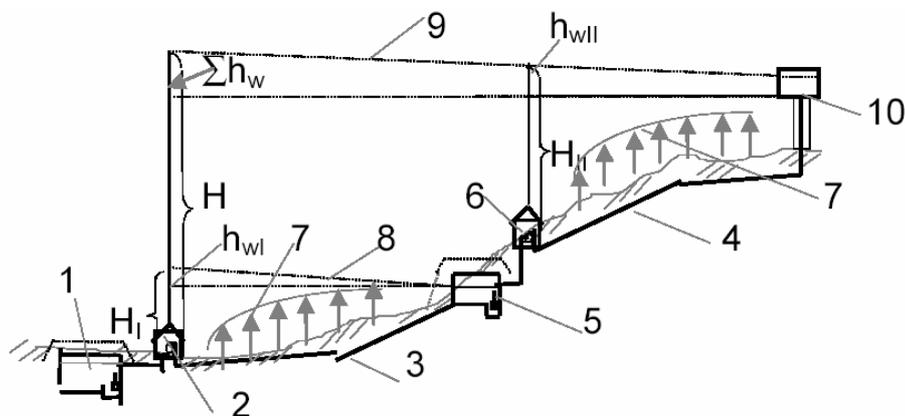


Рис. 2.9. Пьезометрический профиль зонного водопровода: 1 – РЧВ;  
 2 – насосная станция нижней зоны I; 3 – распределительная сеть нижней зоны I;  
 4 – распределительная сеть верхней зоны II; 5 – резервуар; 6 – насосная станция  
 верхней зоны II; 7 – пьезометрическая линия требуемых свободных напоров;  
 8 – пьезометрический напор в нижней зоне; 9 – то же при отсутствии  
 зонирования; 10 – водонапорная башня

### 1.3 Техничко-экономическое обоснование зонирования, выбор системы зонирования

Зонирование может быть осуществлено и в целях повышения экономичности системы за счет снижения затрат электроэнергии насосами на подъем воды. Общая затрата энергии насосами на подачу воды в сеть может быть определена по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_t + \mathcal{E}_y,$$

где  $\mathcal{E}_r$  – энергия, затрачиваемая на подъем воды отдельным потребителям и создание необходимых напоров;

$\mathcal{E}_t$  – энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений;

$\mathcal{E}_y$  – затраты энергии на бесполезную работу при подъеме общего количества воды под избыточным напором по сравнению с полезным.

Снижение энергозатрат может быть достигнуто только за счет снижения  $\mathcal{E}_y$ , так как две первые составляющие являются заданными и не могут быть изменены. Снижение  $\mathcal{E}_y$  обеспечивают зонированием водопроводной сети, то есть путем выделения в самостоятельные зоны снабжения отдельных групп потребителей, расположенных в начале сети, на низких отметках или высоко расположенных. При этом следует учитывать, что зонирование сети связано с увеличением строительных затрат, поэтому оно будет целесообразно только в том случае, если величина эксплуатационных затрат будет невелика.

При зонировании систем водоснабжения всегда снижается суммарная мощность насосных станций, снижается расход энергии на подъем воды, то есть уменьшаются эксплуатационные расходы. В ряде случаев зонирование оказывается целесообразным исключительно по экономическим соображениям даже тогда, когда оно не вызвано необходимостью избежать недопустимых давлений в сети. Таким образом, использование зонирования для повышения экономичности системы имеет смысл только в том случае, когда вызываемое зонированием повышение строительной стоимости системы и стоимости содержания эксплуатационного персонала не перекрывает соответствующей экономии, достигаемой благодаря снижению энергозатрат.

Основными факторами, влияющими на выбор системы зонирования, являются:

- форма территории города;
- расположение водопотребителей, предъявляющих сходные требования к воде;
- величина и характер изменения геодезических отметок местности в пределах снабжаемой водой территории;
- расстояние от водоисточника до объекта водоснабжения.

Если вопрос о целесообразности зонирования объекта решен положительно, то необходимо правильно и экономически обоснованно произвести выбор системы зонирования (последовательного или параллельного) и определить число зон. Экономически наиболее выгодное число зон соответствует минимальным приведенным затратам на строительство и эксплуатацию системы. Оно определяется технико-экономическими расчетами при сравнении вариантов разделения систем на отдельные зоны, с учетом соблюдения допустимых давлений в сети.

Гидравлический расчет зонных систем производится так же, как и обычных водопроводов, но с учетом их взаимосвязи и особенно влияния верхних зон на нижние.

В системах параллельного зонирования удорожание идет в основном за счет увеличения строительной стоимости водоводов от головной насосной станции до территории зон, а в системах последовательного зонирования – за счет увеличения затрат на строительство и эксплуатацию дополнительной отдельно стоящей насосной станции. Поэтому, если территория снабжаемого водой объекта имеет вытянутую вдоль горизонталей форму (рис. 2.7), то система параллельного зонирования, как правило, более выгодна, так как укладка водоводов небольшой длины  $L_I$  и  $L_{II}$  вызовет меньшие расходы, чем устройство дополнительной насосной станции.

Если застройка вытянута в направлении, перпендикулярно горизонталям, то более выгодным оказывается последовательное зонирование с устройством отдельных зон I и II и дополнительной насосной станции.

При сравнении вариантов зонирования следует иметь в виду достоинства и недостатки каждой из двух систем. К достоинствам параллельной системы зонирования могут быть отнесены:

- большая надежность водообеспечения потребителей, так как каждая зона имеет независимое питание от главной насосной станции;
- простота и меньшая стоимость эксплуатации, так как все насосное оборудование находится в одной головной насосной станции.

Недостатками параллельной системы зонирования являются:

- большая длина водоводов по территории каждой зоны, что приводит к увеличению капитальных затрат на их сооружение;
- необходимость применения насосов с относительно высокими напорами и использование труб высокой прочности для водоводов с высоким давлением.

К недостаткам системы последовательного зонирования относится необходимость устройства дополнительных отдельно стоящих насосных станций для каждой зоны и, следовательно, увеличение затрат на строительство и эксплуатацию. Кроме того, надежность этих систем ниже, чем систем параллельного зонирования.

### **Самоконтроль по УЭ-3:**

1. Назовите основные факторы, влияющие на выбор системы зонирования.

2. Назовите достоинства параллельной системы зонирования.

Итак, вы изучили учебный модуль М-2 «Системы водоснабжения и режим их работы». Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ

### Учебные цели УЭ-Р:

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. В каких случаях применяются групповые и районные системы водоснабжения, особенности их устройства.
2. Перечислите последовательное расположение элементов общей схемы системы водоснабжения.
3. Каким назначается режим работы очистных сооружений.
4. Чем определяется режим работы сети.
5. В чем разница между нормативным свободным напором и расчетным напором в любой рассматриваемой точке сети.
6. Чему равен нормативный свободный напор в диктующей точке сети при пожаре в системах пожаротушения низкого давления.
7. От чего зависит расчетное количество пожаров в населенном пункте.
8. Какие типы зонных систем вы знаете.

Чем обуславливается выбор системы зонирования.

При составлении резюме опирайтесь на основное содержание узловых вопросов УЭ-1, УЭ-2 и УЭ-3.

## УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ

После изучения данного модуля вы должны:

- знать роль, режим работы и взаимосвязь элементов в системе водоснабжения;
- знать особенности работы систем при пожаротушении;
- владеть навыками расчета пьезометрических линий.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат, 1982.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест», предложенный преподавателем.

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

### М-3. СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Приступая к изучению модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Что такое система водоснабжения?
2. Какую роль в системе водоснабжения играют водопроводные сети?
3. Чем определяется режим работы сети?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модулей М-1 и М-2.

#### УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ

- Место и значение модуля «Системы подачи и распределения воды» в системе курса: основными задачами при проектировании систем подачи и распределения воды является обеспечение потребителей расчетным количеством воды, создание в распределительных сетях требуемых напоров, надежность и бесперебойность водоснабжения.

- Цель изучения модуля:

- знать основные типы водопроводных сетей, область их применимости;
- уметь выполнить трассировку сети объекта водоснабжения;
- понять особенности отдачи воды из водопроводной сети.

Структура модуля:



Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ). Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно изучать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Типы водопроводных сетей.

УЭ-2. Расчетная схема отбора воды из сети.

УЭ-Р. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

Ключевая проблема: при проектировании водопроводной сети очень трудно установить реальную картину отбора воды, для расчета применяется упрощенная схема.

Ведущая идея: на основании упрощенной расчетной схемы водоразбора необходимо определить узловые расходы сети, а также выделить сосредоточенные расходы.

Основные понятия: тип сети, магистральные и распределительные линии сети, трассировка сети, упрощенная расчетная схема водоразбора, удельные, путевые и узловые расходы, начальное потокораспределение.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. ТИПЫ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ**

**Учебные цели УЭ-1:**

1. Студент должен знать:
  - типы водопроводных сетей;
  - роль магистральных и распределительных линий в системе трубопроводов;
2. Студент должен уметь: выполнить трассировку сети.

**Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Водопроводная сеть, ее конфигурация и связь с планировкой снабжаемого водой объекта:
  - типы сетей;
  - магистральные и распределительные линии, их роль в системе.
2. Принципы трассировки сетей на территории населенных мест и промышленных предприятий.

# 1. ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ, ЕЕ КОНФИГУРАЦИЯ И СВЯЗЬ С ПЛАНИРОВКОЙ СНАБЖАЕМОГО ВОДОЙ ОБЪЕКТА

## Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать, что такое конфигурация сети и от чего она зависит.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Водопроводная сеть представляет собой совокупность трубопроводов, по которым вода транспортируется потребителям.

Она состоит из водоводов, магистральной сети и распределительных трубопроводов. Трассу водоводов выбирают из условия подачи воды к потребителю по кратчайшему направлению, по возможности она должна иметь минимальное количество искусственных сооружений и быть доступной для обслуживания. Исходя из этого, водоводы рекомендуется прокладывать вблизи дорог с учетом границ землепользования и севооборотов. Они могут прокладываться в одну, две и более ниток с устройством переключений между ними.

Водоводы по способу транспортирования воды могут быть как напорными, так и безнапорными.

Конфигурация водопроводной сети зависит от планировки объекта, формы его поверхности, наличия естественных и искусственных препятствий, рельефа местности, расположения крупных потребителей воды, места расположения источника водоснабжения и т. д.

## 1.1. Типы сетей

По начертанию в плане различают два основных типа сетей:

- **тупиковые или разветвленные,**
- **кольцевые,**

а также комбинированные.

Тупиковые сети (рис. 3.1) в оптимальном варианте обеспечивают подачу воды к потребителю по кратчайшему пути, но не полностью удовлетворяют требованиям бесперебойности водоснабжения. В таких сетях чаще замерзает вода, сильнее проявляется разрушающее действие гидравлических ударов, наблюдается ухудшение качества воды в конечных участках.

Разветвленные сети допускается проектировать в небольших поселках с населением до 500 человек, если в случае аварии можно допустить перерыв в водоснабжении, и при устройстве специальных противопожар-

ных и аварийных емкостей. Тупиковая схема удобна для водоснабжения небольших объектов, растянутых в плане в одном направлении.

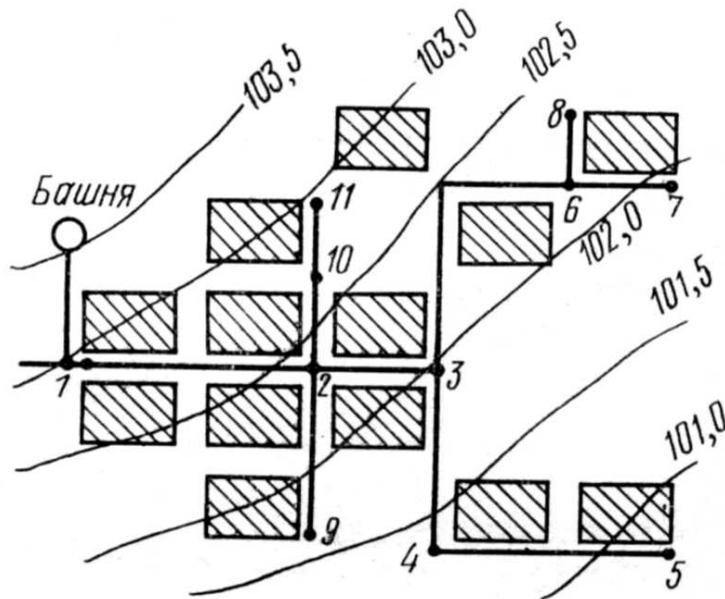


Рис. 3.1. Тупиковая водопроводная сеть

Кольцевые сети (рис. 3.2) имеют несколько большую протяженность, но обеспечивают более высокую степень надежности и бесперебойности подачи воды к потребителю, чем тупиковые. Очень часто кольцевая сеть охватывает районы наибольшего водопотребления, а к отдельным водопотребителям прокладываются от кольца тупики (комбинированные), которые при расширении населенного пункта в дальнейшем могут быть закольцованы прокладкой дополнительных водопроводных линий.

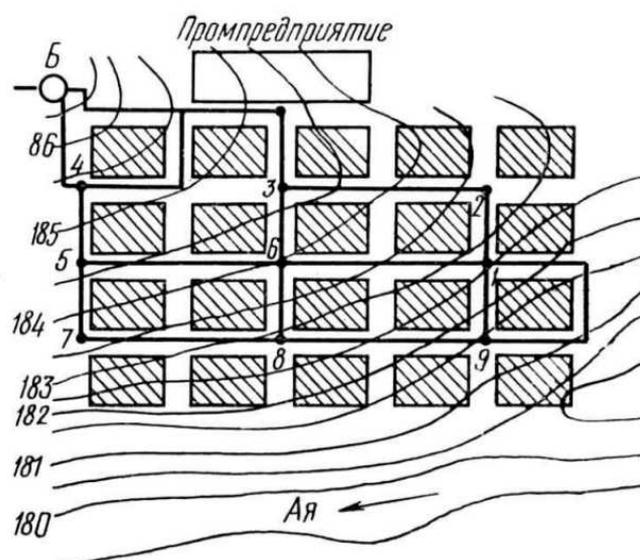


Рис. 3.2. Кольцевая водопроводная сеть

## **1.2. Магистральные и распределительные линии, их роль в системе**

Линии водопроводной сети в зависимости от их назначения можно разделить на магистральные и распределительные.

**Магистральными** называют линии, которые предназначены в основном для транспортирования воды по территории населенного пункта. В кольцевых сетях помимо магистралей, транспортирующие основные потоки воды, имеются перемычки, предназначенные в основном для перераспределения воды между магистральями при аварии на одной из них.

Вода от магистральной сети к домовым ответвлениям и пожарным гидрантам подается по **распределительной** сети, прокладываемой почти по каждой улице и проезду. Кольца, образуемые магистральными линиями и перемычками, как правило, имеют удлиненную форму, вытянутую в направлении основного потока транспортируемой воды.

## **2. ПРИНЦИПЫ ТРАССИРОВКИ СЕТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать принципы трассировки водопроводных сетей.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Трассировка водопроводной сети, то есть геометрическое начертание ее в плане, выполняется в зависимости от планировки объекта водоснабжения и размещения на его территории отдельных водопотребителей, рельефа местности, естественных или искусственных препятствий.

При трассировке сети должны учитываться перспективы развития объекта водоснабжения, возможности снижения строительных и эксплуатационных затрат.

При трассировке сети необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

– главные магистральные линии необходимо направлять по кратчайшему расстоянию к наиболее крупным водопотребителям, а также к водонапорной башне или от нее. Крупные потребители и регулирующие емкости должны иметь не менее двух присоединений по возможности от магистральных линий смежных колец;

– кольца, образуемые магистральями и перемычками, должны иметь вытянутую форму в направлении основного движения воды;

- с целью обеспечения надежности водоснабжения основных магистралей должно быть не менее двух, соединенных перемычками, позволяющими в случае аварии выключать на ремонт какой-либо участок;
- водопроводные линии должны быть расположены равномерно по всей территории объекта водоснабжения;
- для обеспечения достаточных напоров в распределительной сети магистральные линии следует прокладывать, по возможности, по наиболее возвышенным отметкам местности;
- водопроводные линии следует располагать по проездам или обочинам дорог, параллельно линиям застройки и, по возможности, вне асфальтовых или бетонных покрытий, чтобы они были доступны для эксплуатации и проведения ремонтных работ.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ К УЭ-1**

Предлагается следующее учебное задание по предложенному генплану города – выполнить трассировку кольцевой водопроводной сети населенного пункта.

### **Рекомендации к выполнению задания:**

Генплан города необходимо перенести на рабочий лист, при переносе допустимы изменения в размерах (рис. 1, разд. «Курсовое проектирование»).

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните, из каких основных линий состоит водопроводная сеть.
2. Назовите факторы, влияющие на конфигурацию водопроводной сети.
3. Вспомните, какие преимущества кольцевой водопроводной сети.

Назовите основные принципы трассировки водопроводной сети.

В этом учебном элементе вы ознакомились с элементом системы водоснабжения – водопроводной сетью, ее основными элементами и условия, влияющие на ее конфигурацию. В следующем учебном элементе вы ознакомитесь с упрощенной схемой отбора воды из сети.

## **УЭ-2. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ОТБОРА ВОДЫ ИЗ СЕТИ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - назначение расчетной схемы сети;
  - что такое удельный расход.

2. Студент должен уметь: определиться с узловыми и сосредоточенными отборами на сети.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Особенности отдачи воды из сети:

– отдачи воды из магистральных и распределительных линий; домовые присоединения;

– устройство сопровождающих линий при магистралях больших диаметров.

2. Назначение упрощенной расчетной схемы водоразбора:

– удельный расход;

– выделение крупных сосредоточенных расходов;

– путевые, транзитные и расчетные расходы отдельных участков сети;

– приведение путевых расходов к узловым.

## **1. ОСОБЕННОСТИ ОТДАЧИ ВОДЫ ИЗ СЕТИ**

### **Рекомендации:**

• Уясните смысл вопроса – вы должны знать схемы отдачи воды из магистральных и распределительных сетей.

• Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Картина отбора воды из сети потребителями весьма сложна, установить ее в полном объеме практически невозможно. Реальная картина забора воды может быть представлена лишь для объектов, имеющих небольшое число потребителей.

### **1.1. Отдача воды из магистральных и распределительных линий; домовые присоединения**

Вода от магистральной сети к домовым ответвлениям и пожарным гидрантам подается по распределительной сети, прокладываемой почти по каждой улице и проезду. Распределительная сеть оказывает существенную помощь системе магистральных линий во время аварии при переброске расходов с одних магистралей на другие. Количество воды, поступающей к потребителям через каждый ввод, зависит от числа жителей в доме, их образа жизни и других факторов.

## 1.2. Устройство сопровождающих линий при магистралях больших диаметров

Отбор воды может происходить и от линий магистральной сети, если их диаметры невелики. При больших диаметрах магистралей экономически оправдано применение так называемых «сопровождающих» линий, прокладываемых между узлами параллельно участку магистрали. К этим линиям присоединяются домовые вводы.

## 2. НАЗНАЧЕНИЕ УПРОЩЕННОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ВОДОРАЗБОРА

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать расчетную схему отбора воды из сети, ее назначение.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Рассмотрим один из участков  $A - I$  распределительной сети (рис. 3.3). Под участком сети подразумевается линия, ограниченная двумя узлами сети. Между узлами  $A$  и  $I$  в отдельных местах отбора наблюдаются различные по величине расходы  $q_i$ .

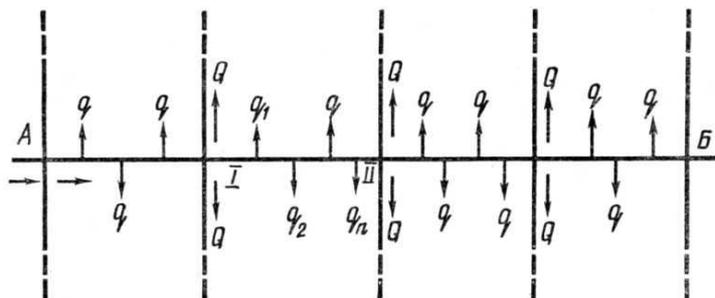


Рис. 3.3. Схема отбора воды из сети

Это характерно и для всех остальных линий распределительной сети  $A - Б$ . Линия  $A - Б$  может питать водой не только вводы, но и присоединяемые к ней распределительные линии, транспортирующие расходы  $Q_i$ . Учитывая, что фактически отбор воды из сети происходит в огромном числе точек с неизвестной и непрерывно меняющейся интенсивностью, для расчета систем распределения воды применяется упрощенная схема. Она предусматривает, что при одинаковой плотности застройки и одинаковой норме водопотребления отдельных районов подаваемая в сеть вода расходуется равномерно по ее длине.

## 2.1. Удельный расход

Расход, отнесенный к одному метру длины рассматриваемой сети, называется **удельным расходом**, л/с, и определяется по формуле

$$q_{уд}^i = \frac{Q_i - Q_{соср. i}}{\sum l_i \cdot \alpha},$$

где  $Q_i$  – суммарный расход  $i$ -го района для принятого расчетного случая, л/с;

$Q_{соср. i}$  – сосредоточенные расходы для этого же района, л/с;

$\sum l_i$  – суммарная длина участков  $i$ -го района, м;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий водоотдачу участка. Для тех участков, которые по протяженности не имеют застройки (водоводы)  $\alpha = 0$ ; для участков, имеющих одностороннюю застройку  $\alpha = 0,5$ ; для участков, имеющих двухстороннюю застройку  $\alpha = 1$ . При расположении данного участка на границе двух районов с разной плотностью проживающего в ней населения или с разной степенью благоустройства в  $\sum l$  включается половина длины данного участка для каждой зоны.

Однако, одним из недостатков разбивки расхода пропорционально длинам линий является то, что длина линии еще не определяет число снабжаемых водой жителей и, следовательно, количество отдаваемой воды. Более точного расчета можно достигнуть, если удельный расход определять не на единицу длины сети, а на единицу площади территории снабжаемой водой кварталов населенного пункта.

## 2.2. Выделение крупных сосредоточенных расходов

В сумму равномерно распределенных расходов не включаются расходы воды отдельных крупных предприятий, а также противопожарные расходы. Эти расходы выделяются в сосредоточенные расходы в определенных узловых точках у места их расположения.

## 2.3. Путьевые, транзитные и расчетные расходы отдельных участков сети

Если всю водопроводную сеть разбить на участки, то суммарный равномерно распределенный расход будет равен сумме расходов по всем участкам. Расход воды каждым участком называется **путевым расходом**, л/с. Он равен

$$q_{пут.} = q_{уд.} \cdot l \cdot \alpha.$$

Сумма всех путевых и сосредоточенных расходов равна полному расходу  $Q$  в расчетный момент времени.

Каждый участок сети, кроме путевого расхода  $q_{\text{пут.}}$ , пропускает транзитный расход  $q_{\text{тр.}}$ , необходимый для питания последующих участков. При этом расход в начале участка составит  $(q_{\text{пут.}} + q_{\text{тр.}})$ , а в конце –  $q_{\text{тр.}}$ .

При расчете сети переменный путевой и постоянный транзитный расходы заменяют некоторым расчетным эквивалентным расходом.

Расчетный расход  $q_{\text{р.}}$  участка, имеющего путевой расход  $q_{\text{пут.}}$  и транзитный  $q_{\text{тр.}}$  может быть вычислен по формуле

$$q_{\text{р.}} = q_{\text{тр.}} + \alpha \cdot q_{\text{пут.}}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от соотношения транзитного и путевого расходов участка сети и изменяющийся от 0,5 до 0,58. Как правило, коэффициент  $\alpha$  принимается равным 0,5.

#### **2.4. Приведение путевых расходов к узловым**

В практике расчетов обычно путевые расходы заменяют так называемыми **узловыми расходами**. Если разбить путевой расход  $q_{\text{пут.}}$  пополам и отнести  $0,5 \cdot q_{\text{пут.}}$  в начальную и конечную точку рассматриваемого участка, то узловой расход по узлам сети будет равен полусумме путевых расходов всех участков, примыкающих к данному узлу. При этом расчетные расходы участков равны их транзитным расходам. Последние определяются в соответствии с предварительным потокораспределением воды по линиям сети.

Как указывалось, упрощенная схема отбора воды из сети идеализирует реальную картину ее работы. Другим упрощением при расчетах является допущение о независимости величины узловых отборов от давления в сети, то есть узловые отборы считаются фиксированными. Это объясняется практической невозможностью учета всех факторов, влияющих на величину отбора воды в каждом узле.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ К УЭ-2**

В качестве практических занятий предлагается выполнить следующие учебные задания по исходным данным, разработанным по вариантам:

1. Определить удельные расходы.
2. Определить путевые расходы для каждого участка сети.
3. Привести путевые расходы к узловым.
4. На схеме водопроводной сети выделить сосредоточенные расходы.

**Рекомендации к выполнению задания 1:**

Согласно упрощенной схемы отбора воды из сети определить удельные расходы на единицу длины водопроводной сети в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 2.1.

**Рекомендации к выполнению задания 2:**

Определить путевые расходы воды для каждого участка сети согласно рекомендациям, изложенным в разделе 2.3.

**Рекомендации к выполнению задания 3:**

На основании найденных путевых расходов по каждому участку сети определить величины узловых расходов согласно материалу, изложенному в разделе 2.4.

**Рекомендации к выполнению задания 4:**

По таблице распределения суточного расхода воды по часам суток (см. практическое занятие к УЭ-2 модуля 1) определить суммарный расход воды промышленного предприятия. Это и есть величина сосредоточенного расхода, который необходимо отнести в ближайший узел в месте расположения промышленного предприятия.

**Самоконтроль по УЭ-2:**

1. Вспомните назначение упрощенной схемы отбора воды из сети.
2. Дайте определение удельному расходу.
3. Вспомните, какие расходы относятся к сосредоточенным.
4. Вспомните, как определить путевые расходы.

Вспомните, что такое узловой отбор и как его определить.

Итак, вы изучили учебный модуль М-3. Системы подачи и распределения воды. Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

**Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Чем определяется конфигурация сети.
2. Что такое тупиковая сеть и какие ее недостатки.

3. Что такое магистральная линия и ее назначение.
  4. Что такое распределительная линия и ее назначение.
  5. Перечислите основные принципы трассировки сети.
  6. Почему для расчета сети применяется упрощенная схема водоразбора.
  7. Что такое удельный расход.
  8. Как можно определить путевой расход.
- Какой узловой отбор называется фиксированным.

### **УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ**

После изучения данного модуля вы должны:

- знать роль магистральных и распределительных линий в схеме водопроводной сети;
- назначение упрощенной схемы отбора воды из сети;
- владеть навыками определения удельных, путевых и узловых расходов.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат, 1982.

Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределение воды. – М.:Стройиздат, 1972.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест».

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## М-4. РАСЧЕТ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Для изучения данного модуля потребуются опорные знания и умения из ранее изученного материала.

Приступая к изучению данного модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Какова роль магистральных и распределительных линий в системе трубопроводов?
2. Какое назначение расчетной схемы сети?
3. Что такое узловой расход и как он определяется?
4. Какие расходы относятся к фиксированным?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модуля М-3.

• **Место и значение модуля:** Расчет системы распределения воды производится в целях определения диаметров труб и потерь напора для преодоления сопротивлений в трубопроводах при транспортировке по ним необходимых количеств воды. Потери напора в сетях и водоводах определяются для расчета необходимой высоты водонапорной башни (при системе водоснабжения с башней на сети), а также требуемого напора насосного оборудования, подающего воду в сеть.

- **Цель изучения модуля:**
- знать принципы начального потокораспределения;
  - владеть навыками определения диаметров магистральных линий водопроводной сети и назначения диаметров перемычек;
  - владеть навыками определения потерь напора в водопроводных трубах;
  - знать теорию гидравлического расчета сети;
  - знать особенности расчета сетей с контррезервуаром и разветвленных сетей;
  - уметь строить пьезокарты;
  - знать принципы внешней увязки сети.

Структура модуля:

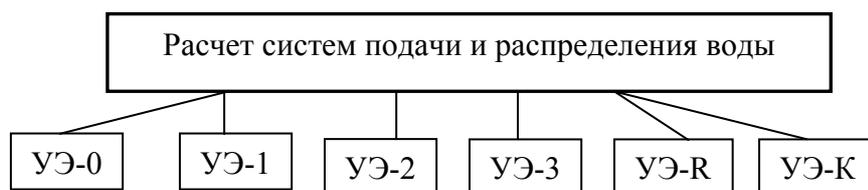


Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ). Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно изучать.

**Названия учебных элементов:**

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Подготовка сети к гидравлическому расчету.

УЭ-2. Гидравлический расчет водопроводных сетей.

УЭ-3. Совместная работа водоводов, сетей, насосных станций и регулирующих емкостей.

УЭ-R. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

### **УЭ-0. Введение в модуль**

**Ключевая проблема:** назначение гидравлического расчета водопроводной сети.

**Ведущая идея:** расчет системы подачи и распределения воды позволяет определить фактические расходы, подаваемые насосной станцией и башней, напоры, развиваемые ими, а также свободные напоры в узлах сети.

**Основные понятия:** начальное потокораспределение, экономически выгодный диаметр труб, внутренняя увязка кольцевых сетей, пьезокарты, внешняя увязка сетей.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

### **УЭ-1. ПОДГОТОВКА СЕТИ К ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ**

**Учебные цели УЭ-1:**

1. Студент должен знать:

- основные принципы начального потокораспределения;
- определение экономически выгодного диаметра трубопроводов.

2. Студент должен уметь: определять потери напора в водопроводных трубах по таблицам Шевелева и известным формулам гидравлики.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Начальное потокораспределение.
2. Определение диаметров труб:
  - выражение величины приведенных затрат для водопроводных линий при подаче воды насосами;
  - экономически выгодный диаметр труб;
  - «предельные расходы» и их расчет;
  - приведенные расходы; определение диаметров труб методом сечений.
3. Потери напора в водопроводных трубах:
  - определение потерь напора в трубах: удельные сопротивления, таблицы.

## **1. НАЧАЛЬНОЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать назначение начального потокораспределения и принципы его выполнения.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Для обеспечения надежности водопроводная сеть, как правило, проектируется кольцевой. Кольца образуются рядом транзитных магистральных линий, транспортирующих основные потоки воды к потребителям по наиболее коротким путям, и перемычками, соединяющими эти магистрали, для возможности перераспределения воды между ними при авариях на отдельных участках.

В кольцевой сети заданные отборы воды в узлах могут быть обеспечены неограниченным числом вариантов распределения потоков воды по ее участкам. Поэтому первой подготовительной операцией, предшествующей гидравлическому расчету кольцевой сети, является ориентировочное распределение потоков воды по линиям сети.

Характер потокораспределения в сети в большой степени зависит от ее конфигурации, расположения водопитателей и напорных емкостей, а также крупных водопотребителей.

Начальное потокораспределение для каждого расчетного случая производят с учетом баланса расходов в узлах сети (первый закон Кирхгофа): количество воды, притекающей к узлу, должно быть равно количеству воды, вытекающей или отбираемой из узла.

Схемы начального потокораспределения для выбранных расчетных случаев позволяют установить значения расчетных расходов отдельных участков. Естественно, для различных расчетных случаев расходы на одних и тех же участках сети будут различными.

Принятое решение о потокораспределении весьма важно, так как расходы, соответствующие ему, принимаются как исходные данные при технико-экономическом расчете диаметров.

Обычно начальное потокораспределение ведется в следующей последовательности:

- намечают основные параллельные пути снабжения водой от источника питания до самых отдаленных точек потребления воды. Эти направления иногда называют транзитными;

- определяется точка **схода потоков** (таких точек может быть несколько);

- начиная от точки схода потоков намечают расходы воды по основным путям с учетом первого закона Кирхгофа. По возможности основные параллельные пути снабжения водой потребителей должны иметь одинаковую загруженность.

После проведения перечисленных операций по расчетным расходам определяют диаметры участков сети.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ТРУБ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать факторы, влияющие на диаметр магистральных линий и перемычек водопроводной сети и методы их определения.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

### 2.1. Выражение величины приведенных затрат для водопроводных линий при подаче воды насосами

При расчете водоводов и водопроводных сетей решение задачи по выбору диаметров труб основано на применении таких диаметров труб, использование которых обеспечит минимальные приведенные затраты  $P_{пр.}$  на строительство  $P_{ст.}$  и эксплуатацию  $P_{эк.}$  за расчетный срок  $T_{ок.}$ .

В общем виде приведенные затраты могут быть представлены следующим образом:

$$P_{пр.} = P_{ст.} / T_{ок.} + P_{эк.}$$

Величина  $P_{ст.}$  определяет стоимость строительства водопроводных линий. Эксплуатационные затраты  $P_{эк.}$  представляют собой сумму двух составляющих: стоимости электроэнергии  $P_{эл.}$ , затрачиваемой на преодоление потерь напора в трубах и подъем воды на требуемую геометрическую высоту, а также затрат  $P_{а.}$ , определяющих стоимость ремонтных работ и отчислений на амортизацию. Величина  $P_{а.}$  принимается как некоторый процент  $R$  от строительной стоимости  $P_{ст.}$ , т. е.

$$\frac{RP_{ст.}}{100} = P_{а.}$$

Тогда

$$P_{пр.} = \frac{P_{см.}}{T_{ок.}} + \frac{P_{см.}R}{100} + P_{эл.} = P_{см.} \left( \frac{1}{T_{ок.}} + \frac{R}{100} \right) + P_{эл.}$$

Из гидравлики известна взаимосвязь между диаметром трубопровода  $d$  и транспортируемым расходом  $Q$ :

$$Q = \omega v = \pi d^2 v / 4,$$

где  $\omega$  – площадь поперечного сечения трубы;  $d$  – диаметр трубы;  $v$  – скорость движения воды.

При расчете по соображениям надежности задается предварительное потокораспределение, поэтому расход  $Q$  в линии считается известным. Из приведенной формулы следует, что увеличение скорости приводит к уменьшению диаметра трубопровода и, наоборот, увеличение диаметра приведет к уменьшению скорости движения воды. То и другое оказывает влияние на приведенные затраты.

С возрастанием скорости движения воды в трубопроводе в свою очередь возрастут потери напора  $h$ , что приведет к увеличению требуемой мощности насосных агрегатов, подающих воду. В результате вырастут затраты энергии на подъем воды  $P_{эл.}$ . Одновременно с увеличением скорости движения воды произойдет уменьшение требуемого диаметра  $d$  для транспортирования расхода  $Q$ , а, следовательно, уменьшится строительная стоимость трубопровода  $P_{ст.}$ .

## 2.2. Экономически выгодный диаметр труб

Выбор диаметров труб должен производиться на основе технико-экономического расчета, учитывающего влияние отдельного участка сети на работу всего комплекса водопроводной системы. Решение этой задачи

крайне трудоемко и сложно для практического применения в проектировании. В обычных случаях пользуются упрощенными способами, которые достаточно надежно обеспечивают учет экономических факторов.

Упрощение сводится к тому, что отдельный участок сети рассматривается как работающий независимо от остальных участков.

Технико-экономическую характеристику рассматриваемого трубопровода и его материала можно приближенно установить на основании величины  $\mathcal{E}$ , называемой **экономическим фактором**, значение которой определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{m \cdot \beta}{\alpha \cdot b},$$

где  $m$  – показатель степени в формуле для определения гидравлических потерь в трубопроводе;

$\beta$  – коэффициент, входящий в значение экономического фактора и равный

$$\beta = \frac{24 \cdot 365}{102} \cdot 10^3 \cdot \frac{k \gamma \sigma}{\eta \left( \frac{1}{T} + \frac{R}{100} \right)},$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от материала труб;

$\gamma$  – коэффициент неравномерности расходования энергии, зависящий от коэффициента неравномерности потребления и подачи воды;

$\sigma$  – стоимость электроэнергии в руб./кВт-ч;

$\eta$  – КПД насосных агрегатов, подающих воду;

$T$  – срок окупаемости;

$R$  – сумма амортизационных отчислений, затрат на капитальный и текущий ремонт в % от строительной стоимости;

$\alpha$  – показатель степени в формуле, определяющий стоимость  $C$  строительства 1 км трубопровода в зависимости от его материала и диаметра:

$$C = (a_0 + d^\alpha b),$$

где  $a_0$  – часть стоимости трубопровода, не зависящая от диаметра и поэтому не меняющая свою величину, принимается по таблице;

$b$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от материала труб.

Экономически наиболее выгодные диаметры труб могут определяться (для независимо работающих участков) по формуле

$$d = \mathcal{E}^{0,145} q^{0,42}.$$

Таким образом, видно, что величина  $\mathcal{E}$ , а следовательно, и величина  $d$  при данном расходе  $q$  будет увеличиваться с возрастанием стоимости электроэнергии и уменьшаться с увеличением стоимости строительства трубопроводов.

Среднее значение экономического фактора для Белоруси можно считать равным 0,75.

### 2.3. «Предельные расходы» и их расчет

Вычисленный экономически наиболее выгодный диаметр, как правило, не соответствует ближайшему стандартному диаметру труб, выпускаемых промышленностью. При использовании труб стандартных диаметров приведенные затраты тем больше, чем значительнее отклонение принятого сортаментного диаметра от оптимального. Для возможности выбора наиболее выгодных стандартных диаметров необходимо найти значения **предельных расходов**, при которых приведенные затраты для труб ближайших сортаментных диаметров будут равноценны. Их находят путем сопоставления единичных приведенных затрат для двух труб смежных по сортаменту диаметров.

График для определения предельных расходов приведен на рис. 4.1. По оси ординат отложены отношения приведенных затрат для труб стандартного диаметра  $P_{пр}$  к приведенным затратам для труб оптимального диаметра  $P_{пр.опт}$ ; по оси абсцисс – значение расхода  $Q$ . Каждому сортаментному диаметру  $d_1, d_2$  и т. д. соответствует оптимальное значение расхода  $Q'_{опт}, Q''_{опт}$  и т. д., при котором  $P_{пр.}/P_{пр.опт} = 1$ . Точки пересечения кривых определяют границы целесообразности (предельные расходы):  $Q'_{пред}$  – для диаметров  $d'$  и  $d''$ ,  $Q''_{пред}$  – для диаметров  $d''$  и  $d'''$  и т. д.

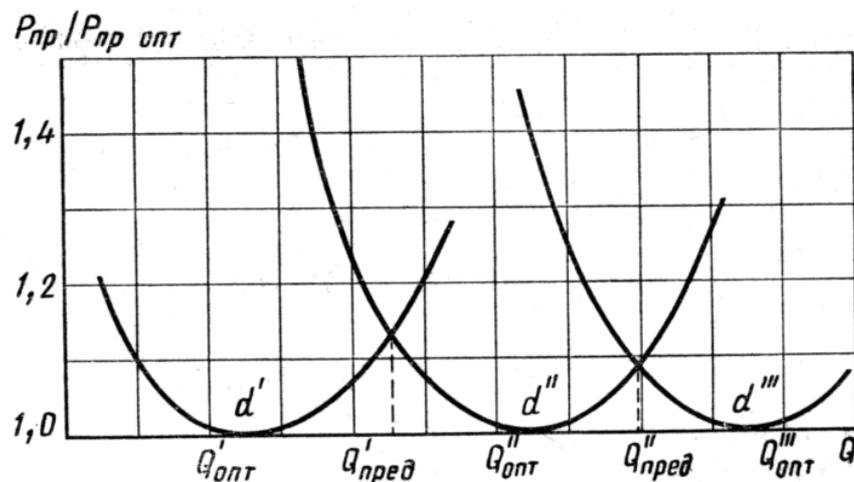


Рис. 4.1. График определения «предельных расходов»

В практике расчетов пользуются таблицами предельных расходов. Эти таблицы составляют для определенных значений экономического фактора Э.

#### **2.4. Приведенные расходы. Определение диаметров труб методом сечений**

**Приведенным расходом** называется расход  $q_0$ , л/с, независимо работающей линии, который дает значение наивыгоднейшего диаметра для расхода  $q$ , л/с, на рассматриваемом участке при любом значении Э<sub>ф</sub>.

Метод сечений предполагает проведение сечений через все магистральные участки сети, проведенные перпендикулярно движению воды.

Коэффициенты сечения можно определить по формуле

$$K_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{\sum q_i}},$$

где  $Q$  – суммарный расход воды, подаваемый в город насосной станцией с учетом сосредоточенных расходов, которые должны отбираться из ближайших узлов;

$\sum q_i$  – суммарные расходы воды участков, через которые проходит данное сечение;

Для каждого  $i$ -го участка сети можно определить приведенные расходы по формуле

$$q_{пр.} = q_i K_{ci},$$

где  $q_i$  – расход проходящий по участку после начального потокораспределения;

$K_{ci}$  – коэффициент сечения, проходящего через этот участок.

Далее по таблице предельных расходов выбираются диаметры магистральных трубопроводов.

Диаметры перемычек назначаются конструктивно из расчета пропуска через них расхода, который они будут пропускать при аварии на магистральных линиях.

### **3. ПОТЕРИ НАПОРА В ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБАХ**

#### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать какие факторы влияют на величину потерь напора в трубопроводах и какими методами потери напора можно определить.

- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Для выполнения гидравлического расчета сети необходимо определение потерь напора в водопроводных трубах.

Потери напора при движении воды по трубам пропорциональны их длине и зависят от диаметра труб, расхода воды, характера и степени шероховатости стенок труб и от области гидравлического режима их работы.

### 3.1. Определение потерь напора в трубах: удельные сопротивления, таблицы

Основной формулой инженерной гидравлики, связывающей все указанные характеристики, является формула Дарси-Вейсбаха

$$h_{ik} = \lambda \frac{l_{ik} \sigma_{ik}^2}{d_{ik} 2g},$$

где  $h_{ik}$  – потери напора участка;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления этого участка;  $l_{ik}$  и  $d_{ik}$  – длина и диаметр трубы участка;  $\sigma_{ik}$  – скорость движения воды в трубе;  $g$  – ускорение свободного падения.

Для расчетов водопроводных систем удобнее модификация этой формулы, в которой скорость заменена расходом:

$$h_{ik} = k \frac{q_{ik}^2 l_{ik}}{d_{ik}^m},$$

где  $k$  – коэффициент;  $q_{ik}$  – расход воды на участке;  $m$  – показатель степени.

Обе представленные формулы являются частным случаем (при напорном движении в трубах) более общей формулы, охватывающей случаи напорного и безнапорного движения в каналах и трубах:

$$\sigma = C \sqrt{R_i},$$

где  $C$  – коэффициент Шези;  $R$  – гидравлический радиус;  $i$  – гидравлический уклон.

Коэффициенты  $\lambda$ ,  $k$  и  $C$  имеют одинаковую природу и связаны следующими соотношениями:

$$\lambda = \frac{g\pi^2}{8} \cdot k = \frac{8g}{C^2}; \quad k = \frac{8}{g\pi^2} \cdot \lambda = \frac{64}{\pi^2 C^2}.$$

При работе труб в области квадратичного сопротивления значения этих коэффициентов зависят только от их диаметра и шероховатости. В этой области, как показали опыты, работают не новые стальные и чугунные трубы при скорости движения воды  $v \geq 1,2$  м/с.

При работе труб в переходной области турбулентного режима значения  $\lambda$  ( $k$  и  $C$ ) зависят от диаметра и шероховатости труб, а также от числа Рейнольдса, то есть от скорости (или расхода) при данном диаметре трубы и вязкости жидкости. В этой области работают не новые стальные и чугунные трубы при скорости движения жидкости  $V < 1,2$  м/с, а также новые металлические и асбестоцементные трубы – при практически всех используемых скоростях движения воды.

При работе труб в области «гидравлически гладких» значения указанных коэффициентов от диаметра труб и числа Рейнольдса и не зависят от их шероховатости. В этой области работают пластмассовые и стеклянные трубы.

Влияние шероховатости внутренней поверхности труб на их гидравлическое сопротивление учитывается различными эмпирическими формулами, выведенными для труб разных типов или на основе экспериментальных данных, или с использованием некоторых численных характеристик шероховатости.

Исходя из того, что потери напора  $h$  пропорциональны длине водопроводной линии, можно потери напора на единицу длины определять безразмерной величиной – гидравлическим уклоном  $i_{ik} = h_{ik}/l_{ik}$  и находить полные потери напора для водопроводной линии любой длины:  $h_{ik} = l_{ik} i_{ik}$ .

Ф.А. Шевелевым предложены следующие формулы для определения единичных потерь напора в трубах:

– не новых стальных и чугунных, работающих в квадратичной области при движении жидкости со скоростью  $v \geq 1,2$  м/с

$$i_{ik} = \frac{0,001735}{d_{ik}^{5,3}} \cdot q_{ik}^2;$$

– не новых стальных и чугунных, работающих в переходной области при движении жидкости со скоростью  $V < 1,2$  м/с

$$i_{ik} = \frac{0,000148}{d_{ik}^{5,3}} \left( 1 + \frac{0,867}{v_{ik}} \right)^{0,3} q_{ik}^2;$$

– асбестоцементных

$$i_{ik} = \frac{0,00091}{d_{ik}^{5,19}} \left( 1 + \frac{3,51}{v_{ik}} \right)^{0,19} q_{ik}^2;$$

– пластмассовых

$$i_{ik} = \frac{0,001052}{d_{ik}^{4,774}} \cdot q_{ik}^{1,774}.$$

Для новых металлических труб, работающих только в переходной области, существуют специальные расчетные формулы, однако пользоваться ими можно только в том случае, если есть гарантия, что в процессе эксплуатации не будут наблюдаться внутренняя коррозия и образование отложений.

Если общую формулу потерь напора представит в виде:

$$h_{ik} = s_o \cdot l_{ik} \cdot q_{ik}^2,$$

то величина  $s_o$  будет включать все факторы, характеризующие гидравлическое сопротивление на единицу длины линии. Величина  $s_o$  называется **удельным гидравлическим сопротивлением**. Полное гидравлическое сопротивление всей линии  $s_{ik} = s_o \cdot q_{ik}^2$ . Для труб, работающих в неквадратичной области, в величину  $q$  входит расход в некоторой дробной степени. Тогда общая формула потерь напора имеет вид

$$h_{ik} = s_{ik} q_{ik}^\beta = \frac{k_o l_{ik}}{d_{ik}^m} q_{ik}^\beta.$$

Степень  $\beta$  находится в пределах 1,75 – 2. Некоторые формулы невозможно привести к указанному виду. При их использовании потери напора определяют по квадратичным зависимостям и после этого в значение потерь вводят поправочный коэффициент  $\delta$ , зависящий от скорости:

$$h_{ik} = s_o \cdot l_{ik} \cdot \delta \cdot q_{ik}^2.$$

Значения удельных сопротивлений  $s_o$  и поправочных коэффициентов  $\delta$  приводятся в справочной литературе по гидравлическим расчетам.

Для облегчения и ускорения процесса определения потерь напора широко используются различные вспомогательные таблицы, графики, номограммы и т. п.

Широкое распространение получили так называемые «полные» таблицы для определения потерь напора. Они дают величины потерь напора на единицу длины (то есть  $i$ -тую или  $1000i$ -тую – потерю на 1000 м длины) для всех стандартных диаметров труб различных типов в широком диапазоне расходов.

Структура таких таблиц (в том числе таблиц Ф.А. Шевелева) имеет вид:

|                  |                  |         |                  |         |                  |         |                  |         |
|------------------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| $q, \text{ л/с}$ | $D_1$            |         | $D_2$            |         | $D_3$            |         | $D_n$            |         |
|                  | $v, \text{ м/с}$ | $1000i$ |

Пользуясь таблицей, можно для заданного  $q$  определить величину потерь на 1 км и соответственно, потери, соответствующие заданной длине.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ К УЭ-1

В качестве практических занятий предлагается выполнить следующие учебные задания по исходным данным, разработанным по вариантам:

1. Выполнить начальное потокораспределение.
2. Определить диаметры магистральных линий и перемычек.

### Рекомендации к выполнению задания 1:

Для выполнения этого задания необходимо согласно рекомендациям, изложенным в разделе 1, выполнить начальное потокораспределение.

### Рекомендации к выполнению задания 2:

На основании выполненного начального потокораспределения определить диаметры магистральных линий методом сечений, а также конструктивно назначить диаметры перемычек. При выполнении данного задания руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделе 2.4, УЭ-1

Значения предельных расходов для чугунных труб представлены в таблице:

| Предельный расход, л/с | Расчетный диаметр, мм | Предельный расход, л/с | Расчетный диаметр, мм |
|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                      | 2                     | 1                      | 2                     |
| 9,65                   | 102,0                 | 298,28                 | 500,8                 |
| 21,50                  | 152,4                 | 411,51                 | 600,2                 |
| 40,25                  | 202,6                 | 561,13                 | 699,4                 |
| 62,99                  | 253,0                 | 826,62                 | 799,8                 |
| 104,55                 | 304,4                 | 1036,64                | 899,2                 |
| 185,07                 | 401,4                 | 1995,04                | 998,4                 |

### Самоконтроль по УЭ-1:

1. Вспомните для чего выполняется начальное потокораспределение.
2. Подумайте каким образом диаметр труб водопроводной сети влияет на величину напора насосной станции, подающей воду в эту сеть.

## **УЭ-2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - задачи гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей;
  - особенности гидравлического расчета сетей с контррезервуаром;
2. Студент должен уметь: выполнить гидравлический расчет сети по известным методам.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Задача гидравлического расчета кольцевой водопроводной сети.
2. Теория увязки сетей:
  - методы внутренней увязки кольцевых сетей;
  - расчет разветвленных сетей.

## **1. ЗАДАЧА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать задачи гидравлического расчета.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Задачей гидравлического расчета сети является определение по установленным расчетным расходам наиболее выгодных диаметров труб и соответствующих потерь напора для каждого участка сети.

Экономический расчет магистральной сети населенного пункта имеет важное значение, так как водопроводная сеть является самым дорогим элементом системы подачи и распределения воды.

Водопроводные сети обычно рассчитываются на следующие расчетные случаи:

- максимальное хозяйственно-производственное водопотребление из сети;
- тушение расчетного количества пожаров при максимальном хозяйственно-производственном потреблении воды;
- максимальный транзит воды в башню, который приходится на часы минимального водопотребления из сети в период работы насосной станции;
- питание сети только из водонапорной башни в часы, когда насосная станция не работает.

На первые два случая рассчитывается безбашенная сеть и сеть с проходной башней, на первый и третий – сеть с контррезервуаром.

Обычно первый случай является основным, для режима которого определяют диаметры труб участков сети и высоту водонапорной башни. Условиями второго расчетного случая проверяют возможность пропуска расчетных расходов на наружное пожаротушение при допустимых скоростях движения воды по трубам, а также определяют расчетный напор противопожарных насосов. Третьим случаем определяют величину свободных напоров в узловых точках сети, а также проверяют диаметры труб на участках сети, прилегающих к башне.

Диаметры труб на этих участках принимают по наибольшим расходам для первого или третьего расчетного случая работы сети. Кроме того, по результатам расчета сети для первого и третьего случаев определяют расчетный напор хозяйственных насосов. Четвертым случаем проверяют достаточность высоты водонапорной башни для обеспечения бесперебойности водоснабжения при остановке работы насосной станции.

## 2. ТЕОРИЯ УВЯЗКИ СЕТЕЙ

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать методы внутренней увязки водопроводных сетей.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Назначив потокораспределение в линиях сети и выбрав диаметры этих линий, приступают к гидравлической увязке. Обычно с первой попытки найти истинное распределение расходов и потерь напора, соответствующие I и II законам Кирхгофа, не представляется возможным. Для его нахождения необходимо решить систему  $(m - 1)$  линейных уравнений I закона Кирхгофа (уравнений баланса расходов в узлах) и  $n$  нелинейных уравнений II закона Кирхгофа (уравнений, определяющих равенство нулю потерь напора по независимым контурам).

Увязку кольцевых сетей можно осуществлять по двум принципам в зависимости от того, что принимать за основные неизвестные – расходы или напоры (потери напора). При этом нахождение одной группы неизвестных позволяет единственно возможным образом найти другую группу неизвестных.

Метод, с помощью которого за главные неизвестные принимаются напоры (потери напора), известен как метод «уравнивания расходов». Во втором методе рассчитываются неизвестные расходы участков  $q_{ik}$ . При ис-

тинных значениях расходов выполняются уравнения II закона Кирхгофа. Этот метод носит название метода «уравнивания напоров».

Для использования обоих методов увязки необходимо принимать начальные значения неизвестных. При пользовании методом уравнивания напоров необходимо задаваться некоторыми начальными значениями расходов воды в участках сети. Это в наибольшей степени соответствует обычной практической постановке расчета. Эта и другие причины приводят к более широкому использованию в отечественной практике метода уравнивания напоров. Он и будет рассматриваться далее.

Если в кольцевой сети имеется  $n$  независимых контуров, то система нелинейных уравнений для них может быть представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} F_1(q_1, q_2, q_3, \dots, q_p) &= 0; \\ F_2(q_1, q_2, q_3, \dots, q_p) &= 0; \\ F_n(q_1, q_2, q_3, \dots, q_p) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Все функции  $F$  имеют одинаковый вид:  $\sum S_{ik} q_{ik}^\beta$ . Система этих уравнений в целом охватывает все участки сети. Однако число уравнений этой системы  $n$  меньше числа искомых расходов участков  $p$ . Поэтому систему этих уравнений следует рассматривать совместно с системой  $(m - 1)$  линейных уравнений

$$\sum q_{ik} + Q_i = 0.$$

Для решения системы нелинейных уравнений широко используют метод Ньютона и его модификацию. Путь решений нелинейных уравнений следующий.

1. Предварительно принимают некоторые значения неизвестных расходов  $q_{ik}^0$ , которые предполагают достаточно близкими к истинным.

2. В качестве расходов  $q_{ik}^0$  принимают расходы, полученные при предварительном распределении с соблюдением I закона Кирхгофа.

3. К предварительно намеченным расходам на участках  $q_{ik}^0$  прибавляют (неизвестные) поправки  $\bar{\Delta}q_1$ , полагая, что  $q_{ik}^0 + \bar{\Delta}q_1$  должны равняться искомому (истинным) значениям расходов  $q_{ik}$  (удовлетворяющим нелинейной системе уравнений). Тогда система нелинейных уравнений примет вид:

$$\left. \begin{aligned} F_1(q_1^0 + \bar{\Delta}q_1; q_2^0 + \bar{\Delta}q_2; \dots; q_p^0 + \bar{\Delta}q_p) &= 0; \\ F_2(q_1^0 + \bar{\Delta}q_1; q_2^0 + \bar{\Delta}q_2; \dots; q_p^0 + \bar{\Delta}q_p) &= 0; \\ F_n(q_1^0 + \bar{\Delta}q_1; q_2^0 + \bar{\Delta}q_2; \dots; q_p^0 + \bar{\Delta}q_p) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Здесь неизвестными будут уже не расходы  $q_{ik}$ , а поправки к расходам  $\bar{\Delta}q_{ik}$ .

4. Разложив левую часть уравнения в ряд Тейлора в окрестности точки  $q_{ik}$  и ограничившись линейными членами разложения, получим:

$$\begin{aligned} F_1(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_1 + (\partial F_1 / \partial q_1 \Delta \bar{q}_1 + \partial F_1 / \partial q_2 \Delta \bar{q}_2 + \dots + \partial F_1 / \partial q_p \Delta \bar{q}_p) &= 0; \\ F_2(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_2 + (\partial F_2 / \partial q_1 \Delta \bar{q}_1 + \partial F_2 / \partial q_2 \Delta \bar{q}_2 + \dots + \partial F_2 / \partial q_p \Delta \bar{q}_p) &= 0; \\ F_n(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_n + (\partial F_n / \partial q_1 \Delta \bar{q}_1 + \partial F_n / \partial q_2 \Delta \bar{q}_2 + \dots + \partial F_n / \partial q_p \Delta \bar{q}_p) &= 0. \end{aligned}$$

При этом подразумевают, что в полученные выражения производных подставляются первоначально принятые значения неизвестных  $q_{ik}^0$ . Полученная система является системой линейных уравнений относительно поправок  $\Delta q_{ik}^0$  к предварительно принятым значениям расходов  $q_{ik}^0$ .

В написанных уравнениях отброшены все члены разложения, кроме линейных. Поэтому для нахождения значений  $q_{ik}$  требуется проведение ряда подобных расчетов. При проведении каждого из них в качестве предварительных принимаются расходы, полученные из предыдущего расчета. Таким образом, полученная система линейных уравнений решается методом последовательного приближения.

### 2.1. Методы внутренней увязки кольцевых сетей

Наиболее широкое применение в практике получил аналитический метод, предложенный В.Г. Лобачевым и независимо от него Х. Кроссом. Он предусматривает выражение поправок к расходам на участках сети через контурные поправочные расходы  $\Delta q_l$  в отдельных кольцах. При этом в процессе увязки сети автоматически обеспечивается соблюдение I закона Кирхгофа. Сущность этого метода заключается в следующем. Пусть в некоторой сети (рис. 4.2) после предварительного распределения расходов  $q_{ik}$  по ее участкам, определения диаметров и гидравлических сопротивлений вычислены потери напора  $h_{ik} = S_{ik} q_{ik}^2$  для всех участков сети. Условно принимается квадратичный закон сопротивления. Истинное распределение расходов характеризуется равенством  $(\sum h_{ik})_l = 0$  для каждого из колец сети. При этом потерям напора на участках с движением расходов по часовой стрелке (относительно рассматриваемого кольца) присваивается знак плюс, с движением против часовой стрелки – знак минус.

Допустим, что после первоначального распределения расходов величина  $(\sum h_{ik})$  в отдельных кольцах не равна нулю; предположим, что во всех кольцах их верхние и правые участки (с положительными  $h_{ik}$ ) оказались пе-

регруженными, а левые и нижние – недогруженными. Тогда алгебраическая сумма потерь напора в кольцах будет равна не нулю, а некоторой величине  $\Delta h_I$ , то есть  $(\sum h_{ik})_I = \Delta h_I$ .

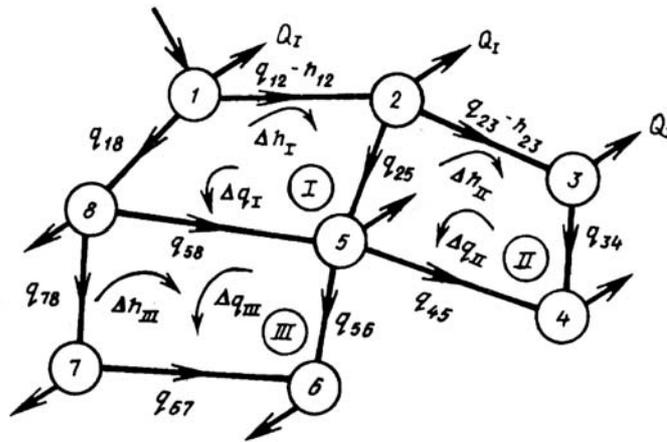


Рис. 4.2. Расчетная схема кольцевой сети

Для сети, схема которой представлена на рис. 4.2, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} S_{12}q_{12}^2 + S_{25}q_{25}^2 - S_{58}q_{58}^2 - S_{18}q_{18}^2 &= \Delta h_I; \\ S_{23}q_{23}^2 + S_{34}q_{34}^2 - S_{45}q_{45}^2 - S_{25}q_{25}^2 &= \Delta h_{II}; \\ S_{58}q_{58}^2 + S_{56}q_{56}^2 - S_{67}q_{67}^2 - S_{78}q_{78}^2 &= \Delta h_{III}. \end{aligned}$$

Величина  $\Delta h_I$  представляет собой «невязку» потерь напора в кольце  $I$ ; эта величина и ее знак характеризуют степень отклонения принятого в кольце распределения расходов от истинного (искомого).

Для снижения невязки необходимо уменьшить расходы на перегруженных ветвях каждого кольца и увеличить их на недогруженных, соблюдая при этом баланс расходов в узлах  $\sum h_{ik} + Q_i = 0$ . Это может быть достигнуто путем переброски некоторых контурных расходов  $\Delta q_I$  по всем кольцам в направлении, обратном знаку невязки. После переброски этих расходов (пока неизвестных) получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} S_{12}(q_{12} - \Delta q_I)^2 + S_{25}(q_{25} - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 - S_{58}(q_{58} + \Delta q_I - \Delta q_{III})^2 - S_{18}(q_{18} + \Delta q_I)^2 &= 0; \\ S_{23}(q_{23} - \Delta q_{II})^2 + S_{34}(q_{34} - \Delta q_{II})^2 - S_{45}(q_{45} + \Delta q_{III})^2 - S_{25}(q_{25} - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 &= 0 \\ S_{58}(q_{58} + \Delta q_I - \Delta q_{III})^2 + S_{56}(q_{56} - \Delta q_{III})^2 - S_{67}(q_{67} + \Delta q_{III})^2 - S_{78}(q_{78} + \Delta q_{III})^2 &= 0 \end{aligned}$$

Раскрыв скобки и выполнив некоторые преобразования, имеем для первого кольца уравнение

$$\begin{aligned} [S_{12}q_{12}^2 + S_{25}q_{25}^2 - S_{58}q_{58}^2 - S_{18}q_{18}^2] - 2[S_{12}q_{12} + \\ + S_{25}q_{25} + S_{58}q_{58} + S_{18}q_{18}]\Delta q_I + 2S_{25}q_{25}\Delta q_{II} + 2S_{58}\Delta q_{III} &= 0 \end{aligned}$$

Первый член этого уравнения, заключенный в квадратные скобки, представляет собой невязку в кольце  $I$  при первоначально принятых расходах, то есть  $\Delta h_I$ . Коэффициент при неизвестном расходе  $\Delta q_I$  во втором члене равен  $2\Sigma S_q$  в кольце  $I$ ; последние два члена представляют собой неизвестные поправочные расходы смежных колец  $\Delta q_{II}$  и  $\Delta q_{III}$  с коэффициентами, равными  $2S_q$  общих участков кольца  $I$  со смежными кольцами.

Приведенные выше уравнения могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{aligned}\Delta h_I - 2\Sigma(Sq)_I \Delta q_I + 2(Sq)_{25} \Delta q_{II} + 2(Sq)_{58} \Delta q_{III} &= 0; \\ \Delta h_{II} - 2\Sigma(Sq)_{II} \Delta q_{II} + 2(Sq)_{25} \Delta q_I &= 0; \\ \Delta h_{III} - 2\Sigma(Sq)_{III} \Delta q_{III} + 2(Sq)_{58} \Delta q_I &= 0.\end{aligned}$$

Получим систему линейных уравнений относительно неизвестных  $\Delta q_I$ ,  $\Delta q_{II}$  и  $\Delta q_{III}$ . Величины  $\Delta h_I$  – свободные члены, известные после первого распределения расходов. Эту систему линейных уравнений можно решать любым из существующих способов. Метод Лобачева-Кросса предусматривает предельное упрощение написанной системы уравнений путем исключения из каждого уравнения членов, содержащих  $\Delta q_I$  смежных колец. Тогда для всех колец получаются однотипные равенства вида  $2\Sigma(S_{ik}q_{ik})_I \Delta q_I = \Delta h_I$ . Отсюда вытекает общая формула для приближенного определения искомым неизвестных поправочных расходов

$$\Delta q_I = \Delta h_I / 2 \Sigma(S_{ik}q_{ik})_I.$$

При использовании этой формулы упрощается операция вычисления  $\Delta q_I$  в каждом приближении, но требуется увеличение числа последовательных приближений (итераций) для нахождения значений  $\Delta q_I$ , достаточно близких к истинным (дающим увязку сети).

При работе труб в неквадратичной области для определения поправочных расходов может использоваться та же формула, но при условии, что в величины  $S_{ik}$  участков введены коэффициенты  $\delta$ . Поправочные расходы могут определяться по формуле

$$\Delta q_I = \Delta h_I / \beta \Sigma S_{ik} q_{ik}^{\beta-1},$$

если потери напора определяли непосредственно по неквадратичной формуле вида

$$h_{ik} = S_{ik} q_{ik}^{\beta}.$$

Существуют различные модификации метода Лобачева-Кросса. Он широко используется при составлении программ расчета водопроводных сетей с применением ЭВМ.

Задача увязки сети может быть решена и другими методами последовательного приближения. Широкое распространение получил метод, предложенный М.М. Андрияшевым. Автор метода рекомендует после первого определения невязок осуществлять выбор системы контуров (охватывающих одно кольцо или группу элементарных колец), по которым можно провести поправочные расходы для получения значительного снижения невязок в сети. Под элементарным кольцом понимается кольцо, в котором не имеется участков, пересекающих его площадь, и которое не делится на более мелкие кольца. Эти расходы могут проводиться как одновременно по нескольким выбранным контурам, так и последовательно с учетом результатов предыдущих операций. Результаты всех вычислений записывают непосредственно на схемах сети. После каждого цикла проведения поправочных расходов анализируют полученные результаты (значения и знак невязок), намечают следующую группу контуров увязки и определяют новые поправочные расходы. Для более успешной и быстрой увязки автор метода рекомендует:

- объединение смежных колец с невязками одинакового знака в укрупненные контуры, по которым надо проводить поправочные расходы;
- последовательную увязку колец или группу колец (с невязками попеременно то одного, то другого знака) циклами;
- увязку в каждом цикле кольца или группы колец с невязками наибольшего значения.

Поправочные расходы по выбранному контуру  $I$  можно определить по формуле вида

$$\Delta q_I = \Delta h_I / 2 \sum (S_{ik} q_{ik})_I.$$

Использование этой формулы связано с большим числом вычислений. Так как в процессе увязки величина  $\sum (S_{ik} q_{ik})_I$  по контурам меняется относительно мало, автор метода считает, что поправочные расходы при последовательно проводимых увязках изменяются пропорционально невязкам. Если принять, что величина  $\sum (S_{ik} q_{ik})_I$  постоянна и обозначить поправочный расход пробной увязки через  $\Delta q_0$ , а соответствующее изменение невязки – через  $\Delta h_0$ , то получим

$$\Delta q_I / \Delta h_I = 1/2 \sum (S_{ik} q_{ik})_I = \text{const} = \Delta q_0 / \Delta h_0,$$

откуда

$$\Delta q_I = \Delta h_I \Delta q_0 / \Delta h_0.$$

Для контуров, имеющих малоразличающиеся длины и диаметры отдельных участков, М.М. Андрияшев предлагает определять поправочные расходы по приближенной формуле

$$\Delta q_I = q_{cpl} \Delta h_I / 2(\Sigma h_{ik})_I,$$

где  $q_{cpl}$  – средний расход для всех сходящих в контур участков;

$\Delta h_I$  – невязки в контуре;

$(\Sigma h_{ik})_I$  – сумма абсолютных значений потерь напора в контуре.

## 2.2. Расчет разветвленных сетей

В разветвленной сети при условии питания ее с одного конца вода может быть подана к каждой водоразборной точке лишь с одной стороны (рис. 4.3). Поэтому для разветвленной сети расходы воды, проходящие по отдельным ее участкам, определяются просто и единственно возможным образом. Каждый участок сети будет проводить по направлению от начальной точки питания сети к ее конечным точкам расход, равный сумме расходов, отдаваемых водоразборными точками, лежащими за данным участком по направлению движения воды.

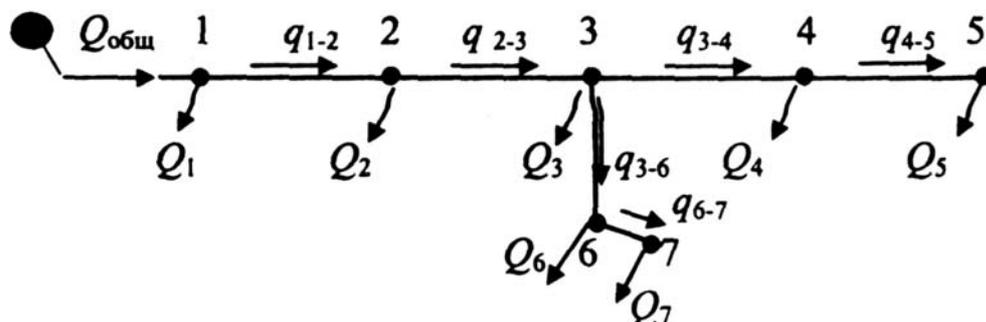


Рис. 4.3. Расчетная схема разветвленной водопроводной сети

Расчет разветвленной сети после подготовки расчетной схемы (рис. 4.3) проводят в следующей последовательности:

- обозначают направление движения потоков воды стрелками согласно начертанию сети;
- выбирают линию трубопроводов, которую следует рассматривать как магистральную. За магистраль принимают самый протяженный трубопровод, наиболее нагруженный расходами;
- определяют путевые отборы на каждом участке;
- равномерно определенные путевые отборы заменяют сосредоточенными в узлах (узловыми отборами) с учетом того, что узловой отбор равен полусумме всех путевых отборов, прилегающих к узлу;

- определяют расчетные линейные расходы воды на каждом участке сети, пользуясь правилом баланса расхода в узлах;
- в зависимости от величин расчетных расходов воды, проходящих по каждому участку, определяют диаметры труб на этих участках;
- рассчитывают потери напора на трение по длине труб на каждом участке водопроводной сети учитывая потери напора в местных сопротивлениях, как 5 – 10 % от потерь по длине.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ К УЭ-2**

Выполнить гидравлический расчет водопроводной сети.

**Рекомендации** к выполнению задания:

Выполнить гидравлический расчет сети на случай максимального водопотребления методом Лобачева-Кросса. При выполнении гидравлического расчета руководствоваться материалом, изложенным в разделах 2 и 2.1. Увязку производить до значений  $\Delta h \leq 0,3$ .

**Самоконтроль по УЭ-2:**

1. Вспомните задачи гидравлического расчета водопроводных сетей.
2. Вспомните смысл II-го закона Кирхгофа.
3. Вспомните в чем суть гидравлического расчета по методу Лобачева-Кросса.
5. Подумайте, какие особенности гидравлического расчета водопроводных сетей с контррезервуаром.

## **УЭ-3. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ВОДОВОДОВ, СЕТЕЙ, НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И РЕГУЛИРУЮЩИХ ЕМКостей**

**Учебные цели УЭ-3:**

1. Студент должен знать:
  - что такое нормативный свободный напор;
  - методику определения пьезометрических и расчетных свободных напоров в любой точке сети.
2. Студент должен уметь:
  - выполнять внешнюю увязку сети;
  - по результатам гидравлического расчета определить требуемый напор насосного оборудования.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-3:**

1. Использование результатов расчета сети для определения пьезометрических и свободных напоров в отдельных точках сети:
  - пьезокарты;
  - определение требуемого напора насосов;
  - внешняя увязка сетей.
2. Использование вычислительной техники для расчета систем подачи и распределения воды:
  - задачи, решаемые на ЭВМ.
3. Определение числа переключений на водоводах по допустимому снижению подачи воды при аварии.

## **1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ И СВОБОДНЫХ НАПОРОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ТОЧКАХ СЕТИ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять необходимость определения пьезометрических напоров в отдельных точках сети.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

По результатам гидравлического расчета сети строятся пьезокарты, которые необходимы для определения требуемого напора насосного оборудования, а также при наличии водонапорной башни в системе водоснабжения – для определения ее высоты.

### **1.1. Пьезокарты**

Прежде чем приступить к построению пьезометрических линий, необходимо определить месторасположение так называемой «диктующей точки», то есть той точки сети, которая наиболее неблагоприятна в отношении создания в ней свободных напоров.

Определив «диктующие точки» для каждого расчетного случая, строят пьезометрические линии (рис. 4.3) в следующей последовательности:

- выбирают контур по направлению от диктующей точки до водонапорной башни (при наличии башни в начале сети) или до насосной станции, чаще всего это внешний контур сети;
- по принятому направлению в масштабе (горизонтальный – 1: 10 000 или 1: 20 000; вертикальный – 1: 200 или 1: 500) строят профиль поверхности земли по геодезическим отметкам, вычисленным по горизонталям на генплане;

- определяют и откладывают по масштабу требуемый свободный напор в диктующей точке;
- определяют отметку пьезометрической линии;
- строят пьезометрические линии в точках сети с учетом направлений движений воды и величин потерь напора на каждом участке (по ходу движения воды пьезометрический напор снижается на величину потерь напора на рассматриваемом участке);
- определяют свободный напор в каждом узле. Численное значение свободного напора в узле должно быть не меньше требуемого, если это условие не выполняется, то это означает, что диктующая точка выбрана неверно. Следует принять за диктующую точку ту, где разница между требуемым свободным напором и расчетным максимальная, и повесить в ней напор до требуемых значений, откорректировав отметки пьезометрических линий и отметки свободных напоров в каждой точке сети.

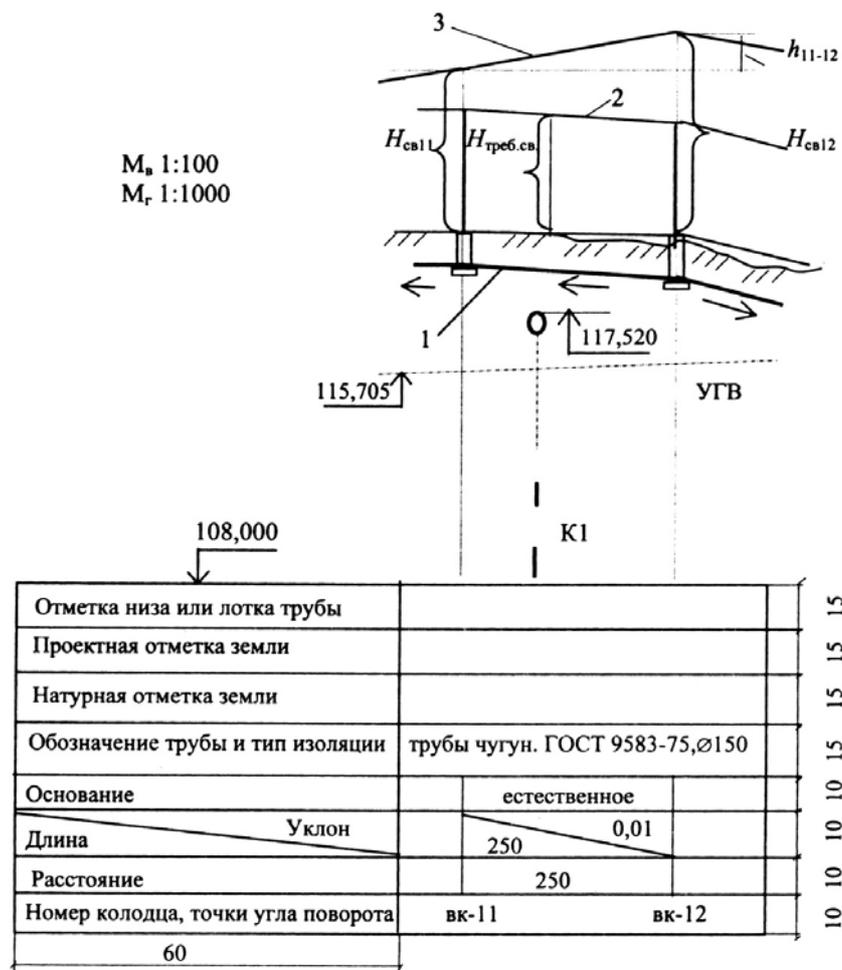


Рис. 4.3. Фрагмент продольного профиля водопровода:  
 1 – участок водопровода; 2 – линия требуемых свободных напоров;  
 3 – линия фактических свободных напоров

## 1.2. Определение требуемого напора насосов

Требуемый напор насосной станции второго подъема может быть определен по пьезометрическому графику как разность отметки пьезометрического напора в месте расположения насосной станции и минимальной отметки воды в резервуаре. При этом необходимо дополнительно учесть потери напора во всасывающей линии насосной станции, а также потери напора во внутренних коммуникациях, которые ориентировочно можно принять равными 2 – 2,5 м.

## 1.3. Внешняя увязка сетей

Все элементы системы подачи и распределения воды представляют собой единую гидравлическую систему. Поэтому, выбрав параметры насосных станций и регулирующих емкостей, необходимо провести проверочные гидравлические расчеты всей системы в целом, то есть внешнюю увязку сети. Проведение таких расчетов (из-за их громоздкости) для реально существующих систем водоснабжения возможно лишь при использовании ЭВМ. Как указывалось, для проведения внешней увязки системы, имеющей  $e > 1$  водопитателей и не фиксированных отборов, необходимо (дополнительно к уравнениям для внутренней увязки) иметь  $(e - 1)$  уравнение вида  $F(Q)_M - F(Q)_K = (\Sigma h)_{MK}$ . Указанные уравнения отражают II закон Кирхгофа для фиктивных колец, образованных линиями реальной сети и условными фиктивными линиями, отображающими напорно-расходные характеристики водопитателей и не фиксированных отборов.

Расчетная схема системы подачи и распределения воды приведена на рис. 4.4. Фиктивное кольцо  $\Phi$  образуется двумя фиктивными ветвями, соединяющими фиктивный узел 0 с насосной станцией и башней, и замыкается любой цепью участков сети и водоводов (реальной системы), соединяющих насосную станцию с башней. В момент максимального водопотребления в узел поступает фиктивный расход, равный  $\Sigma Q_i$ , то есть сумме фиксированных отборов из сети. От узла 0 к насосной станции направляется расход  $Q_n$ , а к башне – расход  $Q_b$ , равный подаче воды в сеть из башни.

Для случая транзита расход  $Q_b$  направляется от башни к узлу 0. Следовательно, баланс расходов в фиктивном узле для случая двустороннего питания сети имеет вид  $Q_n + Q_b = \Sigma Q_i$ , а для момента транзита в башню –  $Q_b + \Sigma Q_i = Q_n$ .

**Фиктивные линии** не имеют сопротивлений. Им условно присваивают напоры, соответствующие напорам, создаваемым насосами и башней. Фиктивной линии 0 – НС присваивают напор  $H_n$  со знаком минус, так как

соответствующий расход  $Q_n$  отходит от узла  $\theta$ . Фиктивной линией  $\theta - Б$  присваивают напор  $H_\theta$  со знаком минус – для момента максимального водопотребления и со знаком плюс – для случая транзита воды в башню. Обход всего **фиктивного кольца** позволяет составить уравнение, связывающее  $H_n$  и  $H_\theta$  через суммарные потери напора в сети:

$$(H_n - H_\theta) + (z_n - z_\theta) - \Sigma h_{сум} = 0,$$

где  $z_n$  – отметка оси насоса;

$z_\theta$  – отметка земли в месте расположения башни;

$\Sigma h_{сум}$  – алгебраическая сумма потерь напора в водоводах и линиях сети.

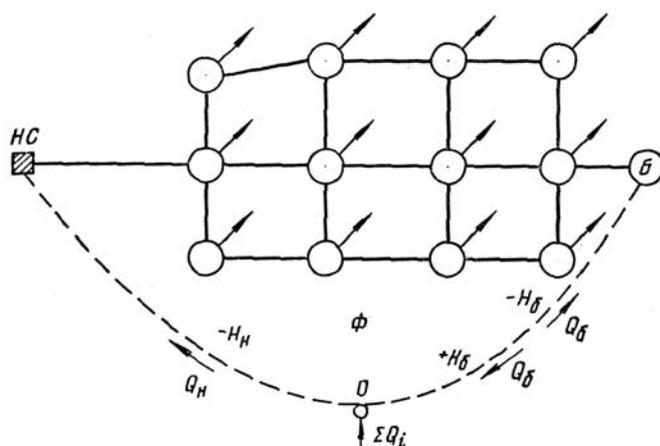


Рис. 4.4. Расчетная схема системы подачи и распределения воды

Для расчета системы и определения действительных расходов  $Q_\theta$  и  $Q_n$ , а также всех расходов на участках сети  $q_{ik}$  величины  $H_n$  и  $H_\theta$  должны быть выражены в функции расхода по напорно-расходным характеристикам  $Q - H$ . Увязка этой системы позволяет определить напоры, развиваемые насосами, уровни воды в резервуарах, свободные напоры в узлах. Она может быть проведена любым способом, рассмотренным выше.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать возможности использования вычислительной техники для расчета систем подачи и распределения воды.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Исходя из рассмотренных выше методов гидравлического и технико-экономического расчетов водопроводных сетей, можно выделить две принципиальные группы:

1. Гидравлические расчеты, ставящие целью отыскание истинных расходов воды по линиям сети, потерь напора в них, напоров в узлах и условий работы водопитателей.

2. Техничко-экономические расчеты по отысканию диаметров линий сети, отвечающих минимуму приведенных затрат.

Анализ встречающихся на практике гидравлических задач по проектированию и эксплуатации систем водоснабжения позволяет исследовать влияние различных частей системы водоснабжения на работу ее в целом. Основной информацией, получаемой в результате расчета, являются данные о расходах и потерях напора в линиях, расходах воды, поступающих от водопитателей, характеристиках нефиксированных отборов, пьезометрических отметках в узлах сети.

### **2.1. Задачи, решаемые на ЭВМ**

Ниже представлены несколько основных типов задач, которые встречаются в практике расчета систем подачи и распределения воды. Они решаются с использованием ЭВМ.

Задачи первого типа предусматривают отыскание основных параметров системы по заданным условиям работы водопитателей, которые характеризуются напором или  $Q$ - $H$  характеристикой. Кроме того, определяют узлы, в которых найденные расчетом пьезометрические отметки меньше требуемых, и недостающий напор. Помимо этого, проводятся расчеты с изменяющимися пьезометрическими отметками одного из водопитателей, позволяющие определить требуемый напор в заданном водопитателе с учетом ограничений в «диктующей» точке.

Задачи второго типа предназначены для определения напоров на некоторых из насосных станций и отметок уровня воды в резервуарах, при которых фактические пьезометрические отметки в «диктующих» точках сети оказываются равными заданным. Проводятся расчеты с изменением отборов воды в одной из точек сети. В результате расчетов определяют основные данные, «диктующие» узлы и требуемые напоры у водопитателей.

Задачи третьего типа предусматривают проведение серии расчетов, на основе которых выбираются характеристики насосов как основных, так и регулирующих насосных станций, а также уровня воды в резервуарах и башнях.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ НА ВОДОВОДАХ ПО ДОПУСТИМОМУ СНИЖЕНИЮ ПОДАЧИ ВОДЫ ПРИ АВАРИИ

#### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать методику определения числа переключений на водоводах с условием обеспечения пропуска аварийного расхода воды.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Водоводы являются ответственными элементами в системе водоснабжения и должны удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям. К ним предъявляются требования по экономичности и надежности подачи воды потребителям. Для обеспечения бесперебойности работы водоводы укладывают обычно в две нитки, которые, кроме того, соединяют переключениями (перемычками), позволяющими выключать на ремонт какой-либо участок в случае аварии на нем. Схема водовода в две линии труб с переключениями представлена на рис. 4.5.

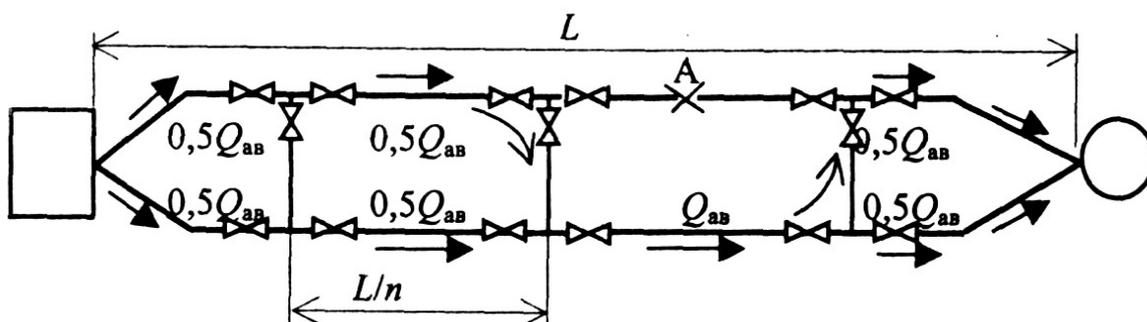


Рис. 4.5. Схема водовода в две линии с переключениями

Число переключений между водоводами должно быть таким, что при выключении любого из участков водоводов подача воды на хозяйственно-бытовые нужды составляла не менее 70 % расчетного расхода; на производственные нужды – по аварийному графику. При этом необходимо учитывать возможность использования запасных емкостей и резервных насосных агрегатов. Подача воды для тушения пожара должна быть во всех случаях обеспечена полностью.

Число переключений в соответствии с допустимым снижением подачи воды определяют из следующего соотношения

$$\frac{Q_{ав}}{Q} = \sqrt{\frac{S}{S_{ав}}} = \sqrt{\frac{1}{\alpha}},$$

где  $S$  – потери напора в системе водоводов, м;

$S_{ав}$  – потери напора в системе водоводов при аварии, м;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от числа переключений или числа равных участков водоводов; при двух параллельных линиях водовода одинакового диаметра и длины с участками одинаковой длины между переключениями коэффициент  $\alpha = 1 + 3/n$  ( $n$  – число участков), а при трех линиях водовода –  $\alpha = 1 + 5/(4n)$ .

Отношение аварийного расхода к нормальному при разном числе участков переключений одинаковой длины на водоводе из двух ниток, работающих при постоянном напоре насосов, имеет значения, представленные в табл. 4.1

Таблица 4.1

**Зависимость аварийного расхода от числа переключений**

| Число участков переключений | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q_{ав}/Q$                  | 0,63 | 0,71 | 0,76 | 0,79 | 0,82 | 0,84 | 0,85 |

Ввиду особенностей местных топографических и других условий расстояние между переключениями обычно не бывают точно равными между собой. Поэтому число переключений и величину аварийного расхода приходится уточнять, принимая, что повреждение произойдет на более протяженном участке.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ к УЭ-3

Построить пьезолинии от диктующей точки сети до насосной станции.

**Рекомендации** к выполнению задания:

Для построения пьезолиний необходимо:

- выбрать на сети диктующую точку;
- в диктующей точке задать величину нормативного свободного напора. Для этого использовать исходные данные (количество этажей), предложенные по вариантам:

| Вар.0 | Вар.1 | Вар.2 | Вар.3 | Вар.4 | Вар.5 | Вар.6 | Вар.7 | Вар.8 | Вар.9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3     | 3     | 5     | 5     | 4     | 5     | 5     | 5     | 4     | 3     |

- определить величину пьезометрической отметки в диктующей точке;
- далее по результатам гидравлического расчета определить отметки пьезометров и располагаемые свободные напоры в каждой точке сети;
- построить пьезолинии от диктующей точки до насосной станции, в качестве примера оформления принять рис. 4.3, приведенный в УЭ-3 к данному модулю.

### **Самоконтроль по УЭ-3:**

1. Вспомните от чего зависит величина нормативного свободного напора.
2. Подумайте чем отличается нормативный свободный напор от расчетного.
3. Вспомните что такое пьезометрический напор.
4. Подумайте, на какую величину отличаются пьезометрические напоры в двух соседних точках.
5. Вспомните, что означает внешняя увязка сети.
6. Подумайте, от чего зависит величина снижения расчетной подачи воды потребителю.

## **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Какое назначение начального потокораспределения.
2. Что такое экономически выгодный диаметр трубопровода.
3. От чего зависит величина потерь напора в трубопроводе.
4. То такое предельные расходы.
5. По какому принципу назначается диаметр перемычек.
6. В чем смысл гидравлического расчета сети.
7. Что такое «невязка» в любом замкнутом контуре и как ее можно определить.
8. Что такое поправочный расход.
9. От чего зависит величина нормативного свободного напора в населенном пункте при пожаротушении.
10. Какая максимальная величина расчетного свободного напора на сети.
11. Как, зная отметки пьезометра во всех точках сети, определить требуемый напор насосного оборудования.
12. От чего будет зависеть количество перемычек на водоводе для подачи нормативного расхода при аварии.

## УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ

После изучения данного модуля вы должны:

- знать теорию увязки водопроводных сетей;
- владеть навыками гидравлического расчета сетей различными методами как вручную, так и с применением вычислительной техники;
- уметь анализировать работу системы подачи и распределения воды по результатам гидравлического расчета, выполненного для различных режимов ее работы.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат,1982.

Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределение воды. – М.:Стройиздат,1972.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест».

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## М-5. УСТРОЙСТВО ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И ВОДОВОДОВ

Приступая к изучению данного модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Назначение водопроводной сети.
2. Какое назначение магистральных линий сети?
3. Какое назначение распределительных линий сети?
4. Что представляет собой кольцевая сеть?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модуля М-3.

- **Место и значение модуля «Устройство водопроводных сетей и водоводов»:** Знание достоинств и недостатков труб различных типов позволяет правильно произвести выбор их для применения в конкретных условиях.

- **Цель изучения модуля:**

- знать требования, предъявляемые к трубопроводам;
- знать достоинства и недостатки, а также условия применения трубопроводов из различных материалов;
- знать назначения и конструкции арматуры, устанавливаемой на сети;
- знать способы перехода водопроводных линий через препятствия;
- уметь выполнять детализовку водопроводной сети.

Структура модуля:



Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ). Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно усваивать.

Названия учебных элементов:

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Основные типы труб, применяемые в системах водоснабжения.

УЭ-2. Арматура и сооружения на сети.

УЭ-Р. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

## **УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ**

**Ключевая проблема:** стоимость систем подачи и распределения воды в значительной мере определяется стоимостью труб и работ по их укладке. Выбор рационального типа труб и правильное размещение арматуры на сети – одна из важнейших задач проектирования трубопроводов.

**Ведущая идея:** правильное конструирование узлов водопроводной сети и рациональное использование существующего сортамента фасонных частей является необходимым условием обеспечения надежности работы водопроводной сети, снижения ее себестоимости и удобства эксплуатации.

**Основные понятия:** металлические трубы, неметаллические трубы, трубопроводная арматура, колодцы, упоры, детализовка водопроводной сети, переход сетей через препятствия.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

## **УЭ-1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Учебные цели УЭ-1:**

1. Студент должен знать:
  - основные требования, предъявляемые к материалу труб;
  - способы защиты металлических труб от коррозии;
  - виды испытания водопроводных сетей.
2. Студент должен уметь: обосновать выбор материала труб для водопроводных сетей.

**Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Основные типы труб:
  - требования, предъявляемые к материалу труб;
  - металлические трубы;
  - защита металлических труб от коррозии;

- неметаллические водопроводные трубы;
- технико-экономический анализ различных типов труб и выбор типа труб с учетом их прочностных характеристик.

## 2. Укладка труб:

- размещение труб в поперечном профиле улиц и проездов;
- гидравлические испытания водопроводных линий.

Выбор материала труб представляет ответственную задачу, так как их стоимость в огромной мере определяет затраты по всей системе водоснабжения в целом.

# 1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТРУБ

## **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать основные типы труб, применяемые в системах подачи и распределения воды, их достоинства и недостатки.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

К трубопроводам предъявляется целый ряд требований. Учитывая, что строящиеся в настоящее время сети и водоводы отличаются сложностью инженерных решений, значительными объемами и трудоемкостью, необходима дальнейшая индустриализация строительных и ремонтных работ. Она предусматривает применение сборных конструкций, изготавливаемых на заводах и монтируемых на строительных площадках. Этим требованиям в наибольшей мере отвечают трубы индустриального изготовления, обеспечивающие легкость, быстроту и надежность монтажа стыковых соединений узлов.

## **1.1. Требования, предъявляемые к материалу труб**

В соответствии с условиями работы водопроводных линий в процессе их эксплуатации к ним предъявляются следующие основные требования:

- прочность, то есть хорошее сопротивление всем внутренним и внешним воздействиям;
- герметичность, особое требование предъявляется к стыковым соединениям, которые должны оставаться герметичными в процессе всего периода эксплуатации, от этого зависит экономичность и надежность системы распределения воды, а также ее санитарное состояние;

– долговечность, то есть трубы должны обладать высокими антикоррозийными свойствами по отношению к воздействию транспортируемой воды, подземных вод, грунта, блуждающих токов и т. п.;

– гладкость и шероховатость внутренней поверхности труб в большей мере влияет на затраты энергии по транспортированию воды. Поэтому их внутренняя поверхность должна быть гладкой и не изменяться в процессе эксплуатации. Это зависит от материала и технологии изготовления труб, качества транспортируемой воды, вида внутреннего покрытия.

Наконец, водопроводные линии, как всякие инженерные сооружения, должны удовлетворять требованиям наибольшей экономичности.

## **1.2. Металлические трубы**

К металлическим трубам относятся чугунные и стальные трубы, выпускаемые в широком диапазоне диаметров, различных классов прочности, марок и т. п.

### **1.2.1. Чугунные трубы**

Чугунные трубы принадлежат типу раструбных труб, то есть их соединение осуществляется, как правило, с помощью раструба, имеющегося на одном из концов труб. Чугунные трубы до настоящего времени изготавливаются методами стационарного, центробежного и полунепрерывного литья в песчаные формы и в зависимости от толщины стенки имеют различные классы. Соединение чугунных труб типа раструб, с целью создания его водонепроницаемости, по мнению специалистов, может быть выполнено различными методами:

– конопаткой на  $2/3$  глубины раструбной щели жгутом просмоленной или битумизированной пряди (каната), уплотняемой специальным инструментом – чеканкой (или может быть использована отвертка больших размеров). В оставшуюся часть раструба ( $1/3$ ) вводится наполнитель. В качестве наполнителя может быть использован: цементный раствор (цемент – вода);

– заливкой стыка герметизирующим наполнителем, в качестве которого могут быть использованы различные материалы: свинец, цемент, асбестоцемент, сернистые сплавы и т. д.;

– установкой резиновых уплотнителей различных конструкций, выполненных, как правило, в виде кольца для труб различного диаметра. Данный тип соединений получил наибольшее распространение ввиду технологичности выполнения соединений.

К достоинствам чугунных труб можно отнести:

- долговечность;
- высокие антикоррозионные свойства;
- высокую прочность;
- минимальные эксплуатационные затраты;
- экологичность, то есть способность материалов труб подвергаться вторичной переработке;
- высокую устойчивость к температурным воздействиям.

Среди недостатков чугунных труб следует отметить невысокое сопротивление внешним динамическим воздействиям (удары) и внутренним (гидравлические удары); большой расход металла при изготовлении; невысокую индустриальность (трудоемкость выполнения стыков (соединений)). Трубы из высокопрочного чугуна сочетают в себе коррозионную стойкость чугуна и высокие механические свойства, равные свойствам стали Ст45 после нормализации (прочность), или близкие к таковым (пластичность, ударная вязкость). Эти уникальные свойства получены в результате модификации жидкого чугуна магнием. Внутренняя поверхность труб из ВЧШГ покрыта слоем цементно-песчаного покрытия, исключаяющего явления коррозии и зашлаковывания внутритрубной поверхности и позволяющего сохранять качество транспортируемой питьевой воды. Трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом надежно выдерживают ударные нагрузки при резком изменении гидравлического давления в трубопроводах и нагрузки, вызванные перемещением грунта в результате оседания, землетрясений и морозов.

Особенно хотелось бы отметить раструбное соединение, это соединение является фиксированным раструбно-стопорным, в котором герметичность также обеспечивается применением двухслойных резиновых уплотнительных манжет. Соединение обеспечивает невозможность разъединения труб при прокладке трубопроводов в сложных рельефах местности, в том числе и гористой, в местах опасной осадки грунта, при ударных нагрузках, а также в вертикальном положении труб.

### 1.2.2 Стальные трубы

Стальные трубы выпускаются в широком диапазоне диаметров, толщин стенок, марок стали и различных классов прочности и остаются на сегодняшний день основным типом труб. Это обусловлено их высокими эксплуатационными качествами, к которым следует отнести, прежде всего, возможность выдерживать высокие динамические, статические и изги-

бающие как внутренние, так и внешние воздействия. Основным недостатком продукции является невысокая коррозионная устойчивость по отношению к транспортируемой жидкости (воде), особенно усиливающаяся при наличии блуждающих электрических токов, что зачастую приводит к авариям. Этот фактор обуславливает невысокую долговечность труб, выполненных из металла. Кроме того, к недостаткам относятся их низкая индустриальность, то есть скорость монтажа (выполнение соединений). Все эти моменты, вместе взятые, существенно ограничивают область применения этого типа труб в сравнении с другими.

Для наружного водоснабжения стальные трубы изготавливаются двух основных видов: стальные бесшовные и стальные электросварные прямошовные или со спиральным швом. По длине трубы изготавливаются от 5 до 18 м. Стальные трубы имеют гладкие концы с фаской и соединяются с помощью электродуговой сварки.

Применение бесшовных стальных труб целесообразно в случае, если расчетом на прочность установлена невозможность использования сварных труб.

Сварные трубы изготавливаются из различных сталей, отличающихся химическим составом и механическими свойствами.

Трубы из углеродистой обыкновенного качества кипящей стали (КП) характеризуются хладноломкостью, поэтому их не рекомендуется применять при строительстве и эксплуатации трубопроводов в условиях низких температур.

Трубы из полуспокойной (ПС) и спокойной (СП) стали обладают меньшей склонностью к хладноломкости.

### **1.3. Защита металлических труб от коррозии**

Трубопроводы в процессе эксплуатации подвергаются коррозии. Срок службы металлических трубопроводов, надежность и эффективность их эксплуатации определяется главным образом степенью защиты металла от коррозионного разрушения. Внутренняя коррозия помимо сквозных проржавлений вследствие роста выступов шероховатости приводит к резкому снижению пропускной способности трубопроводов. В ряде случаев их гидравлическое сопротивление по сравнению с расчетным увеличивает-

ся в 8 – 9 раз. Все это приводит к сокращению срока эксплуатации, дополнительным капитальным вложениям на ремонт, перекладку и прокладку дополнительных линий, перерасходу энергозатрат.

Для защиты металлических труб от коррозии применяют пассивные и активные методы. К пассивным методам относится изоляция наружной и внутренней поверхности труб или покрытие труб специальными оболочками; к активным – электрическая защита.

Чугунные трубы на заводах покрываются специальными антикоррозионными мастиками, которые в течение некоторого времени обеспечивают их защиту от коррозии.

На заводах, выпускающие стальные трубы, антикоррозионные покрытия не наносят. Поэтому антикоррозионную защиту выполняют перед укладкой труб или в процессе их укладки. Для наружной изоляции, применяемой для всех стальных трубопроводов, используются битумно-минеральные, битумно-полимерные, полимерные и другие равноценные им покрытия. Вид противокоррозионной защиты зависит от коррозионной активности грунтов.

В мировой практике строительства водопроводов получили распространение технологии нанесения на чугунные и стальные трубы внутренних покрытий на основе цемента, а также полимерных покрытий. Длительный опыт применения этих покрытий доказал их экономичность и надежность. Внутренние покрытия могут наноситься как на новые трубы, так и на трубы, находящиеся в эксплуатации.

К активным методам защиты металлических трубопроводов от коррозии относится катодная защита, основанная на электрохимической теории коррозии. Защита труб от действия блуждающих токов состоит в предотвращении образования этих токов с помощью специального оборудования рельсовых путей электротранспорта.

#### **1.4. Неметаллические водопроводные трубы**

К неметаллическим водопроводным трубам относятся железобетонные, асбестоцементные и пластмассовые трубы.

##### **1.4.1. Железобетонные трубы**

Напорные железобетонные трубы, изготавливаемые методами виброгидропрессования и центрифугирования, имеют гибкое раструбное стыковое соединение. Герметичность стыкового соединения обеспечивается применением резинового уплотнительного кольца круглого сечения.

Сортаментом предусмотрено изготовление труб диаметрами от 500 до 1600 мм. В зависимости от расчетного внутреннего давления в трубопроводе трубы подразделяются на три класса прочности. Трубы I класса предназначены для прокладки трубопроводов с расчетным внутренним давлением 1,5 МПа, II класса – 1,0 МПа и III класса – 0,5 МПа.

Железобетонные трубы по сравнению с металлическими имеют ряд преимуществ. Они обладают большей коррозионной устойчивостью, являются диэлектриками, способны сохранять в условиях эксплуатации гладкую поверхность, имеют меньшую металлоемкость и большую долговечность. Недостатком их является большая масса.

#### 1.4.2. Асбестоцементные трубы

Асбестоцементные трубы подразделяются на четыре класса: ВТ6, которые рассчитаны на рабочее давление 0,6 МПа; ВТ9 – 0,9 МПа; ВТ12 – 1,2 МПа; ВТ15 – 1,5 МПа. Рабочим давлением является максимальное гидравлическое давление, при котором может быть использована труба данного класса при отсутствии внешней нагрузки. Класс труб определяют расчетом, в котором учитывают условия эксплуатации. Трубы каждого класса в зависимости от внешнего диаметра и длины подразделяются на три типа. Трубы первого типа выпускают диаметром 100 – 500 мм, длиной 3 – 4 м; второго типа – диаметром 200 – 500 мм, длиной 5 м; трубы третьего типа диаметром 200 – 300 мм, длиной 6 м.

Трубы стыкуют с помощью асбестоцементных муфт САМ или чугунных муфт. Для уплотнения муфт применяют резиновые кольца.

Асбестоцементные трубы имеют следующие достоинства:

- малую массу, облегчающие их транспортировку и укладку;
- малую теплопроводность;
- достаточную коррозионную стойкость;
- являются диэлектриками;

– небольшой коэффициент гидравлического сопротивления. При эксплуатации сохраняют гладкую и некоррозирующую внутреннюю поверхность.

Основным недостатком асбестоцементных труб является их хрупкость, в связи с чем необходимо соблюдение мер предосторожности при их транспортировке, разгрузке, монтаже.

#### 1.4.3. Пластмассовые трубы

Трубы из полимерных материалов обладают рядом свойств, выгодно отличающих их от труб из традиционных материалов. Они не подвержены

электрохимической коррозии. На внутренней поверхности труб практически не образуется отложений, а следовательно не происходит увеличение потерь напора во времени. Гидравлический удар, возникающий в трубопроводах из пластмассовых труб, значительно слабее из-за низкого модуля упругости материала. Вероятность разрушения пластмассового трубопровода при замерзании в нем воды мала. Пластмассовые трубы не оказывают влияния на вкусовые качества и запах воды.

Наибольшее применение в бывшем Советском Союзе нашли полиэтиленовые трубы. Сырье для их производства было доступно и относительно дешево, а процесс переработки был экологически чистым. Широкомасштабное использование труб в СССР началось в энергетической отрасли в 1963 г.

Первые трубы изготавливались из полиэтилена низкой плотности, получаемого по технологии с применением высоких давлений. Чтобы обеспечить трубе из этого материала необходимую прочность, они изготавливались толстостенными, что приводило к большому расходу сырья. Это, а также высокая энергоемкость процесса производства полиэтилена препятствовали широкому распространению таких труб. Но, несмотря на недостатки, эти трубы, благодаря ряду свойств, нашли применение. Выпуск труб из полиэтилена низкой плотности предусматривается в диапазоне диаметров 10 – 160 мм. Указанные трубы изготавливают четырех типов: Л, ЧЛ, Ч и Т – на рабочее давление соответственно 0,25; 0,4; 0,6 и 1,0 МПа. Эти давления принимают из условия предполагаемого срока службы не менее 50 лет при температуре воды 20 °С.

Основной вид полиэтилена, используемый в настоящее время для производства труб – полиэтилен высокой плотности, изготавливаемый по технологии с применением низких давлений.

Недостатки труб из полиэтилена:

- высокий коэффициент линейного расширения;
- недостаточная термостойкость;
- неустойчивость при воздействии ПАВ (поверхностно-активных веществ);
- опыт практической эксплуатации полиэтиленовых труб выявил ряд случаев повреждения стенок грызунами.

Наибольшее распространение на строительном рынке Европы получили трубы из непластифицированного (жесткого) поливинилхлорида (ПВХ).

По сравнению с полиэтиленовыми, трубы из ПВХ имеют более высокие прочностные характеристики, но плохую свариваемость. Учитывая это, обеспечить надежное соединение труб и фасонных деталей можно двумя способами: раструб с резиновым уплотнительным кольцом или раструб с клеевым соединением.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения изготавливают трубы диаметром от 16 до 500 мм. Номинальное рабочее давление для таких труб при нормальной температуре эксплуатации от  $-10$  до  $+30$  °С может быть 6; 10 и 16 атмосфер.

Высокая прочность, химическая стойкость и стойкость к истиранию определили одну из самых обширных областей применения труб из ПВХ.

### **1.5. Технико-экономический анализ различных типов труб и выбор типа труб с учетом их прочностных характеристик**

Выбор материала и класса прочности труб для водоводов и водопроводных сетей производится на основании статического расчета с учетом условий их работы. В процессе работы трубопровод находится под воздействием внутреннего давления, давления грунта, временных нагрузок, собственного веса труб и веса транспортируемой воды, атмосферного давления при образовании вакуума и внешнего гидростатического давления подземных вод. Правильный учет указанных нагрузок в комбинациях, которые наиболее опасны для конкретных условий работы трубопроводов, позволяет наиболее экономично и целесообразно выбрать тип труб.

Для напорных водоводов и сетей, как правило, должны применяться неметаллические трубы. Строительство напорных трубопроводов из чугунных труб в соответствии с требованиями СНиП разрешается в пределах населенных пунктов, территорий промышленных и сельскохозяйственных предприятий. При рабочих давлениях более 1,5 МПа допускается применение стальных труб. Стальные трубы могут использоваться для переходов под железными и автомобильными дорогами; через овраги и водные преграды; в местах пересечения хозяйственно-питьевого водопровода с сетями канализации; при прокладке трубопроводов по опорам эстакад и в туннелях.

Несущую способность трубопроводов определяют допустимые предельное внутреннее гидравлическое давление  $p^{\circ}_{пр}$  и предельная внешняя нагрузка на трубопровод  $Q^{\circ}_{пр}$ . Сравнивая эти нагрузки с полученными расчетными внутренним гидравлическим давлением  $p$  и суммарной внешней приведенной нагрузкой  $Q$ , выбирают класс труб.

В основе расчетов по определению допустимых предельных внешних и внутренних нагрузок находятся показатели труб, определяемые ГОСТ или ТУ на их изготовление и приемку.

Расчетное внутреннее давление принимают равным наибольшему возможному по условиям эксплуатации давлению в трубопроводе на различных участках по длине.

Внешнюю суммарную нагрузку  $Q$  определяют на основе расчетов с учетом реальных данных о способе кладки труб, характере грунтов, нагрузок от транспорта и т. п.

Трубы, для которых предельное внутреннее гидравлическое давление равно  $p^0_{\text{пр.}}$ , могут быть использованы в том случае, если

$$p \leq m_c p^0_{\text{пр.}}$$

где  $m_c$  – коэффициент, учитывающий условия работы трубопровода.

Между величиной  $Q^0_{\text{пр.}}$ , характеризующей несущую способность труб, рассматриваемых типа и класса, и расчетной внешней суммарной нагрузкой  $Q$  на эти трубы также должно соблюдаться соотношение

$$Q \leq m_c Q^0_{\text{пр.}}$$

Коэффициент  $m_c$ , учитывающий условия работы трубопровода, определяется по формуле

$$m_c = m_1 m_2 / \gamma_n,$$

где  $m_1$  – коэффициент учитывающий кратковременность испытания, которому подвергаются трубы после изготовления;

$m_2$  – коэффициент, учитывающий снижение прочностных свойств труб в процессе эксплуатации в результате старения материала, коррозии и абразивного износа (значения коэффициентов  $m_1$  и  $m_2$  принимают в соответствии с ГОСТ или ТУ на изготовление труб и требованиями СНиПа);

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, учитывающий класс прочности труб по степени их ответственности.

Степень ответственности труб в соответствии со СНиП может быть трех классов в зависимости от категории обеспеченности подачи воды.

Чугунные, асбестоцементные и железобетонные трубопроводы рассчитываются на совместное воздействие расчетного внутреннего давления и расчетной приведенной внешней нагрузки.

Для облегчения расчетов существуют соответствующие графики, позволяющие производить выбор класса труб различных типов в зависимости от совместно действующих сил  $p$  и  $Q$ .

Следует иметь в виду, что при устройстве спрופилированного основания и повышении степени уплотнения грунта засыпки можно уменьшить расчетную суммарную нагрузку, действующую на трубопровод. В этом случае трубы выдерживают большее давление, чем трубы, лежащие на плоском

основании. Следовательно, использование этого способа укладки труб экономически целесообразнее.

## 2. УКЛАДКА ТРУБ

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать факторы, влияющие на глубину заложения водопроводных труб.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Глубина укладки труб зависит от глубины промерзания почвы (то есть глубины проникновения нулевой изотермы) и от температуры подаваемой по трубам воды и режима ее подачи.

Минимальную глубину укладки определяют исходя из условия предохранения труб от внешних нагрузок (в частности от транспорта) и нагревания в летнее время. По соображениям защиты труб от нагревания глубина заложения труб хозяйственно-питьевых водопроводов не должна быть меньше 0,5 м до верха трубы.

Глубина заложения труб, принятая для данной местности, приблизительно одинакова для всей сети, и водопроводные линии в основном следуют рельефу местности. В продольном профиле линии труб должны быть уложены таким образом, чтобы были возможны опорожнение любых участков сети и выпуск из них воздуха. Для этого сеть разбивают на участки с различными по знаку уклонами применительно к рельефу местности, но не следуя за всеми его мелкими видоизменениями. В пониженных точках на водоводах и магистральных линиях для их опорожнения устраивают выпуски, а в повышенных точках на переломе линии в профиле устанавливают воздушные вантузы, обеспечивающие выпуск воздуха.

### **2.1. Размещение труб в поперечном профиле улиц и проездов**

Перед началом работ по укладке труб должна быть произведена разбивка трассы водоводов и линий сети непосредственно на месте. Трасса и отметки заложения водопроводных труб должны быть увязаны (согласно проекту) с расположением труб и каналов иного назначения, существующих или предполагаемых к прокладке на той же территории.

На рис. 5.1 показано одно из рекомендуемых расположений водопроводных и других труб и кабелей в поперечном профиле городской улицы районного значения. При этом может быть выполнена совмещенная прокладка соседних линий в одной траншее.

При значительном диаметре водопроводной линии (500 – 600 мм и более) домовые ответвления, как было указано, присоединяют обычно к идущей параллельно ей сопровождающей трубе, которая соединяется с магистралью в узловых точках сети.

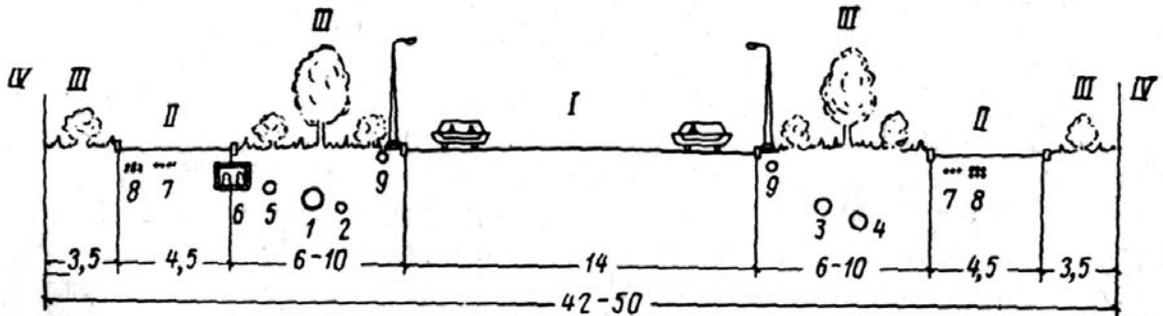


Рис. 5.1. Расположение труб в поперечном профиле улицы: I – проезжая часть улицы; II – тротуары; III – полосы зелени; IV – красная линия; 1 – водопроводная магистраль; 2 – линия разводящей водопроводной сети; 3 – водосток; 4 – канализация; 5 – газопровод; 6 – тепловая сеть; 7 – кабели высокого напряжения; 8 – кабели низкого напряжения; 9 – кабели освещения

В крупных городах и на промышленных предприятиях с большим числом трубопроводов различного назначения для их укладки иногда устраивают специальные проходные туннели, допускающие свободный осмотр труб и позволяющие производить ремонтные работы без раскопки траншей.

## 2.2. Гидравлические испытания водопроводных линий

Смонтированные напорные трубопроводы испытывают на прочность и плотность (герметичность). Существует два вида испытаний: гидравлический и пневматический. Наиболее широкое применение находит гидравлический способ испытания водой. Пневматический способ испытания воздухом применяют в тех случаях, когда по климатическим условиям использование воды невозможно или когда наблюдается ее дефицит.

Испытание осуществляют, как правило, в два этапа. На первом этапе предварительное испытание на прочность и герметичность проводят до засыпки траншеи. На втором этапе приемочное (окончательное) испытание на прочность и герметичность выполняют после полной засыпки трубопроводов. Оба вида испытаний выполняют до установки гидрантов, вентузов и предохранительных клапанов, вместо которых используют заглушки.

При проведении гидравлического испытания воду для заполнения трубопровода берут из действующего водопровода или ближайшего источника. Требуемое давление при испытании трубопроводов создают механизированными прессами. Через определенное время, когда давление в трубопроводе снижается до рабочего, производят осмотр трубопровода. Напор-

ный трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если в нем под действием испытательного давления не произошло разрыва труб и фасонных частей, а при действии рабочего давления не наблюдаются утечки воды. Обнаруженные дефекты должны быть устранены, после чего трубопровод подвергают повторному предварительному испытанию. После окончания испытания воду перекачивают на следующий участок трубопровода, подлежащего испытанию. Воду после испытаний сбрасывают в водостоки или канализационную сеть.

Окончательное гидравлическое испытание трубопроводов начинают через 1 – 3 сут после засыпки траншеи грунтом и заполнения трубопровода водой. При окончательном испытании определяют фактическую утечку воды из трубопровода, которая не должна превышать допустимого значения.

Значения испытательных давлений, времени их действия, допустимых утечек и длины испытательных участков определяются нормативными документами, проектами и инструкциями.

Испытание трубопроводов на прочность пневматическим способом может производиться, если рабочее давление в них не превышает 0,5 МПа. Неплотности и другие дефекты выявляют по звуку просачивающегося воздуха; по пузырям, образующимся в местах утечки воздуха из трубопровода при покрытии стыковых соединений и других мест мыльной эмульсией; по запаху одорированного воздуха, вытекающего через неплотности, и др.

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните, какие типы труб вы знаете.
2. Подумайте, каким образом надежность работы трубопровода зависит от выбранного материала труб.
3. Вспомните, какие способы защиты металлических труб от коррозии вы знаете.
4. Какие способы испытания трубопроводов вы знаете?
5. Вспомните, какие этапы испытания трубопроводов вы знаете.

## **УЭ-2. АРМАТУРА И СООРУЖЕНИЯ НА СЕТИ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - назначение и конструкции арматуры, применяемой на водопроводной сети;
  - конструкции водопроводных колодцев;
  - назначение и конструкции упоров.
2. Студент должен уметь: выполнить детализировку водопроводной сети.

## **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Арматура систем подачи и распределения воды:
  - задвижки, затворы, обратные и предохранительные клапаны, пожарные гидранты, водоразборные колонки и краны, воздушные вантузы и др.
2. Колодцы на сети, их конструкции и размеры:
  - применение сборных железобетонных конструкций для колодцев;
3. Упоры и их типы.
4. Детализовка водопроводной сети.
5. Способы перехода водопроводных линий через реки, овраги и пути сообщения:
  - конструктивные решения переходов.

## **1. АРМАТУРА СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать правила выбора типа и параметров трубопроводной арматуры в зависимости от ее назначения.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Для возможности регулирования, обслуживания, ремонта и обеспечения надежной работы водопроводная сеть оборудуется арматурой. По назначению трубопроводная арматура подразделяется на следующие виды:

- запорная арматура для включения и отключения насосов и трубопроводов;
- запорно-предохранительная арматура для автоматического перекрытия потока воды;
- регулирующая арматура для поддержания заданного давления на выходе из насосной станции и в диктующих точках сети;
- аэрационная арматура для впуска и удаления воздуха из трубопроводов;
- предохранительная арматура для предотвращения повышения давления в сети сверх определенного предела;
- водоразборная арматура некоторых видов может выполнять одновременно несколько функций, например функции запорной и регулирующей арматуры.

Выбор типа и параметров трубопроводной арматуры зависит от схемы системы водоснабжения, насосного оборудования и потребителей воды.

**1.1. Задвижки, затворы, обратные и предохранительные клапаны, пожарные гидранты, водоразборные колонки и краны, воздушные вантузы и др.**

В качестве запорной арматуры для выключения ремонтных участков водоводов, сети и насосных установок применяют задвижки и поворотные затворы. Задвижки по конструкции запорного органа подразделяются на параллельные и клиновые.

В параллельных задвижках проход корпуса перекрывается двумя подвижно соединенными между собой дисками, которые раздвигаются одним или двумя расположенными между ними клиньями. Уплотняющие кольца корпусов и дисков расположены параллельно друг другу и перпендикулярно оси задвижки (рис. 5.2).

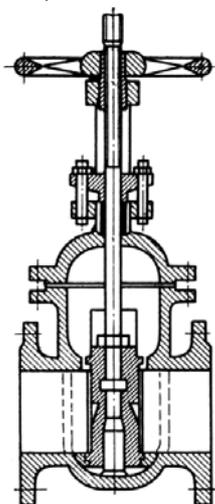


Рис. 5.2. Параллельная задвижка

В клиновых задвижках (рис. 5.3) проход корпуса перекрывается круглым диском, который перемещается в гнезде между наклонными уплотняющими кольцами корпуса.

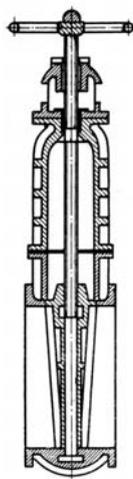


Рис. 5.3. Клиновая задвижка

Задвижки обоих видов изготавливают как с выдвигным, так и с невыдвигным шпинделем. Первые имеют большую высоту. При устройстве хозяйственно-питьевых водопроводов выдвигающийся шпиндель нежелателен по санитарным соображениям.

Задвижки выпускают, рассчитанные на давление 0,25 – 6,4 МПа в диапазоне диаметров 50 – 2000 мм. Задвижки больших диаметров оборудуют обводными линиями, на которых устанавливают задвижки меньших диаметров для выравнивания давления до и после задвижки с целью облегчения их открытия. Они могут быть с ручным, гидравлическим и электрическим приводами. Вид привода определяется условиями эксплуатации: наличием электроэнергии, степенью автоматизации и др.

В качестве запорной арматуры все более широкое применение находят поворотные затворы. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с задвижками: меньшая масса, меньшие габариты, высокие показатели надежности, легкость управления, полное опорожнение корпуса от воды при выпуске из трубопровода воды, что исключает опасность его размораживания зимой. Их недостаток в том, что они имеют более высокое гидравлическое сопротивление, однако при скоростях движения воды в трубопроводах систем водоснабжения (1 – 2 м/с) потери напора незначительны. К недостаткам дисковых затворов следует также отнести неудобства, создаваемые ими при прочистке трубопроводов.

Основными частями дискового поворотного затвора, который изображен на рис. 5.4 в закрытом положении, является диск, вращающийся на валу 3, жестко связанном с рычагом 4. Поворот системы диск – ось – рычаг производится шпинделем 11, который связан с рычагом шарнирно. Вращательное движение вала электропривода 8 или ручного штурвала 7 с помощью бугельного узла 10 преобразуется в поступательное движение шпинделя. Уплотнение осуществляется с помощью резинового кольца 6, заложенного в канавку по окружности диска. Резиновое кольцо прикреплено к диску прижимным кольцом 5. В закрытом положении уплотнительное кольцо прижато к седлу 2 корпуса затвора.

Рабочее положение затвора: полностью открыт (в это время плоскость диска параллельна потоку жидкости) или полностью закрыт. Электропривод при достижении диском крайних положений выключается концевыми выключателями, расположенными в коробке 9.

Поворотные дисковые затворы изготавливают в диапазоне диаметров 50 – 2400 мм с ручным, электрическим или гидравлическим приводом, рассчитанным на давление 0,25 – 1 МПа.

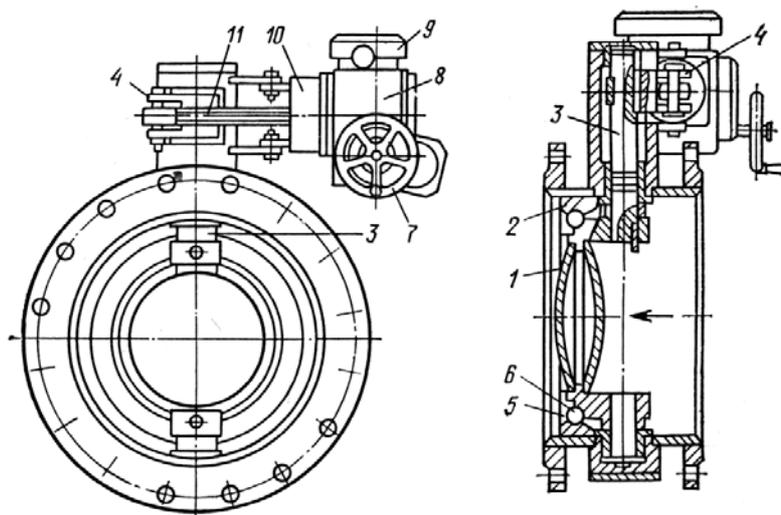


Рис. 5.4. Затвор поворотный дисковый

В качестве запорно-предохранительной арматуры применяют обратные клапаны, которые выпускают различных конструкций диаметром 50 – 1000 мм, рассчитанными на давление 0,25 – 4,0 МПа.

В настоящее время изготавливают обратные поворотные клапаны с регулируемым закрытием (рис. 5.5) в диапазоне диаметров 200 – 1000 мм. Они предназначены для безударного отключения трубопроводов при возникновении обратного потока воды и для установки на автоматизированных насосных станциях, предусматривающих пуск и остановку агрегатов на открытом запорный орган.

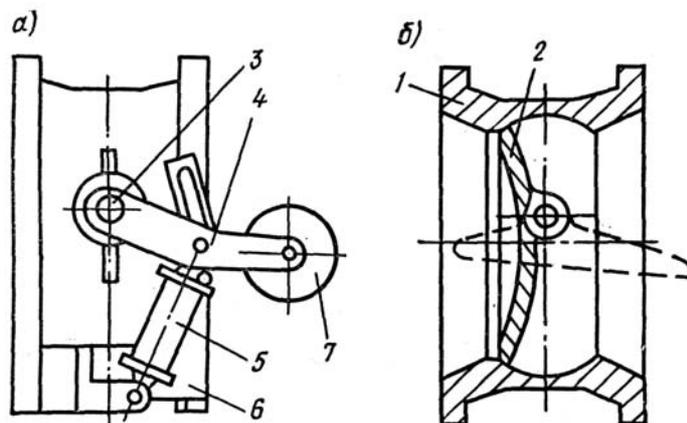


Рис. 5.5. Клапан обратный поворотный с регулируемым закрытием:  
 а) общий вид; б) разрез; 1 – корпус; 2 – диск; 3 – вал; 4 – рычаг диска;  
 5 – гидроцилиндр-демпфер; 6 – кронштейн; 7 – противовес

Под действием потока воды диск с рычагом поворачивается вокруг вала на  $85^\circ$  и клапан открывается. При включении насосного агрегата закрытие клапана при первых поворотах на  $57 - 63^\circ$  происходит быстро, а при последних поворотах на  $22 - 28^\circ$  – замедленно. Торможение диска

осуществляется демпфером, в котором масло под давлением от поршня перетекает через дроссельные отверстия из одной плоскости в другую. Корпус клапанов выполняют из чугуна, а детали – из стали. Эти клапаны широко используют в устройствах, предназначенных для предотвращения гидравлических ударов.

На трубопроводах могут также устанавливаться обратные клапаны с односторонней подвеской (рис. 5.6), закрытие которых нерегулируемо. Они выпускаются диаметром 50 – 150 мм.

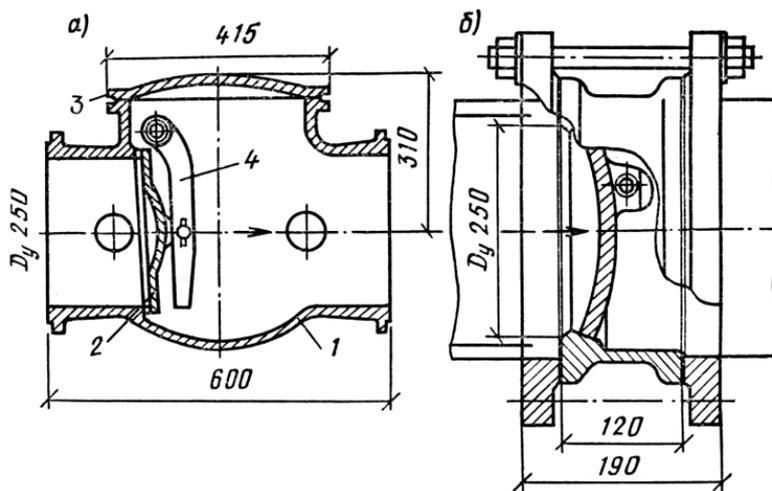


Рис.5.6. Клапан обратный поворотный с нерегулируемым закрытием:  
*а* – типа «захлопка»; *б* – безударный; 1 – корпус; 2 – тарель клапана;  
 3 – крышка корпуса; 4 – рычаг

Для создания нормальных условий работы системы подачи и распределения воды трубопроводы оборудуют аэрационными устройствами. Они необходимы для выпуска воздуха, скапливающегося в повышенных точках водовода, для выпуска воздуха при плановом или аварийном опорожнении трубопровода, а также для выпуска воздуха при заполнении всего водовода или отдельных его участков.

Для автоматического удаления воздуха из трубопровода в небольших объемах применяются эксплуатационные вантузы. Эксплуатационный шаровой вантуз (рис. 5.7), состоит из чугунного корпуса 1 цилиндрической формы с верхним 2 и нижним 7 фланцами. К верхнему фланцу прикрепляется чугунная крышка с центральным отверстием 3 для выпуска воздуха и зонт-крышка 4. В отверстие вставляется резиновая втулка 5 с отверстием диаметром 5 мм. Внутри корпуса помещен полиэтиленовый шар 6. При отсутствии воздуха в трубопроводе шар прижат к отверстию втулки. При скоплении воздуха в верхней части вантуза уровень воды падает, шар опускается, отверстие втулки открывается и воздух выходит наружу.

Эксплуатационные вантузы устанавливают в повышенных точках (перелома профиля) водоводов.

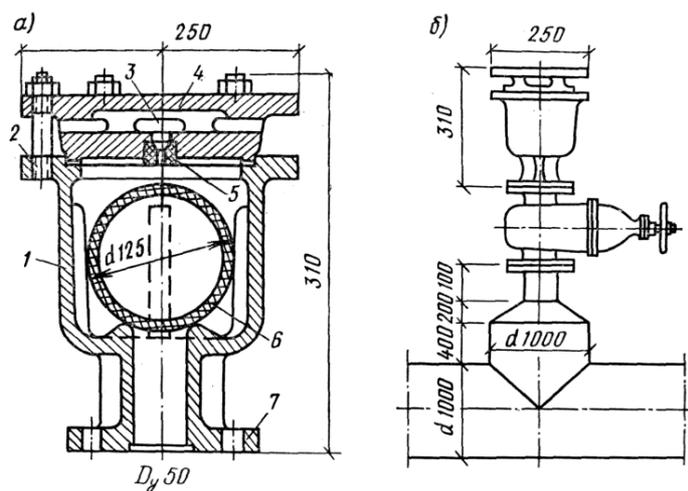


Рис. 5.7: *a* – общий вид вантуза эксплуатационного  $D_y = 50$  мм;  
*б* – схема установки его на водоводе

Для отбора воды из системы водоснабжения на ней устанавливается водоразборная арматура, к которой относятся уличные водоразборные колонки, пожарные гидранты и краны. Отбор воды на хозяйственно-питьевые нужды в жилых и общественных зданиях производится через краны. В некоторых случаях отбор воды на эти цели может осуществляться из уличных водоразборных колонок (рис. 5.8), которые устанавливаются на наружной сети.

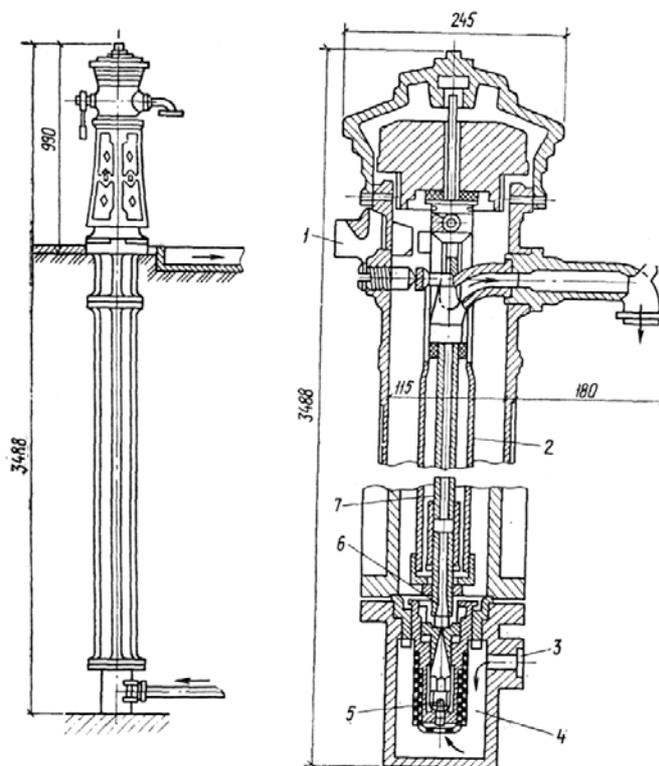


Рис. 5.8. Водоразборная колонка

При нажатии на рукоятку 1, связанную штангой 2 с клапаном 5, расположенным в нижней части, вода поступает в колонку через патрубок 3. Затем поднимается по трубе 7 и изливается из водоразборного отростка. После прекращения отбора вода стекает из подъемной трубы в сборный стакан 4. При следующем действии колонки вода всасывается эжектором 6. Колонка обеспечивает полную герметизацию сборника воды, расположенного в нижней части колонки, что отвечает санитарным требованиям.

Пожарные гидранты, используемые для целей отбора воды на пожаротушение, бывают подземными и наземными. Схема пожарного подземного гидранта приведена на рис. 5.9. Для предотвращения гидравлических ударов, возникающих при открытии и закрытии гидранта, клапан имеет обтекаемую форму, которая исключает возможность появления срывной кавитации. На водопроводных линиях диаметром более 500 мм гидранты устанавливаются на сопроводительных линиях меньшего диаметра.

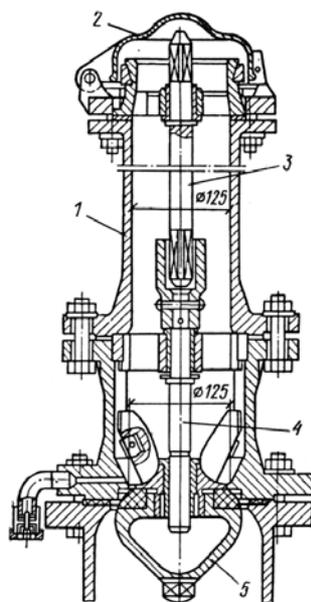


Рис. 5.9. Гидрант пожарный подземный: 1 – чугунный корпус; 2 – крышка; 3 – штанга; 4 – шпindelь; 5 – затвор с клапаном обтекаемой формы

Для отбора воды при пожаротушении из подземных гидрантов применяют пожарную колонку (рис. 5.10.). Она состоит из корпуса 1, в нижней части которого имеется резьбовое соединение, предназначенное для подключения к гидранту, и корпуса с двумя патрубками, снабженными соединительными головками 4 для подключения пожарных рукавов. Внутри колонки расположен трубчатый шток с муфтой, которая предназначена для соединения со штангой 5 гидранта. Пожарная колонка имеет блокирующее устройство для предотвращения открывания и закрывания затвора гидран-

та при открытых вентилях 2. Поэтому прежде, чем привести в действие затвор гидранта, необходимо закрыть вентиль 3 пожарной колонки.

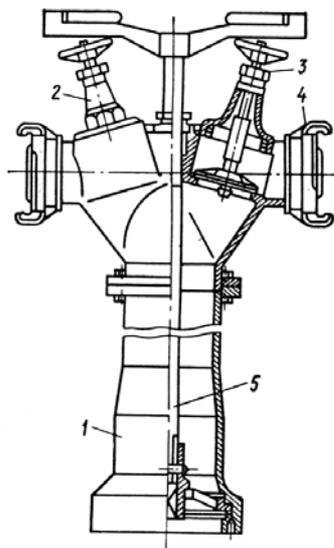


Рис. 5.10. Пожарная колонка

Наземный пожарный гидрант бесколодезного типа применяется в сельской местности и пригородных зонах, где отпадает надобность в подземных гидрантах. Существуют конструкции гидрантов, совмещенных с водоразборной колонкой.

## 2. КОЛОДЦЫ НА СЕТИ, ИХ КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРЫ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать назначение и конструкции водопроводных колодцев.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Для обеспечения нормальной эксплуатации водоводов и водопроводных сетей в местах установки арматуры и фасонных частей с фланцевыми соединениями устраивают водопроводные колодцы и, камеры.

Для определения габаритов водопроводных колодцев необходимо знать диаметр труб, размеры фасонных частей, а также размеры задвижек и пожарных гидрантов. При определении размеров колодцев минимальные расстояния до внутренних поверхностей колодца надлежит принимать в соответствии со СНиП 2.04.02-84.

Высота рабочей части колодцев должна быть не менее 1,5 м. Для спуска в колодец на горловине и стенках колодца надлежит устанавливать

рифленые стальные или чугунные скобы; допускается применение переносных металлических лестниц. Вокруг люков и колодцев, размещаемых на застроенных территориях без дорожных покрытий, следует предусматривать отмостки шириной 0,5 м с уклоном от люков.

На проезжей части крышки люков должны быть на одном уровне с ее поверхностью. При заделке труб в стенках колодцев необходимо обеспечивать плотность соединений, водонепроницаемость в мокрых грунтах, а также возможность осадки стенок.

При прокладке значительных и сложных узлов трубопроводов больших диаметров для размещения коммуникаций устраивают камеру переключений. При размещении задвижек в камерах предусматривается возможность управления ими с поверхности земли через небольшие люки с помощью специальных устройств.

## 2.1. Применение сборных железобетонных конструкций для колодцев

Водопроводные колодцы следует сооружать из сборного железобетона.

Колодцы шириной до 2,5 м, как правило, устраивают круглыми, а свыше 2,5 м – прямоугольными. На рис. 5.11 показан круглый в плане колодец из сборного железобетона, предназначенный для основных узлов трубопроводов диаметром 100 – 600 мм.

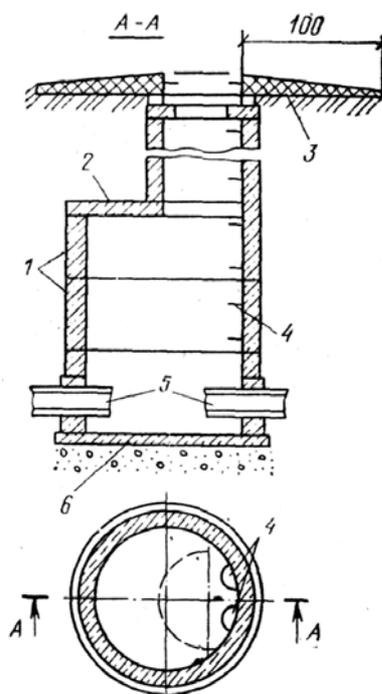


Рис. 5.11. Водопроводный колодец: 1 – кольцо из железобетона; 2 – плита перекрытия; 3 –отмостка; 4 – скобы; 5 – трубы водопроводной сети; 6 – днище

Колодец состоит из основания, рабочей камеры и горловины. Горловина колодца имеет диаметр 620 – 700 мм и перекрыта чугунным люком. Для спуска в колодец в стенки его заделывают скобы из чугуна либо из круглой или квадратной стали.

### 3. УПОРЫ И ИХ ТИПЫ

#### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать необходимость применения упоров на водопроводной сети.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Давление воды, наполняющей водопроводные трубы, вызывает растягивающие усилия в материале их стенок. При этом на прямых участках линий усилий, действующих вдоль оси трубы, не возникает. Они появляются в местах поворота линий и в некоторых узлах сети, в частности в местах ответвлений, концах тупиковых участков и т. д. Силы действуют вдоль оси труб и передаются на стыковые соединения. Стыки раструбных труб не рассчитаны на сопротивление продольным растягивающим силам, и для них в указанных случаях необходимо устройство упоров, воспринимающих эти силы. Особенно важно предусмотреть устройство упоров (рис. 5.12) для труб большого диаметра, в которых силы, разрушающие стык, могут быть весьма значительны.

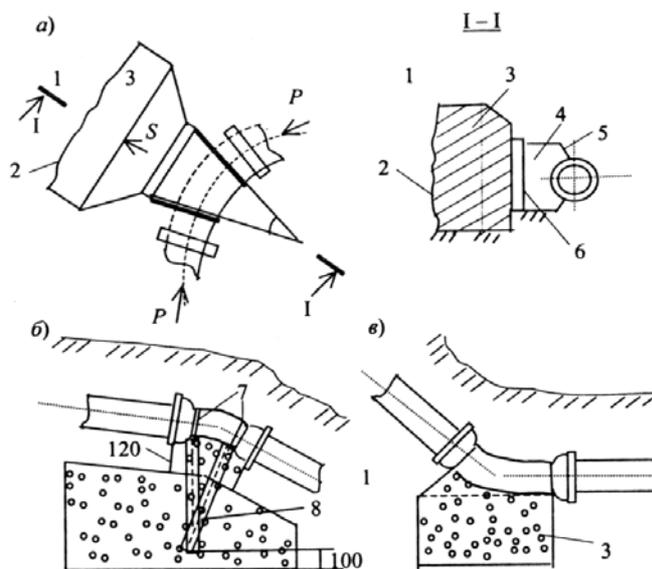


Рис. 5.12. Упоры для чугунных раструбных трубопроводов: *а* – при повороте в горизонтальной плоскости; *б, в* – при повороте в вертикальной плоскости; 1 – ненарушенный грунт; 2 – опорная поверхность; 3 – тело упора; 4 – подушка; 5 – бетон; 6 – толевая прокладка в два слоя; 7 – хомуты; 8 – анкерные болты.

Упоры конструктивно выполняются в виде бетонных кирпичных или бутовых массивов, в которые упираются соответствующие фасонные части. Упоры можно устраивать как в колодцах, так и прямо в земле.

При рабочем давлении до 1 МПа и угле поворота до 10° упоры на чугунных трубах допускается не устанавливать, ограничиваясь опиранием участка поворота в ненарушенный грунт. Упоры на стальных трубопроводах устанавливают лишь при расположении угла поворота в колодце и при поворотах в вертикальной плоскости на 30° и более.

#### 4. ДЕТАЛИРОВКА ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

##### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать особенности и принципы детализации сети.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

При проектировании наружной водопроводной сети после определения диаметров и выбора материала труб производят детализацию всех узлов сети. Правильное конструирование узлов и рациональное использование существующих в сортаменте фасонных частей весьма важно, так как это удешевляет устройство сети и уменьшает размеры колодцев. При составлении детализации сети прежде всего намечают места установки на ней задвижек и пожарных гидрантов. После этого приступают к подбору фасонных частей, составляющих отдельные узлы.

На схеме водопроводной сети показывают трубопроводы с указанием диаметров и длин участков, отводов внутриквартальной распределительной сети и мест расположения колодцев. Распределительная сеть не рассчитывается и диаметр ее принимается равным 100 мм.

Трубопроводы на схеме обозначаются в соответствии с ГОСТ 21.604-82 одной сплошной линией, элементы сети и трубопроводная арматура – условными графическими обозначениями.

Схемы сетей выполняют в плане без масштаба. Элементам сетей присваивают обозначения, состоящие из порядковых номеров элементов в пределах каждой сети. Колодцам и камерам с пожарными гидрантами присваивают марку ПГ и номер (например, ПГ-1, ПГ-2). Для колодцев, не имеющих гидрантов, вводится только нумерация. Обозначение диаметра трубопровода на схемах сетей наносится над трубопроводом.

Затем составляются монтажные схемы каждого кольца, которые выносятся в виде отдельной таблицы.

Всем элементам сети присваиваются номера позиций. Одинаковым, одного диаметра элементам присваивают одинаковые номера позиций.

По монтажным схемам (рис. 5.13) составляют спецификацию всех элементов сети по форме, приведенной в табл. 5.1.

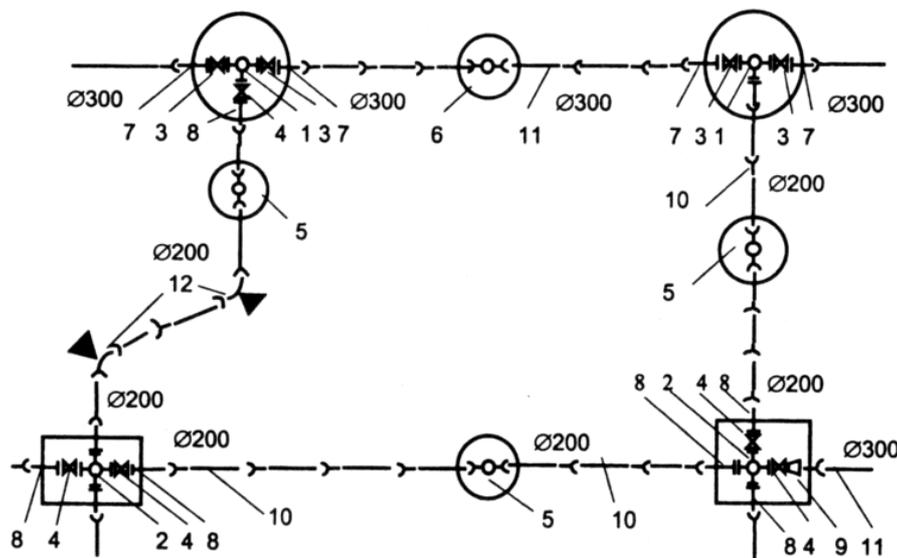


Рис. 5.13. Пример детализовки кольца водопроводной сети

Таблица 5.1

### Пример спецификации

|      | Обозначение                    | Наименование                            | Ед. изм. | Кол-во | Масса ед., кг |
|------|--------------------------------|---|----------|--------|---------------|
| В-1  | ППТФ 300×200                   | Тройник фланцевый с пожарной подставкой | шт       | 2      | 131,0         |
| В-2  | ППКФ 200                       | Крест фланцевый с пожарной подставкой   | шт       | 2      | 111,0         |
| В-3  | 30ч6бр                         | Задвижка Д <sub>у</sub> 300             | шт       | 4      | 173,0         |
| В-4  | 30ч6бр                         | Задвижка Д <sub>у</sub> 200             | шт       | 5      | 89,0          |
| В-5  | ППР 200                        | Пожарная подставка раструбная           | шт       | 3      | 75,0          |
| В-6  | ППР 300                        | Пожарная подставка раструбная           | шт       | 1      | 121,0         |
| В-7  | ПФГ 300                        | Патрубок фланец - гладкий конец         | шт       | 4      | 57,8          |
| В-8  | ПФГ 200                        | Патрубок фланец - гладкий конец         | шт       | 6      | 32,0          |
| В-9  | ХРФ 300×200                    | Переход фланец-раструб                  | шт       | 1      | 66,2          |
| В-10 | ЧНР200А×6000<br>ГОСТ 8437-75   | Трубы чугунные Д <sub>у</sub> 200       | шт       |        | 312           |
| В-11 | ЧНР 300 А×6000<br>ГОСТ 8437-75 | Трубы чугунные Д <sub>у</sub> 300       | шт       |        | 583           |
| В-12 | ОРГ 30° 200<br>ГОСТ 5525-88    | Отвод раструб - гладкий конец           | шт       | 2      | 47,5          |

## 5. СПОСОБЫ ПЕРЕХОДА ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ЧЕРЕЗ РЕКИ, ОБРАГИ И ПУТИ СООБЩЕНИЯ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать способы перехода водопроводных линий через препятствия.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Переходы трубопроводов под железными и автомобильными дорогами выполняют, как правило, в специальных футлярах (кожухах). Кожух перехода предназначен для предохранения рабочего трубопровода от нагрузок, возникающих при движении транспорта над трубопроводом, и для защиты его от воздействия агрессивных грунтов и блуждающих электрических токов. Кроме того, кожух предохраняет дорогу от разрушений в случае разрыва трубопровода под ней. Кожух выполняется из стальных труб.

Переходы должны обеспечивать безопасное движение транспорта в период производства работ по прокладке трубопроводов, предохранение земляного полотна и покрытия дорог от размыва при возможной аварии на трубопроводах, а также предохранение трубопроводов перехода от разрушения. Переходы должны устраиваться на прямолинейных участках трубопроводов с пересечением полотна железной или автомобильной дороги под прямым углом. Переходы обычно располагают под полотном железной дороги в местах с минимальным количеством путей, как правило, вне мест расположения стрелочных переводов, съездов, не ближе 10 м от опор контактной сети и фундаментов искусственных сооружений.

Прокладку трубопроводов через реки можно осуществить надземным переходом и по дну реки.

### 5.1. Конструктивные решения переходов

Типовой проект перехода водопроводных линий под железнодорожными путями показан на рис.5.14.

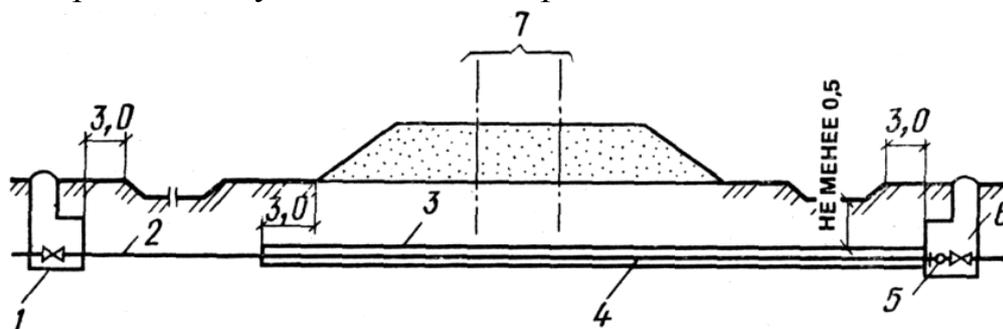


Рис. 5.14. Переход водопроводных линий под железнодорожными путями:  
1 – водопроводный колодец; 2 – ремонтный участок; 3 – кожух;  
4 – рабочая труба; 5 – выпуск; 6 – задвижка; 7-железнодорожное полотно

Конструкцией перехода предусматриваются возможности наблюдения за его работой, отключения и опорожнения его. Общая длина перехода складывается из длины кожуха и длины ремонтного участка. Кожух принимается такой длины, чтобы концы его были выведены на расстояние не менее 5 м от подошвы откоса насыпи и 3 м – от бровки откоса выемки.

На трубопроводе с обеих сторон перехода устраивают колодец с запорной арматурой, установленной в целях отключения и опорожнения переходов. Диаметр рабочей трубы перехода принимают, как правило, равным диаметру рабочего трубопровода; диаметр кожуха определяют в зависимости от диаметра, материала рабочей трубы и от способа производства работ. Рабочий напорный трубопровод, укладываемый в кожухе, выполняется из стальных труб, так как при укладке обеспечивается целостность стыков при затаскивании труб в кожух.

Схемы переходов под автомобильными дорогами аналогичны схемам переходов под железнодорожными путями.

При переходе трубопроводов через реки по дну, водопроводные трубы укладываются в виде дюкера (рис. 5.15). Число линий труб дюкера должно быть не менее двух, при выключении одной из линий по остальным должна обеспечиваться подача 100 % расчетного расхода. Дюкеры укладывают из стальных труб повышенной прочности с усиленной антикоррозийной защитой. В соответствии с требованием СНиП 2.04.02-84 глубина укладки подводной части трубопровода (до верха трубы) должна быть не менее чем на 0,5 м ниже дна реки, а в пределах фарватера на судоходных водотоках не менее чем на 1 м. Расстояние между линиями дюкера в свету должно быть не менее 1,5 м. По обе стороны дюкера необходимо устраивать специальные колодцы с установкой в них с помощью задвижек соответствующих переключений.

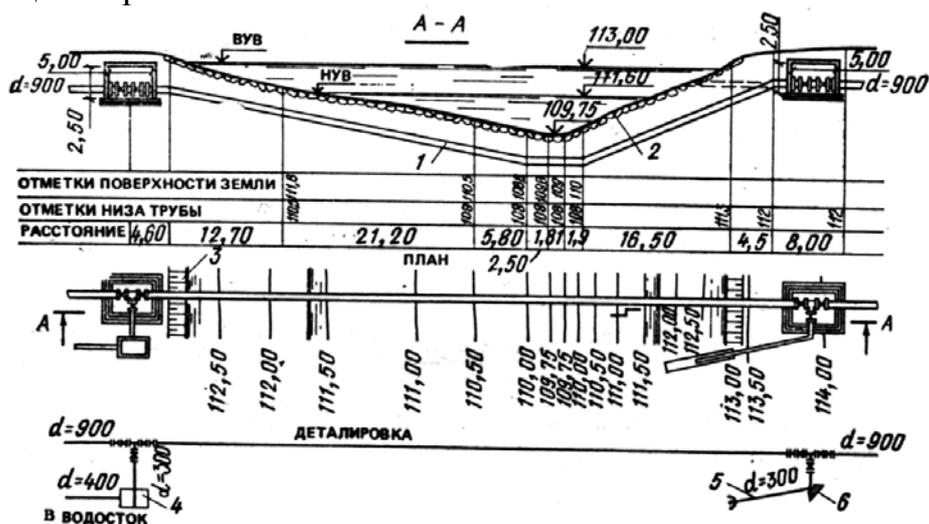


Рис. 5.15. Переход водопроводных труб по дну реки:  
1 – сварной трубопровод; 2 – каменная наброска; 3 – берегоукрепление;  
4 – водобойный колодец; 5 – выпуск; 6 – упор

Наиболее целесообразно переход через реку осуществлять по способу подвески трубопровода под мостами или под выносными частями с использованием существующих и в отдельных случаях с устройством специальных мостов.

Переходы проектируются из стальных труб со сварными стыками, усиленными муфтами.

Переход через овраги водопроводными сетями может осуществляться как посредством укладываемых ниже дна дюкеров, так и с применением надземных переходов.

При укладке дюкера необходимо выполнять все требования, предъявляемые к его укладке при переходе через реки, обратив особое внимание на крепление склонов оврага.

Конструкции надземных переходов, применяемых в практике строительства водопроводных сетей, весьма разнообразны. К основным видам устройства надземных переходов трубопроводами относятся: в виде **провисающей нити**; укладка по специально сооруженным опорам и эстакадам; устройство переходов в дамбах; устройство переходов в виде трубчатых самонесущих арок.

Переходы через глубокие, но не широкие овраги с крутыми высокими берегами могут быть выполнены из стальных труб в виде провисающей нити, закрепленной на берегах и не требующей промежуточных опор.

Переходы через широкие, но неглубокие овраги можно осуществить прокладкой трубопроводов по специальным эстакадам, выполненным из сборных железобетонных элементов.

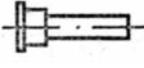
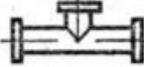
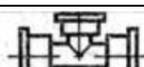
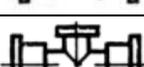
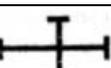
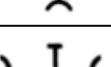
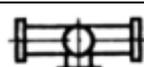
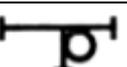
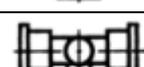
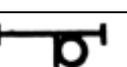
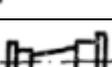
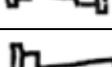
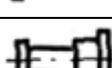
## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ К УЭ-2

Выполнить детализировку одного кольца запроектированной водопроводной сети.

Порядок выполнения задания:

При выполнении детализировки руководствоваться материалом, изложенным в разделе 4 данного модуля. При этом:

- кольцо для детализировки выбрать по желанию;
- для правильного конструирования узлов использовать существующие в сортаменте фасонные части. Фасонные части для чугунных труб представлены ниже.

| ФАСОННЫЕ ЧАСТИ                | СХЕМА  | ОБОЗНАЧЕНИЯ   |              |
|-------------------------------|--|---|--------------|
|                               |  | на схемах   | в документах |
| ТРУБА РАСТРУБНАЯ              |    |    | ЧНР          |
| ТРОЙНИК ФЛАНЦЕВЫЙ             |    |    | ТФ           |
| ТРОЙНИК РАСТРУБНЫЙ            |    |    | ТР           |
| ТРОЙНИК РАСТРУБ-ФЛАНЕЦ        |    |    | ТРФ          |
| КРЕСТ ФЛАНЦЕВЫЙ               |    |    | КФ           |
| КРЕСТ РАСТРУБНЫЙ              |    |    | КР           |
| КРЕСТ РАСТРУБ-ФЛАНЕЦ          |    |    | КРФ          |
| ВЫПУСК ФЛАНЦЕВЫЙ              |    |    | ВФ           |
| ВЫПУСК РАСТРУБНЫЙ             |  |  | ВР           |
| КОЛЕНО ФЛАНЦЕВОЕ              |  |  | УФ           |
| КОЛЕНО РАСТРУБНОЕ             |  |  | УР           |
| КОЛЕНО РАСТРУБ-ГЛАДКИЙ КОНЕЦ  |  |  | УРГ          |
| ОТВОД РАСТРУБНЫЙ              |  |  | ОР           |
| ОТВОД РАСТРУБ-ГЛАДКИЙ КОНЕЦ   |  |  | ОРГ          |
| ПЕРЕХОД ФЛАНЦЕВЫЙ             |  |  | ХФ           |
| ПЕРЕХОД РАСТРУБ-ФЛАНЕЦ        |  |  | ХРФ          |
| ПЕРЕХОД РАСТРУБНЫЙ            |  |  | ХР           |
| ПЕРЕХОД РАСТРУБ-ГЛАДКИЙ КОНЕЦ |  |  | ХРГ          |
| ПАТРУБОК ФЛАНЕЦ-РАСТРУБ       |  |  | ПФР          |

| ФАСОННЫЕ ЧАСТИ                               | СХЕМА  | ОБОЗНАЧЕНИЯ   |              |
|--|--|---|--------------|
|  |  | на схемах   | в документах |
| ПАТРУБОК ФЛАНЕЦ-ГЛАДКИЙ КОНЕЦ                |  |  | ПФГ          |
| ДВОЙНОЙ РАСТРУБ                              |  |  | ДР           |
| ПОЖАРНАЯ ПОДСТАВКА РАСТРУБНАЯ                |  |  | ППР          |
| ТРОЙНИК РАСТРУБ-ФЛАНЕЦ С ПОЖАРНОЙ ПОДСТАВКОЙ |  |  | ППТРФ        |
| ТРОЙНИК ФЛАНЦЕВЫЙ С ПОЖАРНОЙ ПОДСТАВКОЙ      |  |  | ППТФ         |
| КРЕСТ ФЛАНЕЦ-РАСТРУБ С ПОЖАРНОЙ ПОДСТАВКОЙ   |  |  | ППКРФ        |
| КРЕСТ ФЛАНЦЕВЫЙ С ПОЖАРНОЙ ПОДСТАВКОЙ        |  |  | ППКФ         |

### Самоконтроль по УЭ-2

1. Вспомните, какая арматура относится к запорной.
2. Вспомните, какие правила установки водоразборных колонок.
3. Вспомните правила установки пожарных гидрантов на водопроводной сети.
4. Подумайте, на основании чего определяются размеры водопроводных колодцев.
5. Вспомните, в каких местах водопроводной сети устанавливаются упоры.
6. Вспомните особенности устройства дюкеров.
7. Вспомните, какие существуют способы пересечения оврагов водопроводными сетями.

Итак, вы изучили учебный модуль М-5 Устройство водопроводных сетей и водоводов.

Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## **УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ**

### **Учебные цели УЭ-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. На основании чего производится выбор материалов труб для строительства водопровода.
2. Какие способы защиты металлических труб от коррозии вы знаете.
3. Для чего служат вантузы и в каких местах сети они устанавливаются.
4. Чему равна высота рабочей части водопроводного колодца.
5. Какие вы знаете способы переходов водопроводных труб через реки.

## **УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ**

После изучения данного модуля вы должны:

- уметь обосновать выбор материала труб для системы распределения воды;
- знать конструкции и правила установки арматуры и сооружений на водопроводной сети;
- знать правила проведения испытания напорных трубопроводов;
- владеть навыками выполнения детализации водопроводной сети.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат, 1982.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест», предложенный преподавателем.

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## М-6. ЗАПАСНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЕМКОСТИ

Приступая к изучению данного модуля, необходимо проверить свои знания по следующим вопросам:

1. Какая роль запасных и регулирующих емкостей в системе водоснабжения?

2. Что такое коэффициент часовой неравномерности?

Если вы правильно ответили на эти вопросы, можете переходить к изучению модуля.

В случае неуверенности в правильности своих ответов на эти вопросы и наличия затруднений, целесообразно проконсультироваться у преподавателя и повторить материал модуля М-1 и М-2.

- Место и значение модуля «Запасные и регулирующие емкости»: правильный выбор места расположения, режима работы и объемов регулирующих емкостей позволяет снизить их стоимость и повысить степень надежности системы водоснабжения.

- Цель изучения модуля:

- знать роль и значение запасных и регулирующих емкостей в системе водоснабжения;

- знать оборудование запасных и регулирующих емкостей;

- уметь определить объемы запасно-регулирующих емкостей.

Структура модуля:



Схема иллюстрирует структуру модуля и его учебные элементы (УЭ). Следует обратить внимание на название УЭ и их последовательность – это порядок, в котором их целесообразно усваивать.

### Названия учебных элементов

УЭ-0. Введение.

УЭ-1. Безнапорные регулирующие запасные емкости.

УЭ-2. Напорно-регулирующие сооружения.

УЭ-R. Обобщение.

УЭ-К. Итоговый контроль по модулю.

## УЭ-0. ВВЕДЕНИЕ В МОДУЛЬ

**Ключевая проблема:** какова роль запасных и регулирующих емкостей в обеспечении надежности работы системы водоснабжения.

**Ведущая идея:** Запасно-регулирующие емкости позволяют обеспечить более равномерную работу насосных станций, а также способствуют обеспечению бесперебойной работы системы водоснабжения.

**Основные понятия:** запасные емкости, регулирующие емкости, напорные и безнапорные емкости, полный объем емкостей.

Проработайте основные понятия модуля по мере знакомства с материалом.

Емкости в системах водоснабжения применяют для регулирования режима работы системы, создания противопожарных и аварийных запасов воды, хранения расходов на технологические цели производств и на собственные нужды водопроводных станций. Правильный выбор места расположения, режима работы и объемов регулирующих емкостей позволяет снизить их стоимость и повысить степень надежности системы водоснабжения. Это достигается равномерной нагрузкой водоводов и магистралей, уменьшением их диаметров и обеспечением работы основных насосных станций практически в постоянном режиме при оптимальных значениях КПД насосных агрегатов. Требуемые параметры регулирующих емкостей определяют путем анализа работы системы подачи и распределения воды при различных режимах водопотребления и технико-экономического сравнения различных вариантов.

Регулирующие емкости бывают следующих типов: водонапорные башни и колонны; резервуары; гидропневматические установки. Выбор типа емкости в каждом конкретном случае должен производиться на основе сравнения вариантов с учетом стоимости строительства, эксплуатационных расходов и расходов на оплату электроэнергии, а также надежности работы системы и эстетических аспектов. Например, стоимость единицы объема водонапорных башен выше стоимости единицы объема подземных и наземных безнапорных резервуаров, однако, при нарушении электропитания башен подача воды потребителям прекращается не сразу.

## **УЭ-1. БЕЗНАПОРНЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЗАПАСНЫЕ ЕМКОСТИ**

### **Учебные цели УЭ-1:**

1. Студент должен знать: основные требования, предъявляемые к безнапорным регулирующим емкостям.
2. Студент должен уметь: определить полный требуемый объем емкости.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-1:**

1. Общие сведения о емкостях:
  - резервуары чистой воды, их оборудование.
2. Определение полного объема резервуаров чистой воды.

В зависимости от способа подачи воды емкости могут быть напорными (активными) и безнапорными (пассивными). В первом случае вода поступает к потребителю под требуемым напором; во втором – для ее подачи требуется установка водоподъемного оборудования.

К безнапорным запасно-регулирующим емкостям относятся резервуары чистой воды.

Безнапорные сооружения (резервуары) устраивают у насосных станций. Они служат для регулирования работы водозаборов, очистных сооружений и насосных станций. В этих резервуарах часто содержатся запасные воды различного назначения.

Объем воды в резервуарах перед насосными станциями, работающими равномерно, следует принимать из расчета 5 – 10 минутной продолжительности работы насоса большей производительности.

Запасные резервуары, предназначенные для хранения аварийного или противопожарного запасов воды, как самостоятельные сооружения строят сравнительно редко. Чаще всего их совмещают с регулируемыми емкостями. Это не только экономически выгодно, но и позволяет избежать снижения качества воды при ее длительном хранении.

## **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЕМКОСТЯХ**

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать роль резервуаров чистой воды, их конструкции и оборудование.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Резервуары могут быть как напорными (активными), так и безнапорными (пассивными). Активные резервуары располагают на возвышенных отметках, обеспечивающих необходимый напор у потребителей. Они выполняют такую же роль, как и водонапорная башня. Из пассивных резервуаров вода не может быть подана потребителю без применения водоподъемного оборудования. Эти резервуары обычно используются как регулирующие емкости на станциях очистки воды, а также в черте города или промышленного предприятия для хранения противопожарного либо аварийного запаса воды.

В современных условиях в основном применяют резервуары из железобетона. Они бывают различных конструкций, круглой и прямоугольной форм и выполняются различными способами строительства. В некоторых странах находят применение стальные резервуары. Однако из-за большой металлоемкости, трудности защиты от коррозии и необходимости устройства термоизоляции они не нашли широкого применения.

### **1.1. Резервуары чистой воды, их оборудование**

В зависимости от заглубления резервуары подразделяются на подземные и полуподземные. Они бывают объемом от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров и в основном выполняются по типовым проектам.

На территории объекта общее число резервуаров одного назначения должно быть не менее двух. При этом их объемы необходимо назначать так, чтобы при выключении одного из резервуаров в остальных сохранялся противопожарный и аварийный запас в размере не менее 50 %. В том случае, если в резервуарах не содержится противопожарный и аварийный запас воды, то в соответствии со СНиП 2.04.02-84 допускается устройство одного резервуара.

Резервуары, как и водонапорные башни, оборудуют подводящими и отводящими трубопроводами, переливными и спускными устройствами, системой вентиляции, люками-лазами для прохода обслуживающего персонала и транспортирования оборудования. Кроме того, в зависимости от назначения они должны быть оборудованы контрольно-измерительной аппаратурой для измерения уровня воды, взятия проб и передачи данных на диспетчерский пункт и насосную станцию. В целях предотвращения застаивания воды и изменения ее качества в резервуарах питьевого назначения должен быть обеспечен обмен пожарного и аварийного объемов в течение 48 ч.

Верхний уровень воды в резервуаре чистой воды обычно принимается на 0,5 м выше отметки поверхности земли в месте установки резервуара.

Для утепления резервуаров их обычно засыпают грунтом толщиной слоя 1; 0,7; 0,5 или 0,25 м. В некоторых случаях прибегают к созданию повышенного снежного покрова, применению искусственных утеплителей и обогреву. Толщина слоя утепления бФ и его конструкция в основном зависят от коэффициента теплопередачи и от теплопроводности материалов перекрытия и грунтов засыпки.

Отметки уровней воды и конструктивных элементов:

– верхнего уровня воды в резервуаре, воронки переливного трубопровода, м:

$$\nabla_{в.у.} = \nabla_{н.з.} + 0,5, \quad (6.1)$$

где  $\nabla_{н.з.}$  – естественная отметка поверхности земли в месте установки резервуара, м;

– противопожарного уровня воды и приемной воронки, м:

$$\nabla_{пож.} = \nabla_{в.у.} - h_{рег.}, \quad (6.2)$$

где  $h_{рег.}$  – высота регулирующего слоя воды, м;

– дна и приемной воронки трубопровода, м, подающего воду на тушение пожара:

$$\nabla_{дна} = \nabla_{пож.} - h_{пож.}, \quad (6.3)$$

где  $h_{пож.}$  – высота противопожарного слоя воды, м;

– дна грязевого приемка, м:

$$\nabla_{пр.} = \nabla_{дна} - (1,0 \dots 1,5), \quad (6.4)$$

– грязевого трубопровода, м:

$$\nabla_{гр.} = \nabla_{пр.} + (0,1 \div 0,2). \quad (6.5)$$

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО ОБЪЕМА РЕЗЕРВУАРОВ ЧИСТОЙ ВОДЫ

### Рекомендации:

- Уясните смысл вопроса – вы должны знать методику определения объемов резервуара чистой воды.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

Полный объем резервуаров чистой воды (РЧВ) в системах объединенного хозяйственно-противопожарного водоснабжения:

$$W_{рез.} = W_{рег.} + W_{пож.} + W_{с.н.}, \quad (6.6)$$

где  $W_{рег.}$  – регулирующий объем, м<sup>3</sup>;

$W_{пож.}$  – неприкосновенный запас воды на тушение пожара, м<sup>3</sup>;

$W_{с.н.}$  – объем воды на собственные нужды станции очистки воды, м<sup>3</sup>.

Регулирующий объем, м<sup>3</sup> определяется по формуле

$$Q_{сут.мах} \cdot [1 - K_n + (K_q - 1)(K_n / K_q)^{K_q / (K_q - 1)}], \quad (6.7)$$

где  $Q_{сут.мах}$  – расход воды в сутки максимального водопотребления, м<sup>3</sup>/сут;

$K_n$  – отношение максимальной часовой подачи воды в регулируемую емкость к среднему часовому расходу в сутки максимального водопотребления;

$K_q$  – коэффициент часовой неравномерности отбора воды из резервуара.

Пожарный объем воды надлежит предусматривать в случаях, когда получение необходимого количества воды для тушения пожара непосредственно из источника водоснабжения технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Пожарный объем воды в резервуарах определяется из условия обеспечения:

– пожаротушения из наружных гидрантов и внутренних пожарных кранов;

– специальных средств пожаротушения (спринклеров, дренчеров и др.), не имеющих собственных резервуаров;

– максимальных хозяйственно-питьевых и производственных нужд на весь период пожаротушения. При этом для систем водоснабжения I и II категории допускается учитывать пополнение резервуара водой во время пожара.

Неприкосновенный противопожарный объем  $W_{пож.}$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается из условия тушения расчетного количества одновременных пожаров в течение всего нормативного времени тушения пожара  $T_{пож.}$ . Тогда:

$$W_{пож.} = 3,6 \cdot n \cdot T_{пож.} \cdot Q_{пож1}, \quad (6.8)$$

где  $Q_{пож1}$  – расход воды на тушение 1 пожара, л/с;

$n$  – расчетное количество пожаров, принимается по таблицам СнИП 2.04.02-84;

$T_{пож.}$  – нормативное время тушения пожара.  $T_{пож.} = 3$  ч.

При определении объема неприкосновенного противопожарного запаса воды в резервуарах  $W_{\text{пож}}$ , для случаев гарантированной бесперебойности ее подачи в эти резервуары из водоисточника или очистной станции, допускается учитывать их пополнение водой во время пожара. В этом случае величину  $W_{\text{пож}}$ ,  $\text{м}^3$ , можно определить по формуле

$$W_{\text{пож}} = 3,6 \cdot T_{\text{пож}} \cdot Q_{\text{пож}} + W_{\text{хоз.}} - 3Q_1, \quad (6.9)$$

где  $Q_{\text{пож}}$  – расход воды на тушение расчетного количества одновременных пожаров, л/с;

$Q_1$  – расход воды, подаваемой в резервуар при тушении пожаров,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$W_{\text{хоз.}}$  – объем воды, потребляемый за три смежных часа наибольшего водопотребления на хозяйственные и производственные нужды во время тушения пожаров:

$$W_{\text{хоз.}} = \sum Q_{\text{max}} - \sum Q_{\text{выч}}, \quad (6.10)$$

где  $\sum Q_{\text{max}}$  – объем воды, потребляемый из сети в течение трех смежных часов наибольшего расхода по графику водопотребления,  $\text{м}^3$ ;

$\sum Q_{\text{выч}}$  – объем воды, не учитываемый в течение 3 ч тушения пожаров,  $\text{м}^3$ .

Объем воды в резервуаре на собственные нужды водоочистной станции  $W_{\text{с.н}}$  включает в себя объем воды на промывку установленного оборудования (в основном фильтров и контактных осветлителей), запас чистой воды для растворения реагентов и других собственных нужд. При подготовке воды на хозяйственно-питьевые нужды и обеззараживании ее хлорсодержащими реагентами следует, предусматривать объем воды для контакта с ними продолжительностью не менее 1 ч, причем при отсутствии попутного водоразбора допускается учитывать контакт в водоводах.

Определив общий объем резервуаров, принимается их количество и определяется объем каждого резервуара.

По определенному объему подбирается, как правило, типовой резервуар и выполняется его привязка к расчетным условиям, то есть определяются отметки расположения всех функциональных трубопроводов: переливного, противопожарного, для подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды и т.д. В случае проектирования резервуара индивидуального изготовления его размеры определяют исходя из условия, что отношение общей глубины воды в резервуаре  $H$  к его диаметру (или характерному линейному размеру)  $D$  должно быть в пределах  $H/D = 0,5 - 1$ .

Зная площадь дна типового резервуара (или определив ее делением общего объема  $W_{\text{рез}}$  на строительную высоту  $H$ , предварительно задавшись соотношением  $H/D$ ), определяют высоту противопожарного  $h_{\text{пож}}$  и регулирующего  $h_{\text{рег}}$  слоя воды, а также отметки соответствующих трубопроводов.

### **Самоконтроль по УЭ-1:**

1. Вспомните, какими трубопроводами оборудуются резервуары чистой воды.
2. Подумайте, какое количество резервуаров может быть минимальным.
3. Подумайте, из каких объемов может состоять полный объем резервуара чистой воды.
4. Подумайте, в каких случаях предусматриваются дополнительные объемы воды в резервуаре.

В этом учебном элементе вы ознакомились с безнапорными регулирующими емкостями. Напорные регулирующие сооружения также играют огромное значение в обеспечении надежности работы системы водоснабжения. Эти вопросы освещаются в УЭ-2.

## **УЭ-2. НАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ**

### **Учебные цели УЭ-2:**

1. Студент должен знать:
  - какие емкости относятся к напорно-регулирующим;
  - какие особенности конструкции водонапорной башни-колонны;
  - какие существуют конструкции баков водонапорной башни.
2. Студент должен уметь: определить объем бака водонапорной башни.

### **Узловые вопросы для изучения УЭ-2:**

1. Напорные резервуары:
  - водонапорные башни, их оборудование;
  - объем бака водонапорной башни;
  - водонапорные колонны
  - схема оборудования водонапорной башни-колонны;
  - гидропневматические установки.

### **Рекомендации:**

- Уясните смысл вопроса – вы должны понять значение напорно-регулирующих сооружений на сети и методику определения их объемов.
- Ознакомьтесь с изложением данного вопроса.

К напорно-регулирующим сооружениям относятся водонапорные башни, высоко расположенные наземные напорные резервуары, воздушно-водяные (гидропневматические) котлы. Эти сооружения располагаются на высоких отметках местности в непосредственной близости к распределительной сети населенного пункта.

# 1. НАПОРНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Напорные сооружения (резервуар чистой воды, башня) имеют высоко расположенную емкость, благодаря которой создается необходимый напор в водопроводной сети. В гидропневматических установках заданный напор в сети поддерживается в результате давления сжатого воздуха на свободную поверхность воды в воздушно-водяном баке (котле). Помимо регулирования, башни и резервуары, имея свободный уровень воды, выравнивают напор в сети; изменения напора центробежных насосов не передаются в сеть.

Компоновка оборудования и трубопроводов резервуаров чистой воды зависит от их назначения. Схема оборудования напорного резервуара чистой воды, содержащего кроме хозяйственно-питьевого, противопожарный запас воды, показана на рис. 6.1. В напорном резервуаре чистой воды для лучшей циркуляции воды, обеспечивающей ее обмен, подающий 2 и отводящий 9 трубопроводы располагаются в противоположных частях резервуара. Подающий трубопровод оборудован поплавковым 3, а отводящий – обратным приемным 5 клапанами. Трубы для подачи и забора воды в камере переключений 12 через задвижки 7 присоединяются к подающе-отводящим трубопроводам 14, которые присоединены к распределительной сети.

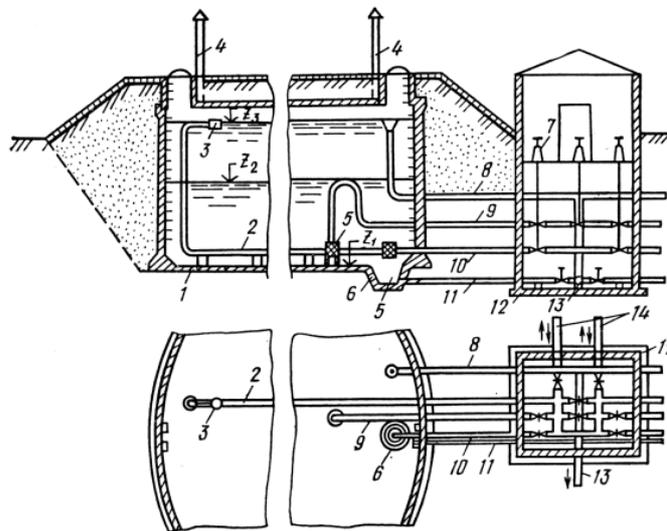


Рис. 6.1. Схема оборудования водонапорного резервуара

Забор воды на противопожарные нужды осуществляется трубопроводом 10 с обратным приемным клапаном на конце. Переполнение резервуара исключается благодаря устройству переливной трубы 8, присоединенной к сбросной трубе 13. Воздухообмен в резервуаре обеспечивается

вентиляционными трубами 4. Для опорожнения резервуара при ремонте и очистке его от образующегося осадка приемок 6 соединен с грязевой трубой 11, отводящей воду в канализацию.

### 1.1. Водонапорные башни, их оборудование

Водонапорные башни устраивают при необходимости создания запаса напорной воды на территории площадки, не имеющей достаточно высоких геодезических отметок. Водонапорная башня (рис. 6.2) состоит из резервуара (бака), в котором содержится требуемый объем воды, и поддерживающей его конструкции. Резервуары водонапорных башен, как правило, устраивают круглой формы. Желательно, чтобы отношение высоты бака башни к ее диаметру было небольшим. В этом случае исключаются значительные колебания напоров в системе при различных режимах и обеспечиваются более благоприятные условия работы насосов.

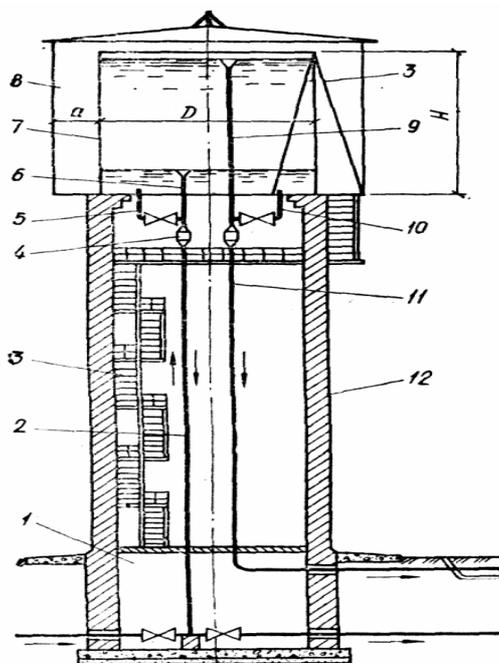


Рис. 6.2. Схема водонапорной башни

1-фундамент и подвальное помещение; 2-подающе-отводящая труба; 3-лестница; 4-сальниковые компенсаторы; 5-труба для отбора воды на хозяйственно-питьевые нужды; 6-труба для отбора воды на хозяйственно-питьевые нужды; 7-резервуар (бак); 8-шатер; 9-переливная труба; 10-грязевая труба; 11-сбросная труба; 12-ствол

Резервуары водонапорных башен бывают железобетонными и стальными. Наиболее широкое распространение получили железобетонные резервуары, защита которых от коррозии проще и долговечнее защиты стальных. Стальные резервуары, характеризующиеся меньшей массой, ин-

дустриальностью изготовления и монтажа, полной герметичностью, находят применение в некоторых зарубежных странах.

Резервуары могут иметь плоское или вогнутое днище. Придание вогнутым днищам полусферической, эллипсоидальной и радиально-конической форм позволяет увеличивать диаметр резервуара (при одном и том же объеме) по сравнению с диаметром резервуара с плоским днищем. Благодаря этому колебания напора могут быть сокращены до минимума. Однако резервуары с вогнутыми днищами сложнее в изготовлении. В нашей стране наиболее широко применяют резервуары с плоским и полусферическим днищами.

При наличии опасности замерзания воды в резервуаре вокруг него устраивают шатер, в зависимости от конструкции водонапорной башни, выполненный из железобетона, кирпича или дерева. Расстояние между стенками резервуара и шатра принимают исходя из условий эксплуатации. Для предотвращения замерзания возможно применение электрообогрева. В башнях большой вместимости при наличии обмена воды с относительно высокой температурой шатры могут отсутствовать даже в суровых климатических условиях. Бесшатровые металлические башни бывают как с теплоизоляцией, так и без нее.

Сверху резервуар башни перекрывается. Перекрытие (крыша) обеспечивает его жесткость и служит для защиты от температурных колебаний и загрязнений. Поддерживающие конструкции водонапорных башен выполняют из железобетона, металла и кирпича в виде сплошной стенки или колонн, имеющих различное архитектурное оформление. Наибольшее распространение получили конструкции из железобетона. Внутреннее пространство, образуемое поддерживающими конструкциями, может использоваться для технических и общественных нужд, но при условии исключения какого-либо воздействия на качество воды, находящейся в резервуаре.

Башню оборудуют подводяще-отводящей трубой, диаметр которой определяется максимальным расходом подаваемой или отводимой из резервуара башни воды при скорости ее движения не более 1 – 1,2 м/с. Иногда предусматривают две трубы отдельно: подводящую и отводящую. Для автоматического сброса поступающей воды в бак при его переполнении устраивают переливную трубу, оборудованную приемной воронкой.

Кроме того, резервуар оборудуют грязевой трубой, предназначенной для опорожнения его при ремонте и осмотре. Эта труба идет от наинизшей точки резервуара и через задвижку подключается к сбросной трубе. На грязевой трубе воронка не устраивается. Воду из водонапорных башен хо-

зьяственно-питьевого водопровода сбрасывают в водосточную сеть или в открытую канавку с устройством разрыва струи. В конце трубопровода, оборудованного решеткой, устанавливается обратный клапан.

Для производственных систем водоснабжения сброс воды из резервуаров башен возможен в систему канализации, но также с разрывом струи. При жесткой заделке труб в днище резервуара башни на стояках трубопроводов устраивают компенсаторы.

Противопожарный запас воды из бака может забираться самостоятельным трубопроводом, оборудованным затвором, который открывается по команде с диспетчерского пункта.

Резервуар оборудуется сигнальным устройством для автоматической передачи показаний уровней воды в нем. В качестве этих устройств используют поплавковые, контактные и манометрические датчики уровней.

В том случае, если башня в момент пожара должна отключаться, то она оборудуется автоматическими устройствами, обеспечивающими дистанционное отключение при пуске пожарных насосов.

На объектах, имеющих несколько сетей, работающих при различных напорах, возможно устройство водонапорной башни с двумя и более резервуарами, расположенными на разной высоте.

## 1.2. Объем бака водонапорной башни

Объем бака водонапорной башни складывается из регулирующего объема воды и десятиминутного запаса ее на случай тушения пожара:

$$W_{\text{б.}} = W_{\text{рег.}} + W_{\text{пож.}}$$

где  $W_{\text{рег.}}$  – регулируемый объем воды в баке, м<sup>3</sup>;

$W_{\text{пож.}}$  – противопожарный запас воды, м<sup>3</sup>.

Регулирующий объем определяется по формуле СНиП 2.04.02.-84.

Неприкосновенный противопожарный объем  $W_{\text{пож.}}$  рассчитывается из условия тушения одного внутреннего и одного наружного пожара в течение 10 минут (10 минут – время, необходимое для запуска пожарных насосов и поступления воды на тушение пожара в сеть).

## 1.3. Водонапорные колонны

Водонапорные колонны предназначены для тех же целей, что и водонапорные башни. Водонапорная колонна представляет собой стальной или железобетонный цилиндр с плоским днищем, опирающимся на фундамент. Она заполнена водой на всю высоту. Колонны находят широкое применение в системах промышленного водоснабжения (например, метал-

лургических заводов). Они дешевле водонапорных башен, проще в изготовлении и эксплуатации. Следует отметить, что они могут использоваться как средство борьбы с гидравлическим ударом в трубопроводах и выполнять роль промежуточного резервуара между последовательно работающими насосными станциями.

Полезным объемом водонапорной колонны служит только часть полного ее объема, обеспечивающая подачу воды потребителю под требуемым напором. Остальная часть объема рассматривается как аварийный запас, который может использоваться при включении специальных насосных агрегатов или без них, если в системе допускается снижение свободных напоров. Целесообразность применения водонапорных колонн для металлургических печей объясняется тем, что во время аварии подача воды в холодильники допускается со сниженным напором, обеспечивающим только проток воды через них. Для этого достаточно иметь напор на изливе около 2 м.

В большинстве случаев водонапорные колонны устраивают из стали. В стальных колоннах легче устранять утечки. Однако без достаточной защиты от коррозии они быстро разрушаются.

Железобетонные колонны имеют преимущества в архитектурном оформлении по сравнению с остальными колоннами и, кроме того, они дешевле в эксплуатации. Однако такие колонны имеют огромную массу.

Водонапорные колонны, как и башни, оборудуются системой трубопроводов и арматуры. Диаметр переливной трубы рассчитывается на максимальный расход воды, подаваемой в колонну насосами. Недостатком колонн является возможность застоя в них воды, что может приводить к ухудшению ее качества.

#### **1.4. Схема оборудования водонапорной башни-колонны**

Башни-колонны можно применять и на сравнительно крупных трубопроводах при совмещении их с насосными станциями подкачки по схеме, представленной на рис. 6.3.

В таком сооружении основной регулирующий объем содержится в колонне (стволе). В часы, когда насосная станция второго подъема подает воды больше, чем ее потребляется в сети, излишек по подающе-отводящей трубе поступает в напорный бак, отделенный от колонны днищем. После заполнения регулирующего объема в баке вода переливается в колонну по переливной трубе. Емкость колонны определяют так же, как и емкость водонапорной башни.

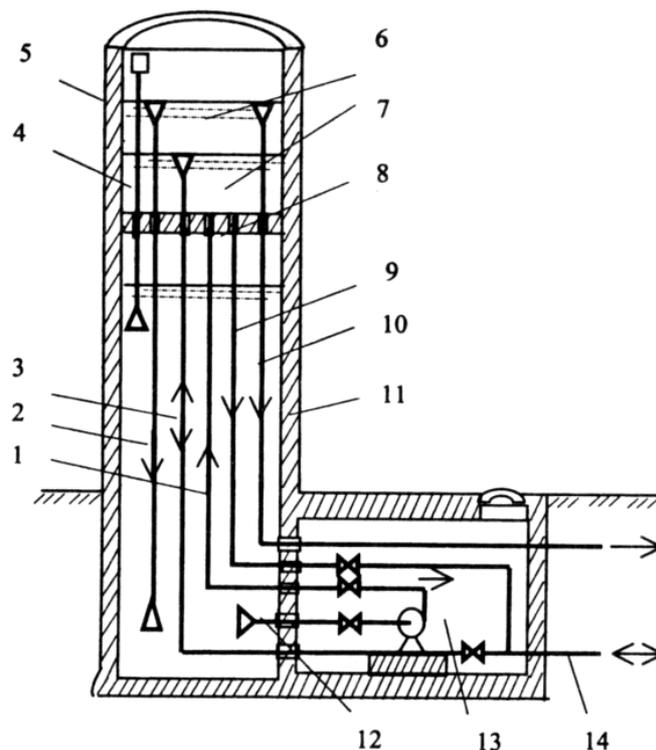


Рис. 6.3. Схема водонапорной башни-колонны:

1 – напорный трубопровод насоса; 2 – рабочая переливная труба; 3 – подводяще-отводящая труба; 4 – воздушная труба; 5 – бак; 6 – регулируемый объем бака; 7 – пожарный объем бака; 8 – днище бака; 9 – забор воды на противопожарные нужды; 10 – предохранительно переливная труба; 11 – колонна; 12 – всасывающий трубопровод насоса; 13 – насосная станция подкачки; 14 – труба к водопроводной сети

В часы, когда водопотребление из сети превышает подачу насосной станции второго подъема, недостающее количество воды поступает в сеть из башни по подающе-отводящей трубе. При этом регулирующий объем воды в баке начинает срабатывать. К моменту полного срабатывания автоматически включается насос подкачки, и вода из колонны по напорной трубе поступает в бак. Насос подкачивания работает до полного заполнения регулирующего объема бака, после чего автоматически отключается и находится в выключенном состоянии до следующей сработки регулирующего объема воды. При тушении пожаров неприкосновенный противопожарный запас воды поступает в сеть по соответствующей трубе. Во избежание переполнения бака устанавливают предохранительную переливную трубу, а для поступления и выхода воздуха из колонны – воздушную трубку.

### 1.5. Гидропневматические установки

Гидропневматические установки находят применение в системах водоснабжения небольших объектов. Они выполняют ту же функцию, что и водонапорные башни. Необходимый напор в них создается давлением сжатого воздуха.

Различают установки переменного и постоянного давления.

Принципиальная схема гидропневматической установки переменного давления приведена на рис. 6.4. В часы минимального водопотребления, когда подача воды насосами 2, забирающими воду из резервуара 1, превышает водозабор, избыток воды поступает в водовоздушный бак 5. При этом повышается уровень воды и увеличивается давление воздуха вследствие его сжатия. При достижении максимального уровня в баке, соответствующего отметке  $z_2$ , реле давления размыкает цепь питания катушки магнитного пускателя 3, и электродвигатель насоса отключается от питающей его электросети. С этого момента подача воды в водовод 7 осуществляется от гидропневматического бака под давлением сжатого воздуха  $P_{max}$ . В процессе сработки уровня воды давление в баке снижается. При достижении уровня, соответствующего отметке  $z_1$  давление в баке снизится до величины  $P_{min}$ . В этот момент реле включает электродвигатели насосов. Рабочий цикл установки повторяется. Минимальное давление  $P_{min}$  назначается из условия обеспечения требуемого свободного напора в диктующей точке водоразбора. Во все остальные моменты, когда  $P > P_{min}$  – свободный напор в этой точке будет выше требуемого.

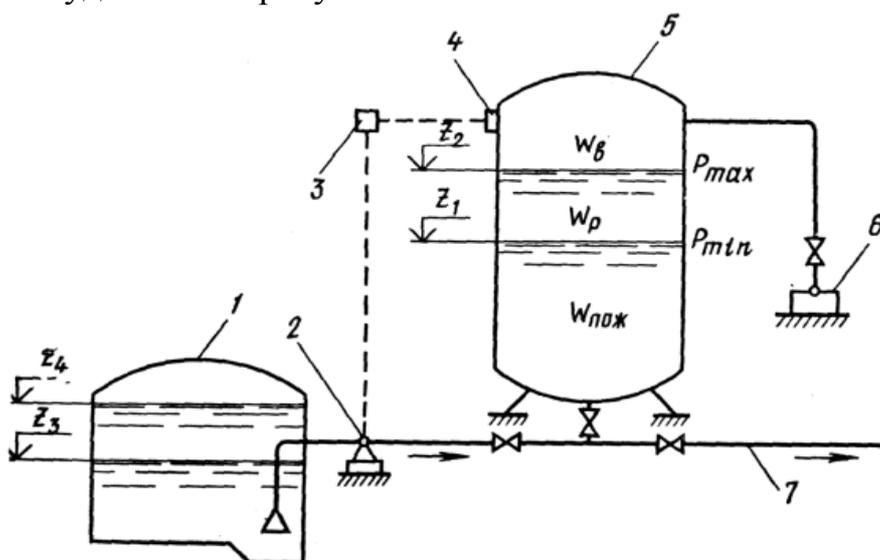


Рис. 6.4. Схема гидропневматической установки

Возможны схемы гидропневматических установок с двумя баками, один из которых предназначен для воды, а другой для сжатого воздуха.

Они соединены друг с другом трубопроводом. Такие установки рассчитаны на большую производительность.

В гидропневматических установках переменного давления насосы должны работать в широком диапазоне характеристики  $Q-H$ , выходящем за зону оптимальных значений их КПД. В процессе эксплуатации некоторая часть воздуха, находящегося в баке, растворяется в воде, уносится вместе с ней и вытекает через неплотности. Для поддержания давления воздуха в баке гидропневматическая установка оборудуется компрессором 6. Соотношение между объемами воды и воздуха в установке зависит от диапазона колебаний давлений в системе. В основе расчета этих установок лежит закон Бойля-Мариотта.

Установки постоянного давления позволяют с помощью регулятора давления поддерживать постоянное давление воздуха в гидропневматическом баке и тем самым обеспечивать постоянство расхода и давления у потребителя. Эти установки несколько сложнее описанных выше. Они могут применяться в системах пожаротушения и промышленного водоснабжения. Гидропневматическое водоснабжение целесообразно применять в тех случаях, когда недопустимо устройство водонапорной башни из-за большой ее стоимости вследствие недостаточно устойчивых грунтов основания, а также при устройстве небольших систем водоснабжения со сравнительно высоким давлением. Весьма выгодно гидропневматическое водоснабжение отдельных зданий.

В каждом конкретном случае целесообразность применения системы гидропневматического водоснабжения должна быть доказана технико-экономическими расчетами.

### **Самоконтроль по УЭ-2**

1. Вспомните, какие емкости относятся к напорным.
2. Назовите основные трубопроводы, которыми оборудуется водонапорная башня.
3. Подумайте, для каких целей могут применяться водонапорные колонны.
4. Подумайте, в чем существенное различие водонапорных башен-колонн и водонапорных колонн.
5. Назовите, из каких основных объемов состоит полный объем водонапорной башни.
6. Вспомните, какие вы знаете типы гидропневматических установок и в чем их различие.

Итак, вы изучили учебный модуль М-6. Запасные и регулирующие емкости. Теперь проверьте еще раз свои знания и умения в этой сфере и обобщите их.

## УЭ-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО МОДУЛЮ

### Учебные цели УЭ-Р:

Обобщить наиболее существенные знания по модулю, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Какие функции выполняют резервуары чистой воды.
2. От чего зависит величина противопожарного объема в резервуарах чистой воды.
3. Какие функции выполняет водонапорная башня.
4. Почему отношение высоты бака башни к ее диаметру принимается небольшим.
5. Почему в резервуарах чистой воды подводящий и отводящий трубопроводы располагаются в противоположных концах.
6. Почему для целей питьевого водоснабжения не применяются водонапорные колонны.

## УЭ-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО МОДУЛЮ

После изучения данного модуля вы должны:

- уметь обосновать выбор типа емкости для каждого конкретного случая;
- знать конструкции и схемы оборудования запасных и регулирующих емкостей;
- знать конструктивные типы баков водонапорных башен;
- владеть навыками расчета требуемых объемов емкостей различного назначения.

Повторите учебный материал по лекциям, учебно-методическому пособию к данному модулю и предлагаемому списку литературы.

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.:Стройиздат,1982.

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.; Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.; Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. –М.; Стройиздат, 1987..02-84

Если вы уверены в своих знаниях, умениях и навыках, вам необходимо пройти «выходной тест».

Если вы испытали трудности в выполнении «выходного теста», то изучите соответствующий материал повторно.

## КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовой проект разрабатывается студентом на основании индивидуального задания, в состав которого входят:

- генеральный план города, который разрабатывается самостоятельно;
- исходные данные для проектирования, принимаются по табл. 1и 2.

Номер варианта выбирается по двум последним числам зачетной книжки.

Таблица 1

**Исходные данные для проектирования по населенному пункту**

| №<br>вар | Плотность населения,<br>чел/га |     |     | Этажность застройки |   |   | Степень благоустройства [1] |        |        |
|----------|--------------------------------|-----|-----|---------------------|---|---|-----------------------------|--------|--------|
|          | Район                          |     |     | Район               |   |   | Район                       |        |        |
|          | 1                              | 2   | 3   | 1                   | 2 | 3 | 1                           | 2      | 3      |
| 1        | 150                            | 160 | 210 | 3                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 2        | 220                            | 155 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 3        | 160                            | 220 | 230 | 3                   | 5 | 5 | т.1п.3                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 4        | 180                            | 235 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.3                      | т.1п.2 | -      |
| 5        | 240                            | 170 | 160 | 5                   | 3 | 3 | т.1п.3                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 6        | 170                            | 250 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 7        | 165                            | 140 | 230 | 3                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.2 |
| 8        | 140                            | 210 | 145 | 3                   | 5 | 3 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |
| 9        | 190                            | 240 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 10       | 230                            | 160 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 11       | 240                            | 150 | 170 | 5                   | 3 | 3 | т.1п.3                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 12       | 230                            | 170 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 13       | 260                            | 160 | 230 | 5                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |
| 14       | 220                            | 140 | 135 | 5                   | 3 | 3 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |
| 15       | 190                            | 250 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 16       | 230                            | 160 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 17       | 150                            | 160 | 240 | 3                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |
| 18       | 180                            | 250 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 19       | 180                            | 250 | 240 | 3                   | 5 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 20       | 170                            | 160 | 230 | 3                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.2 | т.1п.3 |
| 21       | 245                            | 170 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 22       | 165                            | 230 | -   | 3                   | 5 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 23       | 165                            | 240 | 250 | 3                   | 5 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |
| 24       | 260                            | 180 | -   | 5                   | 3 | - | т.1п.2                      | т.1п.3 | -      |
| 25       | 250                            | 170 | 230 | 5                   | 3 | 5 | т.1п.2                      | т.1п.3 | т.1п.3 |

**Исходные данные для проектирования по промышленным предприятиям**

| №<br>вар. | Предприятие №1       |              |              |   |                                     | Предприятие №2       |              |              |   |                                     |
|-----------|----------------------|--------------|--------------|---|-------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|---|-------------------------------------|
|           | К-во работ.,<br>чел. |              | К-во<br>смен | Расход<br>воды на<br>произв.<br>нужды,<br>м <sup>3</sup> /сут | Расход<br>воды на<br>пожар.,<br>л/с | К-во работ.,<br>чел. |              | К-во<br>смен | Расход<br>воды на<br>произв.<br>нужды,<br>м <sup>3</sup> /сут | Расход<br>воды на<br>пожар.,<br>л/с |
|           | хол.<br>цеха         | гор.<br>цеха |              |   |                                     | хол.<br>цеха         | гор.<br>цеха |              |   |                                     |
| 1         | 1400                 | 300          | 3            | 1100  | 20                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 2         | 1500                 | 500          | 3            | 800   | 15                                  | 600                  | 300          | 1            | 300   | 15                                  |
| 3         | 1100                 | 600          | 3            | 900   | 20                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 4         | 1200                 | 700          | 3            | 850   | 20                                  | 500                  | 500          | 1            | 250   | 15                                  |
| 5         | 1600                 | 400          | 3            | 1200  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 6         | 1000                 | 600          | 1            | 840   | 15                                  | 800                  | 250          | 3            | 600   | 20                                  |
| 7         | 900                  | 500          | 3            | 1750  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 8         | 1100                 | 600          | 3            | 950   | 20                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 9         | 800                  | 150          | 1            | 600   | 15                                  | 1100                 | 300          | 3            | 1100  | 20                                  |
| 10        | 750                  | 450          | 3            | 700   | 15                                  | 1200                 | 400          | 1            | 1150  | 20                                  |
| 11        | 850                  | 650          | 3            | 1200  | 20                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 12        | 850                  | 450          | 3            | 690   | 15                                  | 800                  | 300          | 1            | 750   | 15                                  |
| 13        | 2100                 | 600          | 3            | 2300  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 14        | 1800                 | 560          | 3            | 2100  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 15        | 1100                 | 800          | 1            | 1300  | 20                                  | 1700                 | 250          | 3            | 1400  | 20                                  |
| 16        | 800                  | 150          | 1            | 940   | 20                                  | 1500                 | 200          | 3            | 1200  | 20                                  |
| 17        | 2500                 | 1500         | 3            | 2400  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 18        | 1800                 | 900          | 1            | 2050  | 25                                  | 800                  | 700          | 3            | 1000  | 20                                  |
| 19        | 1450                 | 1100         | 3            | 1560  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 20        | 1800                 | 800          | 3            | 1650  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 21        | 2100                 | 500          | 1            | 1800  | 20                                  | 500                  | 400          | 3            | 800   | 15                                  |
| 22        | 1500                 | 750          | 3            | 1320  | 20                                  | 800                  | 400          | 1            | 950   | 20                                  |
| 23        | 2000                 | 1100         | 3            | 1600  | 20                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |
| 24        | 1600                 | 750          | 3            | 1240  | 15                                  | 2100                 | 200          | 1            | 1600  | 20                                  |
| 25        | 2500                 | 350          | 3            | 2100  | 25                                  | -                    | -            | -            | -   | -                                   |

**Состав курсового проекта**

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графического материала.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- исходные данные для выполнения проекта ( задание);
- оглавление;
- краткую характеристику объекта водоснабжения;
- выбор схемы сети и ее конструктивные особенности;

- определение расчетных расходов воды;
- гидравлический расчет сети;
- определение пьезометрических отметок в узлах сети;
- пояснение к детализировке сети и водопроводного узла;
- заключение;
- список используемой литературы.

К расчетно-пояснительной записке прилагаются расчетные схемы сети.  
Оформление расчетно-пояснительной записки.

Расчетно-пояснительная записка пишется чернилами на бумаге формата А4.

Слева оставляются поля шириной 25 мм для брошюровки, а с правой стороны – 15 мм для замечаний по проекту.

Объем расчетно-пояснительной записки курсового проекта составляет 25 – 30 страниц.

Схемы и графики, иллюстрирующие расчетную часть выполняются либо на листах формата А4, либо на миллиметровой бумаге форматов А4 или А3. На схемах и графиках показываются все необходимые расчетные величины.

Все страницы пояснительной записки должны быть пронумерованы.

Графическая часть проекта выполняется на 1 листе чертежной бумаги формата А1 и должна содержать:

- генеральный план города;
- профили пьезометрических линий;
- детализировку одного кольца сети и спецификацию к нему.

Оформление графического материала.

Графическая часть проекта выполняется с соблюдением правил строительного черчения в масштабах общепринятых при реальном проектировании:

- генеральный план города М 1:5000, 1:10000;
- профили пьезометрических линий: горизонтальный – по масштабу генплана; вертикальный – М1:200, 1:100.

На генеральном плане города выделяются районы, промышленные предприятия и зеленые насаждения с помощью отмывки, расположение насосной станции 2-го подъема и реки, а также на нем наносятся сеть водопровода с указанием диаметров трубопроводов в миллиметрах и длин участков в метрах и горизонтали.

На планах должны быть проставлены все размеры в мм, на разрезе проставляются все абсолютные высотные отметки в м.

## 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

На основании задания на проектирование необходимо охарактеризовать местоположение, величину города и наличие промышленности, степень благоустройства жилого сектора и условия водопотребления промышленных предприятий.

В этом разделе целесообразно провести также определение количества населения в каждом районе города. Нумерацию районов начинать от наиболее удаленного по отношению к насосной станции 2-го подъема.

### 1.1. Определение площади территории и расчетного населения города

Согласно генеральному плану города и принятому масштабу определяют площадь застройки районов  $F_i$  и города в целом  $F$ (га).

Для города с различной расчетной плотностью населения по отдельным районам  $P_i$  (чел./га) вычисляют расчетное количество жителей  $N_i$  для каждого района по формуле

$$N_i = P_i F_i, \quad (1)$$

где  $i$  – номер района.

### 1.2 Выбор схемы сети и ее конструктивные особенности

В зависимости от назначения объекта и требований, предъявляемых потребителями к качеству воды, производится выбор схемы сети. В городах обычно устраивают единый хозяйственно-противопожарный водопровод. Он также подает воду для хозяйственно-питьевых нужд промышленных предприятий и для производственных нужд промышленных предприятий, где требуется вода питьевого качества. При потреблении воды на производственные нужды не питьевого качества обычно устраиваются самостоятельные производственные водопроводы. Иногда все же более рациональным является снабжение таких предприятий водой питьевого качества, чем строительство самостоятельных производственных водопроводов.

Водопроводная сеть представляет собой совокупность трубопроводов, по которым вода транспортируется потребителям. Она состоит из водопроводов, магистральной и распределительной сетей. Гидравлический расчет производится, как правило, только для магистральных сетей.

При трассировке магистральных сетей необходимо руководствоваться следующими соображениями:

– кольца, образуемые магистралями и перемычками должны иметь вытянутую форму в направлении основного потока воды;

– по основному направлению движения воды должно быть проложено несколько параллельных магистральных линий;

– магистральные линии водопроводных сетей рекомендуется трассировать по наиболее возвышенным отметкам территории для создания достаточных напоров в распределительной сети.

Опыт проектирования магистральных сетей показывает, что оптимальное расстояние между магистральными линиями составляет 300 – 600 м, соответственно расстояние между перемычками – 600 – 800 м.

Пример трассировки водопроводной сети показан на рис. 1.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

Суммарное водопотребление воды в городе складывается из расходов на:

- хозяйственно-питьевые нужды населения;
- поливку улиц и зеленых насаждений;
- нужды промышленных предприятий;
- нужды пожаротушения.

### 2.1 Определение расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды

Определенный по нормам среднесуточный за год расход воды населенным пунктом дает лишь общую характеристику масштабов водопотребления рассматриваемого объекта.

Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды неравномерно как в течение года, так и в течение суток.

2.1.1. Определение суточных расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды населения

Расчетный (средний за год) суточный расход воды  $Q_{сут.ср}$ , м<sup>3</sup>/сут, для каждого района города определяются по формуле

$$Q_{сут.ср}^i = \frac{q_{уд}^i \cdot N_i}{1000}, \quad (2)$$

где  $q_{уд}^i$  – удельное хозяйственно-питьевое водопотребление населенных пунктов на одного жителя, среднесуточное (за год), л/сут для каждого из районов, принимается в зависимости от степени благоустройства района,  $q_{уд}^i$  можно принять по табл.1.1 М-1 или по СНиП 2.04.02-84;

$N_i$  – расчетное число жителей в районе.

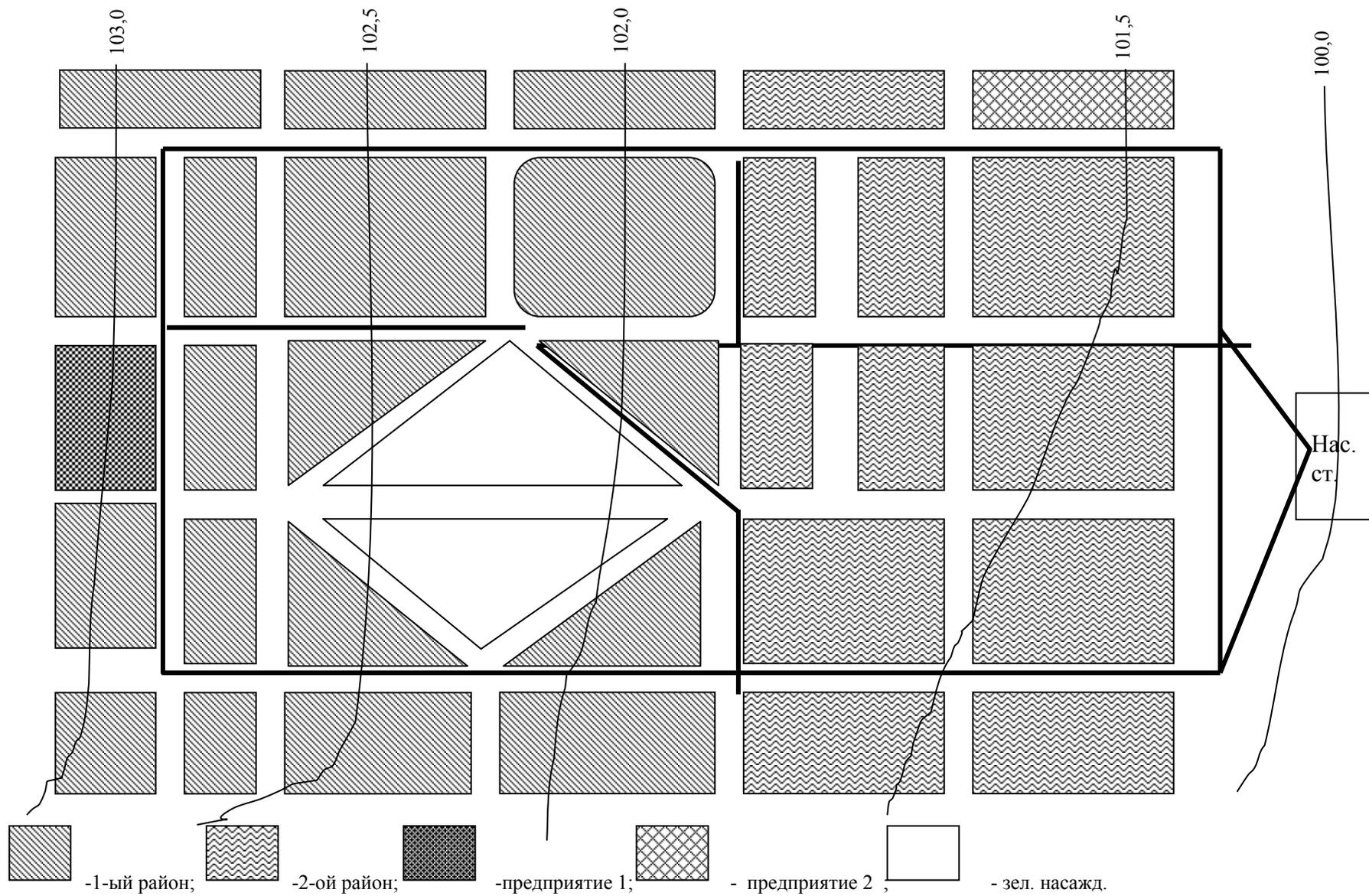


Рис.1. Генплан города в масштабе М 1:10000

Расчетные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления для каждого района города следует определять по формулам

$$\begin{aligned} Q_{сут\ max}^i &= K_{сут\ max} Q_{сут\ ср} \\ Q_{сут\ min}^i &= K_{сут\ min} \cdot Q_{сут\ ср} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $K_{сут.\max}$  и  $K_{сут.\min}$  – коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, которые учитывают уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий и др. согласно [1] принимаются в пределах:

$$K_{сут.\max} = 1,1 - 1,3 \text{ и } K_{сут.\min} = 0,7 - 0,9.$$

### 2.1.2. Определение часовых расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды населения

Для расчетных суток (максимальных, средних и минимальных) определяются характерные часовые расходы (для каждого района города).

Среднечасовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч, для любых характерных суток определяется по формуле

$$q_{ч.ср.} = Q_{сут} / 24. \quad (4)$$

Максимально-часовые и минимально-часовые расходы для любых характерных суток определяются по формулам:

$$\begin{aligned} q_{ч\max} &= K_{ч\max} \cdot q_{чср} \\ q_{ч\min} &= K_{ч\min} \cdot q_{чср} \end{aligned} \quad (5)$$

Характерные часовые расходы, м<sup>3</sup>/ч, для любых характерных суток по городу в целом определяются соответственно:

$$q_{чср}^{гор} = \frac{Q_{сут}^{гор}}{24}, \quad (6)$$

$$q_{ч\max}^{гор} = K_{ч\max}^{гор} \cdot q_{чср}^{гор},$$

$$q_{ч\min}^{гор} = K_{ч\min}^{гор} \cdot q_{чср}^{гор}$$

где  $Q_{сут}^{гор}$  – суточный расчетный расход по городу для характерных суток, который равен для любых из характерных суток  $Q_{сут}^{гор} = \sum Q_i$ ;

$K_{ч\max}^{гор}$  и  $K_{ч\min}^{гор}$  – коэффициенты часовой неравномерности для города.

Коэффициенты часовой неравномерности следует определять по формулам

$$\begin{aligned}
 K_{ч \max} &= \alpha_{\max} \beta_{\max} \\
 K_{ч \min} &= \alpha_{\min} \beta_{\min} \\
 K_{ч \max}^{\text{гор}} &= \alpha_{\max}^{\text{гор}} \beta_{\max}^{\text{гор}} \\
 K_{ч \min}^{\text{гор}} &= \alpha_{\min}^{\text{гор}} \beta_{\min}^{\text{гор}}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и т.д., принимается в соответствии с [1] равным:

$$\alpha_{\max} = 1,2 - 1,4; \text{ и } \alpha_{\min} = 0,4 - 0,6;$$

$\beta$  – коэффициент, учитывающий количество жителей в каждом районе и в городе в целом, принимается согласно [1] или по таб.1.9 М-1.

Значения расчетных расходов должны быть сведены в табл. 3

Таблица 3

### Характерные расчетные расходы

| Характерные сутки                   | Водопотребитель | Суточный расход, м <sup>3</sup> /сут | Часовой расход    |     |                   |     |                   |     |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
|                                     |                 |                                      | средний           |     | максимальный      |     | минимальный       |     |
|                                     |                 |                                      | м <sup>3</sup> /ч | л/с | м <sup>3</sup> /ч | л/с | м <sup>3</sup> /ч | л/с |
| Сутки среднего водопотребления      | 1 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 2 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 3 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | город           |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
| Сутки максимального водопотребления | 1 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 2 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 3 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | город           |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
| Сутки минимального водопотребления  | 1 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 2 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | 3 район         |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |
|                                     | город           |                                      |                   |     |                   |     |                   |     |

## 2.2. Расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений

Поливка, как правило, производится поливочными машинами в течение 16 часов и дворниками в течение 6 – 8 часов (по три-четыре часа утром и вечером). Расход воды на поливку автомашинами может быть принят равным 50 – 70 % от общего расхода на поливку.

Удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку в расчете на одного жителя следует принимать 30 – 90 л/сут согласно [1].

## 2.3. Расход воды на нужды промышленных предприятий

### 2.3.1. Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды промышленных предприятий

Для определения полного суточного расчетного количества воды на хозяйственно-питьевые нужды населенного пункта к найденной величине расхода должны быть добавлены количества воды, требуемые на хозяйственно-питьевые нужды рабочих во время пребывания их на производстве.

Суточный расход на хозяйственно-питьевые нужды, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$Q_{сут} = \frac{q_i N_i n}{1000}, \quad (8)$$

где  $q_i$  – норма хозяйственно-питьевого водопотребления (раздельно в холодных и горячих цехах) на промышленных предприятиях в л/смену на 1 рабочего, принимается по [1] или по таблице 1.3 к модулю М-1;

$N_i$  – количество работающих в смену;

$n$  – количество смен.

### 2.3.2. Расход воды на душевые нужды

Расход воды на душевые нужды определяется из расчета 500 л/ч на одну душевую сетку; продолжительность пользования душем 45 минут (0,75 часа) после окончания смены.

Количество одновременно работающих душевых сеток в смену определяется в зависимости от категории производства, количества работающих в смену и количества человек, обслуживаемых одной душевой сеткой, шт., согласно табл. 4, по формуле:

$$n = \frac{N}{m}, \quad (9)$$

где  $N$  – количество рабочих, пользующихся душем раздельно в «холодных» и «горячих» цехах;

$m$  – количество человек на одну душевую сетку.

Таблица 4

**Нормы обслуживания рабочих одной душевой сеткой на промышленных предприятиях**

|   | Виды цехов   | Количество человек на 1 душевую сетку |
|---|--|---------------------------------------|
| 1 | В цехах с тепловыделением более 20 Ккал на 1 м <sup>3</sup> /ч | 5                                     |
| 2 | В остальных цехах  | 7                                     |

Суммарный расход воды на душевые нужды, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$Q_{\text{душ}}^{\text{сум}} = \frac{500 \times 0,75 \times n}{1000} \times k, \quad (10)$$

где  $k$  – количество рабочих смен в сутки.

### 2.3.3. Расход воды на производственные нужды

Суточный расход на производственные нужды принимается по индивидуальному заданию.

С целью упрощения расчетов следует принять равномерное распределение производственных расходов по часам суток, м<sup>3</sup>/ч, то есть

$$q_{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{сум}}^{\text{пр}}}{24}, \quad (11)$$

## 2.4 Расход воды на нужды пожаротушения

Расход воды на наружное пожаротушение  $q_{\text{пож}}$  и количество пожаров в населенном пункте следует принимать по в соответствии с требованиями [1] или по табл. 1.4 М-1.

Расход воды на пожаротушение определяется по формуле:

$$Q_{\text{пож}} = q_{\text{пож}} \cdot n, \quad (12)$$

где  $q_{\text{пож}}$  – расход воды на один пожар, л/с,

$n$  – количество одновременных пожаров.

Возникновение расчетного количества пожаров предусматривается в часы максимального водопотребления.

## 2.5 Распределение расходов воды по часам суток в период максимального водопотребления

Распределение расходов по часам суток производится в табличной форме (в качестве примера см. табл. 5)

– заполнение графы 1 не вызывает затруднения;

– графу 2 заполняют в соответствии с почасовым распределением суточного расхода в зависимости от значения максимального коэффициента часовой неравномерности  $K_{\text{ч max}}^{\text{тор}}$ . При этом рекомендуется пользоваться

ся таблицей по распределению суточных хозяйственно-питьевых расходов для населенных пунктов и промышленных предприятий по часам суток для различных коэффициентов часовой неравномерности, приведенных в модуле М-1 (таб. 1.10);

- заполнение графы 3 производится на основании графы 2 от  $Q_{\text{сут max}}^{\text{гор}}$ ;
- графы 5 и 6 заполняются исходя из того, что поливка улиц производится машинами в течение 16 часов, а дворниками – 6 – 8 часов (утром и вечером);

- графа 7 заполняется суммированием граф 5 и 6, однако следует иметь в виду, что поливочный расход не должен влиять на величину максимально-часового расхода;

- графа 9 заполняется согласно рекомендациям 2.3.3;

- графы 10 и 12 заполняются аналогично графе 2 согласно таблице приложения;

- графы 11 и 13 заполняются аналогично графе 2;

- графа 14 заполняется согласно расчету, выполненному в п.2.3.2.

Расход воды на душевые нужды в каждую смену проставляется в час после окончания рабочей смены;

- графа 15 определяется суммированием граф 9,11,13,14;

- графа 17 определяется суммированием граф 3,7,15;

- графа 18 определяется суммированием граф 4,8,16.

При наличии в населенном пункте второго предприятия в таблицу необходимо добавить дополнительные графы, аналогично графам 9 – 16 и их учесть при расчете суммарного расхода воды по городу.

Таблица 5

## Распределение расходов воды по часам суток

| Ч<br>су-<br>ток | Хоз.-питьевое<br>водопотребление<br>населением |                          |     | Расход воды на поливку<br>улиц и зеленых насаждений |                   |       |                     | Промышленное предприятие № 1            |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    | Суммар-<br>ный рас-<br>ход воды<br>по городу |    |
|-----------------|--|--------------------------|-----|---|-------------------|-------|---------------------|---|---------------------|-------------------|-------------------|-----|------------------------------------|------------------------------------|----|--|----|
|                 | при $K_{ч\ max} =$                             |                          |     | Двор-<br>никами                                     | Маши-<br>нами     | Всего |                     | Расход<br>воды на<br>производ.<br>нужды | Хоз.-питьевые нужды |                   |                   |     | Расход<br>воды на<br>прием<br>душа | Всего по<br>промпред-<br>приятию 1 |    |  |    |
|                 | %  | м <sup>3</sup> /ч        | л/с |   |                   |       |                     |   | м <sup>3</sup> /ч   | м <sup>3</sup> /ч | м <sup>3</sup> /ч | л/с |                                    |                                    |    |  |    |
|                 |  |                          |     | %   | м <sup>3</sup> /ч | %     | № м <sup>3</sup> /ч |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 1               | 2  | 3                        | 4   | 5   | 6                 | 7     | 8                   | 9                                       | 10                  | 11                | 12                | 13  | 14                                 | 15                                 | 16 | 17   | 18 |
| 0-1             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 1-2             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 2-3             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 3-4             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 4-5             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| ...             |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
| 23-<br>24       |  |                          |     |   |                   |       |                     |   |                     |                   |                   |     |                                    |                                    |    |  |    |
|                 | 100  | $Q^{гор-}$<br>$сут\ max$ |     |   |                   |       |                     | $Q_{произ.}$                            |                     |                   |                   |     | $Q^{сум}$<br>$душ$                 |                                    |    |  |    |

При использовании данных, приведенных в таб. 1.10 М-1, следует учитывать, что расходы в часы максимального и минимального водопотребления должны соответствовать расчетным данным, полученным по формуле (6), или быть близким к ним. В противном случае следует принять другой график почасового водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды населения, приведя расчетное водопотребление по часам суток в соответствие с расходом воды в часы максимального и минимального водопотребления.

### 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТИ

#### 3.1. Подготовка сети к гидравлическому расчету

##### 3.1.1. Расчет неблагоприятного режима отбора воды из сети

Для населенных пунктов с различной плотностью населения и различной степенью благоустройства зданий по отдельным районам характерные часовые расходы по часам суток определяются по взаимной связи. При этом следует отметить, что период максимального часового водопотребления населенным пунктом может не совпадать с периодами максимального часового водопотребления в отдельных районах, входящих в состав населенного пункта. Поэтому при расчете сети исходят из условия, что самый напряженный момент работы сети наступает в периоды, когда максимальное часовое водопотребление населенным пунктом совпадает с часом максимального водопотребления в наиболее удаленном районе, по отношению к насосной станции, подающей воду в сеть.

Ранее, приняв нумерацию районов от самого удаленного, определяем расчетные максимально-часовые расходы по отдельным районам:

– для 1-го района

$$q_{ч\max}^1 = K_{ч\max}^1 \cdot q_{чср}^1 ; \quad (13)$$

– для 2-го района

$$q_{ч\max}^2 = \beta^{1+2} (q_{чср}^1 \cdot \alpha_{\max}^1 + q_{чср}^2 \cdot \alpha_{\max}^2) - q_{ч\max}^1 ; \quad (14)$$

– для 3-го района

$$q_{ч\max}^3 = \beta^{1+2+3} (q_{чср}^1 \cdot \alpha_{\max}^1 + q_{чср}^2 \cdot \alpha_{\max}^2 + q_{чср}^3 \cdot \alpha_{\max}^3) - q_{ч\max}^1 - q_{ч\max}^2 , \quad (15)$$

где  $q_{ч\max}^i$  – среднечасовой расход в сутки максимального водопотребления для каждого из районов, л/с.

Значение коэффициента  $\alpha_{\max}$  принимается для каждого района, а значение  $\beta_{\max}$  в зависимости от числа жителей, обслуживаемых рассматриваемыми районами города.

### 3.1.2. Расчет удельных расходов

Для определения количеств воды, отбираемых из отдельных линий сети населенного пункта, применяется упрощенная схема водоотбора, основанная на условном предположении, что при одинаковой плотности застройки и одинаковой норме водопотребления отдельных районов, раздача воды из них производится равномерно по длине участков. Длина участков определяется в соответствии с масштабом плана сети. В сумму равномерно распределенных расходов не включаются крупные сосредоточенные расходы, к которым относятся расходы воды отдельных крупных предприятий.

Расход, отнесенный к одному метру длины рассматриваемой сети, называется удельным расходом, л/с, и определяется по формуле

$$q_{уд}^i = \frac{q_{ч\max}^i}{\sum l_i \cdot \alpha}, \quad (16)$$

где  $q_{ч\max}^i$  – максимально-часовой расход воды на хозяйственно питьевые нужды в сутки максимального водопотребления для  $i$ -го района, определенного по формулам (13) – (15);

$\sum l_i$  – суммарная длина участков, отдающих воду для каждого района, м;  
 $\alpha$  – коэффициент, учитывающий водоотдачу участка. Для тех участков, которые по протяженности не имеют застройки (водоводы)  $\alpha = 0$ ; для участков, имеющих одностороннюю застройку  $\alpha = 0,5$ ; для участков, имеющих двухстороннюю застройку  $\alpha = 1$ .

Однако, одним из недостатков разбивки расхода пропорционально длинам линий является то, что длина линии еще не определяет число снабжаемых водой жителей и, следовательно, количество отдаваемой воды. Более точного расчета можно достигнуть, если удельный расход определять не на единицу длины сети, а на единицу площади территории снабжаемой водой кварталов населенного пункта.

### 3.1.3. Расчет путевых и узловых расходов

Расход воды, отдаваемый каждым участком, называется путевым расходом. Он равен

$$q_{пут} = q_{уд} l_i \alpha. \quad (17)$$

Для удобства расчетов путевые расходы заменяют узловыми расходами. Для этого на каждом участке сети нужно разбить путевой расход  $q_{пут}$  пополам и отнести  $0,5q_{пут}$  в начальную и конечную точки рассматриваемого участка.

Отбор воды в любом узле сети может быть определен по формуле  $q_{уз} = 0,5\sum q_{пут}$ , то есть отбор в узле сети равен полусумме путевых расходов всех участков, примыкающих к данному узлу.

При расчете водопроводных сетей узловые отборы условно принимаются фиксированными, постоянными, не зависящими от изменения давления в сети.

#### 3.1.4. Начальное потокораспределение

В кольцевой сети отборы воды в узлах могут быть обеспечены неограниченным количеством числом вариантов распределения потоков воды по ее участкам. Поэтому первой подготовительной операцией, предшествующей гидравлическому расчету кольцевой сети, является ориентировочное распределение потоков воды по линиям сети.

Перед тем, как начать операцию по начальному потокораспределению необходимо вычертить схему водопроводной сети с насосной станцией и на ней нанести все величины узловых расходов, определенных ранее. Далее, по таблице распределений расходов по часам суток определить величины фиксированных отборов, то есть суммарных расходов на нужды промышленных предприятий, попавших на час максимального водопотребления. Фиксированные отборы отнести к ближайшим узлам в месте расположения предприятий. Таким образом расчетным будет расход

$$Q_{расч.} = Q_{хоз.пит.} + \sum Q_{пр.}$$

Начальное потокораспределение производят с учетом баланса расходов в узлах (I закон Кирхгофа), то есть количество воды, притекающей к узлу, должно быть равно количеству воды, вытекающей или отбираемой из узла.

Обычно первоначальное потокораспределение ведут в следующей последовательности:

- намечают основные пути снабжения водой от источника питания до самых отдаленных объектов по всем магистральным линиям, определив таким образом «**точку схода потоков**»;

- намечают расходы воды по магистральным линиям согласно I закону Кирхгофа, по перемычкам можно намечать нулевые расходы. Для обеспечения надежности сети параллельные магистральные линии по возможности должны иметь одинаковую проводимость.

На основании начального потокораспределения по предварительным расходам на каждом участке магистральной сети определяют диаметры.

### 3.1.5 Определение диаметров труб

Для определения диаметров магистральной сети необходимо через все магистральные участки провести сечения. Пример нанесения сечений показан на рис. 7.2.

Коэффициенты сечения можно определить по формуле:

$$K_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{\sum q_i}}$$

где  $Q$  – суммарный расход воды, подаваемый в город насосной станцией с учетом сосредоточенных расходов, которые должны отбираться из ближайших узлов;

$\sum q_i$  – суммарные расходы воды участков, через которые проходит данное сечение.

Для каждого  $i$ -го участка сети можно определить приведенные расходы по формуле

$$q_{np} = q_i K_{ci}$$

где  $q_i$  – расход проходящий по участку после начального потокораспределения;

$K_{ci}$  – коэффициент сечения, проходящего через этот участок.

На основании приведенных расходов и таблицы предельных расходов, данных в табл. 6 назначаются диаметры на каждом участке магистральной сети. Диаметры перемычек назначаются конструктивно, на 1 – 2 сортамента ниже диаметров магистральных линий, расположенных выше перемычек.

Таблица 6

**Значения предельных расходов для чугунных труб**

| Предельный расход, л/с | Расчетный диаметр, мм | Предельный расход, л/с | Расчетный диаметр, мм |
|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                      | 2                     | 1                      | 2                     |
| 9,65                   | 102,0                 | 298,28                 | 500,8                 |
| 21,50                  | 152,4                 | 411,51                 | 600,2                 |
| 40,25                  | 202,6                 | 561,13                 | 699,4                 |
| 62,99                  | 253,0                 | 826,62                 | 799,8                 |
| 104,55                 | 304,4                 | 1036,64                | 899,2                 |
| 185,07                 | 401,4                 | 1995,04                | 998,4                 |

### 3.2. Гидравлический расчет сети вручную на случай максимального водопотребления

Задачей увязки кольцевой сети является нахождение действительно-го распределения воды по участкам при принятых наиболее выгодных диаметрах и расчетных режимах работы сети. Расчет кольцевых водопроводных сетей для всех колец и узлов сети должен удовлетворять следующим условиям: в каждом узле должен соблюдаться баланс расходов (I закон Кирхгофа); в каждом кольце по внешнему контуру сети суммарные потери напора должны быть равны нулю (II закон Кирхгофа).

Существует множество методов гидравлического расчета кольцевых сетей. В данном случае рассмотрен метод Лобачева-Кросса. Сущность его заключается в следующем. После начального потокораспределения и определения диаметра по намеченным расходам и диаметрам определяются потери напора на каждом участке сети. Приняв знак потерь «+» при движении воды по часовой стрелке, а при движении воды против часовой стрелки – «-» суммируем потери напора в кольце. Так как расходы воды на каждом участке сети были распределены ориентировочно, то сумма потерь напора в кольце будет равна не нулю, а какой-то величине  $\Delta h$ , называемой невязкой. Величина  $\Delta h$  показывает какие участки в кольце перегружены.

Для того, чтобы  $\Delta h = 0$ , необходимо все расходы в кольце исправить на какую-то величину  $\Delta q$ , направление которой будет противоположно направлению  $\Delta h$ . При введении поправки к расходу на участке следует учитывать направление движения воды на этом участке. Если направление поправочного расхода  $\Delta q$  совпадает с направлением движения потока, то ее суммируют с расходом на данном участке, если не совпадает, то из расхода вычитают  $\Delta q$ .

Расчет многокольцевой сети следует вести в следующей последовательности. После определения потерь напора на каждом участке сети определить величину невязки в каждом кольце, проставив ее значение в соответствии со знаком в центре кольца. Увязка сети начинается с того кольца, где величина невязки имеет максимальное значение. Определив для этого кольца  $\Delta q$  по формуле

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \sum I \frac{h}{q}}$$

где  $\Delta h$  – величина невязки в данном кольце;

$h$  – потери напора на участке сети;

$q$  – расход на этом же участке.

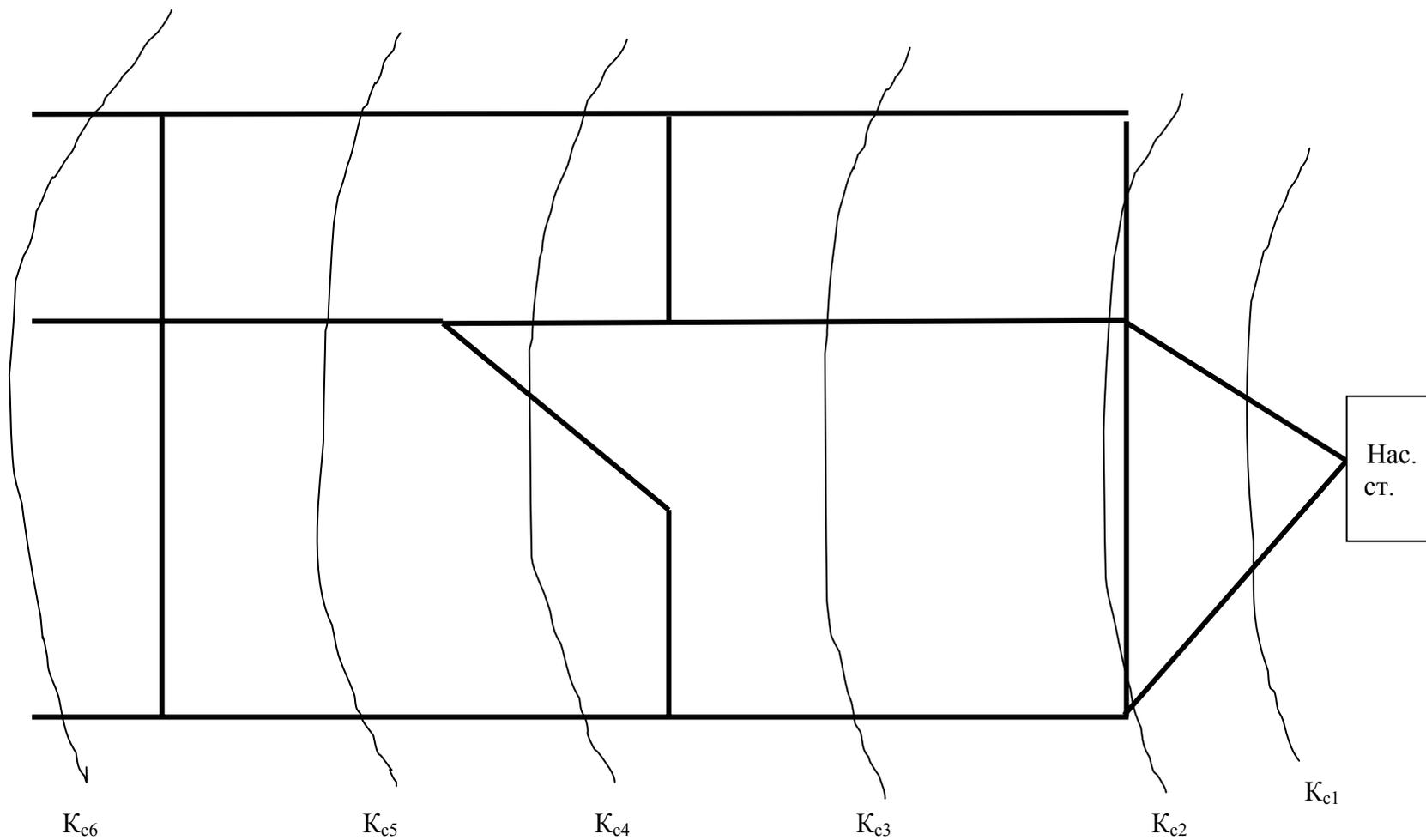


Рис. 2 Определение диаметров сети

Введя поправочный расход  $\Delta q$  на всех участках увязываемого кольца, определяется величина невязки в этом же кольце и во всех смежных кольцах. Далее процесс увязки ведется по такой же схеме до получения во всех кольцах сети  $\Delta h = 0,3$ .

По окончании процесса увязки сети необходимо составить расчетную схему сети с нанесением на нее узловых отборов, направлений движения потоков, действительных расходов и потерь напора на каждом участке сети.

### 3.2.1. Определение потерь напора на участках водопроводной сети

Потери напора в трубопроводах систем подачи и распределения воды вызываются гидравлическим сопротивлением труб и стыковых соединений, а также арматуры.

Общие потери напора в трубопроводе можно определить по формуле:

$$h = h_{\text{дл}} + h_{\text{м}},$$

где  $h_{\text{дл}}$  – потери напора по длине трубопровода;

$h_{\text{м}}$  – потери напора на преодоление местных сопротивлений, для упрощения расчетов величину  $h_{\text{м}}$  можно принимать в размере 10 % от потерь напора по длине, то есть равную  $1,1h_{\text{дл}}$ .

Потери напора по длине трубопровода рекомендуется определять по таблицам Шевелева (в приложении к УМК приведена таблица для чугунных труб). Также потери напора по длине можно определять по известным формулам гидравлики.

## 3.3. Гидравлический расчет водопроводной сети на компьютере

Гидравлический расчет сети на компьютере производится для двух расчетных случаев:

- максимальное водопотребление, то есть на расход  $Q_{\text{расч}}$ ;
- возникновение пожара в час максимального водопотребления, то есть  $Q_{\text{расч}} + Q_{\text{пож}}$ .

Подготовка к расчету на компьютере производится на основании методических указаний, разработанных на кафедре.

Основные исходные данные для расчета сети на случай максимального водопотребления:

- узловые расходы; расходы, предназначенные для хозяйственно-питьевого водопотребления относятся к разряду нефиксированных и расходы для промышленных предприятий, которые относятся к разряду фиксированных;

- отметки земли для каждого узла, которые определяются по генеральному плану города в соответствии с отметками горизонталей;

- свободные нормативные напоры в узлах сети. Величины напоров зависят от этажности застройки для каждого из районов. Естественно, если линия водопроводной сети проходит на стыке двух районов с разной этажностью застройки, то нормативный свободный напор определяется по большей этажности.

Основные исходные данные для расчета сети на случай возникновения расчетного количества пожаров:

- дополнительно к узловым отборам первого расчетного случая добавляются фиксированные отборы в наиболее неблагоприятные точки сети (наиболее отдаленные, возвышенные) по количеству расчетного количества пожаров. В расчетное количество пожаров входят и пожары, которые могут возникнуть на промышленном предприятии, однако расчетные расходы воды на пожаротушение могут отличаться по своей величине. В данном случае необходимо назначить пожары и задать пожарные расходы в тех точках сети, где обеспечение напоров будет наиболее проблематичным;

- свободные нормативные напоры во всех узлах сети, независимо от этажности застройки, необходимо заменить на величину равную 10 м [1].

В результате расчета компьютер выдаст следующие данные по участкам:

- истинный расход, л/с;
- потери напора, м;
- скорость движения воды, м/с;
- величину располагаемого свободного напора и величину пьезометра в каждом узле сети;

- номер диктующей точки (при изменении режимов работы сети диктующая точка может менять свое положение);

- требуемый напор насосного оборудования.

По результатам расчетов для обоих случаев выполняется расчетная схема сети с нанесением на нее направления движения воды, узловых отборов (фиксированных и нефиксированных), расходов и потерь напора по участкам, отметок пьезометрической линии, земли и свободного напора. Диктующая точка (или диктующие точки) сети должна быть выделена, и на расчетной схеме сети на случай возникновения пожаров выделяются точки сети, где назначался пожар.

### 3.4 Построение пьезометрических линий водопроводной сети

По результатам расчета согласно рекомендациям, изложенным в разделе 1.1, УЭ-3, М-4, строят профиль пьезометрических линий. Пример построения профиля дан на рис. 4.3 этого же модуля. Профили пьезометрических линий строят по данным гидравлического расчета на компьютере на случай максимального водопотребления и случай возникновения расчетного количества пожаров в час максимального водопотребления, совмещая их на одном графике. Для построения профиля пьезометрических линий выбирается направление от диктующей точки до насосной станции по тем линиям, где не происходит изменения направления движения воды. В случае изменения месторасположения диктующей точки во время пожара следует выбрать линию, на которой будут располагаться обе диктующие точки и движение воды будет направлено в одну сторону.

## 4. АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

После проведения гидравлического расчета водопроводной сети вручную и на компьютере следует составить таблицу следующего содержания

Таблица 7

### Результаты проведения гидравлического расчета водопроводной сети

| № участков | Расход, л/с                          |                           |   |
|------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
|            | после начального потокораспределения | после увязки сети вручную | после увязки сети на компьютере на случай максимального водопотребления |
|            |                                      |                           |   |
|            |                                      |                           |   |
|            |                                      |                           |   |
|            |                                      |                           |   |
|            |                                      |                           |   |

По данным гидравлического расчета, произведенном на компьютере для двух расчетных случаев: максимального водопотребления и возникновения расчетного количества пожаров в часы максимального водопотребления, а также построенных пьезометрических линий, необходимо проанализировать запроектированную водопроводную сеть в отношении обеспечения напоров, как при максимальном водопотреблении, так и при пожаре. В том случае, если запроектированная

вами сеть, на ваш взгляд, не является экономичной или не обеспечивает надежности обеспечения потребителей водой, необходимо внести конкретные предложения, направленные на улучшение работы сети.

## **5. ДЕТАЛИРОВКА КОЛЬЦА ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Детализировка кольца водопроводной сети (выбранного по вашему усмотрению) производится согласно рекомендациям, изложенным в М-5, а также в практических занятиях по выполнению учебного задания к этому же модулю.

Список литературы, рекомендуемой при выполнении курсового проекта

Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982.

Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределение воды. – М.: Стройиздат, 1972

Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995.

Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1987.

## **М-Р. ОБОБЩЕНИЕ ПО КУРСУ**

### **Учебные цели М-Р:**

Обобщить наиболее существенные знания по курсу, выразить их в форме краткого резюме. Для этого ответьте на следующие основные вопросы:

1. Что такое система водоснабжения.
2. Какие расходы включает в себя норма удельного водопотребления.
3. От чего зависит норма удельного водопотребления.
4. В каком случае неравномерность потребления воды больше, при большем или меньшем количестве жителей.
5. Чему равно время работы душевых на предприятии.
6. В каких случаях допускается проектирование тупиковых водопроводных сетей.
7. Почему водопроводная сеть прокладывается по наиболее возвышенным отметкам местности.
8. Какие выдвигаются требования прокладки водопроводных сетей при пересечении их с канализационными.
9. Что такое свободный напор в водопроводной сети.
10. Какой диаметр магистральных линий может быть минимальным.
11. Исходя из каких требований определяется противопожарный объем в резервуарах чистой воды.
12. Допускается ли снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды на период пополнения противопожарного запаса в резервуарах чистой воды.
13. Исходя из каких критериев определяется расположение водоразборных колонок на водопроводной сети.
14. В каком случае на водопроводной сети устраиваются водопроводные камеры.

## **М-К. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО КУРСУ**

Итак, вы изучили курс «Водопроводные сети и сооружения».

После изучения данного курса вы должны:

- иметь научно обоснованное представление о системах подачи и распределения воды;
- понимать взаимосвязь сооружений систем подачи и распределения воды при их совместной работе;
- владеть навыками внутренней и внешней увязки водопроводных сетей.

По окончании изучения курса «Водопроводные сети и сооружения», вам необходимо сдать экзамен.





| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
|        | 50    |       | 80   |       | 100  |       | 125   |       | 150   |       | 200   |       | 250 |       | 300 |       | 350 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i |
| 4,2    | 2     | 203,5 | 0,78 | 17,9  | 0,51 | 6,3   | 0,33  | 2,14  | 0,23  | 0,89  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,3    | 2,06  | 213,3 | 0,8  | 18,7  | 0,53 | 6,57  | 0,34  | 2,32  | 0,236 | 0,93  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,4    | 2,1   | 223,4 | 0,82 | 19,5  | 0,54 | 6,85  | 0,35  | 2,32  | 0,24  | 0,97  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,5    | 2,15  | 233,7 | 0,84 | 20,3  | 0,55 | 7,14  | 0,354 | 2,42  | 0,247 | 1,01  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,6    | 2,2   | 244,2 | 0,86 | 21,2  | 0,56 | 7,43  | 0,36  | 2,52  | 0,25  | 1,05  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,7    | 2,25  | 254,9 | 0,88 | 22    | 0,58 | 7,73  | 0,37  | 2,61  | 0,258 | 1,09  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,8    | 2,3   | 265,8 | 0,9  | 22,9  | 0,59 | 8,03  | 0,38  | 2,71  | 0,26  | 1,13  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 4,9    | 2,34  | 277   | 0,91 | 23,8  | 0,6  | 8,34  | 0,386 | 2,82  | 0,27  | 1,17  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5      | 2,39  | 288,5 | 0,93 | 24,7  | 0,61 | 8,65  | 0,39  | 2,92  | 0,274 | 1,21  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,1    | 2,44  | 300,1 | 0,95 | 25,7  | 0,62 | 8,97  | 0,4   | 3,03  | 0,28  | 1,26  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,2    | 2,49  | 312   | 0,97 | 26,6  | 0,64 | 9,29  | 0,41  | 3,13  | 0,285 | 1,3   |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,3    | 2,53  | 324,1 | 0,99 | 27,6  | 0,65 | 9,62  | 0,42  | 3,24  | 0,29  | 1,34  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,4    | 2,58  | 36,5  | 1,01 | 28,5  | 0,66 | 9,95  | 0,425 | 3,35  | 0,296 | 1,39  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,5    | 2,63  | 349   | 1,03 | 29,5  | 0,67 | 10,3  | 0,43  | 3,47  | 0,3   | 1,44  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,6    | 2,68  | 361,9 | 1,05 | 30,5  | 0,69 | 10,6  | 0,44  | 3,58  | 0,307 | 1,48  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,7    | 2,73  | 374,9 | 1,06 | 31,6  | 0,7  | 11    | 0,45  | 3,7   | 0,31  | 1,53  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,8    | 2,77  | 388,2 | 1,08 | 32,6  | 0,71 | 11,3  | 0,46  | 3,81  | 0,318 | 1,58  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 5,9    | 2,82  | 401,7 | 1,1  | 33,7  | 0,72 | 11,7  | 0,464 | 3,93  | 0,32  | 1,63  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6      | 2,87  | 415,4 | 1,12 | 34,7  | 0,73 | 12,1  | 0,47  | 4,05  | 0,33  | 1,68  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6,1    | 2,92  | 429,4 | 1,14 | 35,8  | 0,75 | 12,4  | 0,48  | 4,18  | 0,334 | 1,73  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6,2    | 2,96  | 443,5 | 1,16 | 36,9  | 0,76 | 12,8  | 0,49  | 4,3   | 0,34  | 1,78  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6,3    | 3,01  | 458   | 1,18 | 38    | 0,77 | 13,2  | 0,5   | 4,43  | 0,345 | 1,83  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6,4    |       |       | 1,19 | 39,2  | 0,78 | 13,6  | 0,504 | 4,56  | 0,35  | 1,88  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 6,5    |       |       | 1,21 | 40,3  | 0,8  | 14    | 0,51  | 4,69  | 0,356 | 1,93  | 0,202 | 0,49  |     |       |     |       |     |       |
| 6,6    |       |       | 1,23 | 41,5  | 0,81 | 14,4  | 0,52  | 4,82  | 0,36  | 1,99  | 0,205 | 0,5   |     |       |     |       |     |       |
| 6,7    |       |       | 1,25 | 42,8  | 0,82 | 14,8  | 0,53  | 4,95  | 0,367 | 2,04  | 0,208 | 0,51  |     |       |     |       |     |       |
| 6,8    |       |       | 1,27 | 44,1  | 0,83 | 15,2  | 0,54  | 5,09  | 0,37  | 2,1   | 0,211 | 0,53  |     |       |     |       |     |       |
| 6,9    |       |       | 1,29 | 45,4  | 0,84 | 15,6  | 0,543 | 5,22  | 0,378 | 2,15  | 0,124 | 0,54  |     |       |     |       |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
|        | 50    |       | 80   |       | 100  |       | 125   |       | 150   |       | 200   |       | 250 |       | 300 |       | 350 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i |
| 7      |       |       | 1,31 | 46,7  | 0,86 | 16    | 0,55  | 5,36  | 0,384 | 2,21  | 0,217 | 0,55  |     |       |     |       |     |       |
| 7,1    |       |       | 1,32 | 48,1  | 0,87 | 16,5  | 0,56  | 5,5   | 0,39  | 2,26  | 0,22  | 0,57  |     |       |     |       |     |       |
| 7,2    |       |       | 1,34 | 49,4  | 0,88 | 16,9  | 0,57  | 5,64  | 0,395 | 2,32  | 0,223 | 0,58  |     |       |     |       |     |       |
| 7,3    |       |       | 1,36 | 50,8  | 0,89 | 17,3  | 0,574 | 5,79  | 0,4   | 2,38  | 0,226 | 0,6   |     |       |     |       |     |       |
| 7,4    |       |       | 1,38 | 52,2  | 0,91 | 17,8  | 0,58  | 5,93  | 0,406 | 2,44  | 0,23  | 0,61  |     |       |     |       |     |       |
| 7,5    |       |       | 1,4  | 53,6  | 0,92 | 18,2  | 0,59  | 6,08  | 0,41  | 2,5   | 0,233 | 0,63  |     |       |     |       |     |       |
| 7,6    |       |       | 1,42 | 55,1  | 0,93 | 18,7  | 0,6   | 6,23  | 0,417 | 2,56  | 0,236 | 0,64  |     |       |     |       |     |       |
| 7,7    |       |       | 1,44 | 56,5  | 0,94 | 19,1  | 0,61  | 6,38  | 0,42  | 2,62  | 0,24  | 0,66  |     |       |     |       |     |       |
| 7,8    |       |       | 1,46 | 58    | 0,95 | 19,6  | 0,61  | 6,53  | 0,428 | 2,68  | 0,242 | 0,67  |     |       |     |       |     |       |
| 7,9    |       |       | 1,47 | 59,5  | 0,97 | 20,1  | 0,62  | 6,68  | 0,43  | 2,74  | 0,245 | 0,69  |     |       |     |       |     |       |
| 8      |       |       | 1,49 | 61    | 0,98 | 20,6  | 0,63  | 6,84  | 0,44  | 2,81  | 0,248 | 0,7   |     |       |     |       |     |       |
| 8,1    |       |       | 1,51 | 62,5  | 0,99 | 21    | 0,64  | 6,99  | 0,444 | 2,87  | 0,25  | 0,72  |     |       |     |       |     |       |
| 8,2    |       |       | 1,53 | 64,1  | 1    | 21,5  | 0,65  | 7,15  | 0,45  | 2,93  | 0,254 | 0,73  |     |       |     |       |     |       |
| 8,3    |       |       | 1,55 | 65,7  | 1,02 | 22    | 0,65  | 7,31  | 0,455 | 3     | 0,257 | 0,75  |     |       |     |       |     |       |
| 8,4    |       |       | 1,57 | 67,3  | 1,03 | 22,5  | 0,66  | 7,47  | 0,46  | 3,06  | 0,26  | 0,77  |     |       |     |       |     |       |
| 8,5    |       |       | 1,59 | 68,9  | 1,04 | 23    | 0,67  | 7,64  | 0,466 | 3,13  | 0,264 | 0,78  |     |       |     |       |     |       |
| 8,6    |       |       | 1,6  | 70,5  | 1,05 | 23,5  | 0,68  | 7,8   | 0,47  | 3,2   | 0,267 | 0,8   |     |       |     |       |     |       |
| 8,7    |       |       | 1,62 | 72,2  | 1,06 | 24    | 0,685 | 7,97  | 0,477 | 3,26  | 0,27  | 0,81  |     |       |     |       |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
|        | 80    |       | 100  |       | 125   |       | 150   |       | 200   |       | 250   |       | 300 |       | 350 |       | 400 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i | V   | 1000i |
| 8,8    | 1,64  | 73,8  | 1,08 | 24,5  | 0,69  | 8,14  | 0,48  | 3,33  | 0,273 | 0,83  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 8,9    | 1,66  | 75,5  | 1,09 | 25,1  | 0,7   | 8,31  | 0,488 | 3,4   | 0,276 | 0,85  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9      | 1,68  | 77,2  | 1,1  | 25,6  | 0,71  | 8,48  | 0,493 | 3,47  | 0,279 | 0,86  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,1    | 1,7   | 78,9  | 1,11 | 26,1  | 0,72  | 8,66  | 0,5   | 3,54  | 0,28  | 0,88  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,2    | 1,72  | 80,7  | 1,13 | 26,7  | 0,724 | 8,83  | 0,504 | 3,61  | 0,285 | 0,9   |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,3    | 1,74  | 82,4  | 1,14 | 27,2  | 0,73  | 9,01  | 0,51  | 3,68  | 0,29  | 0,92  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,4    | 1,75  | 84,2  | 1,15 | 27,8  | 0,74  | 9,19  | 0,515 | 3,76  | 0,292 | 0,93  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,5    | 1,77  | 86    | 1,16 | 28,3  | 0,75  | 9,37  | 0,52  | 3,83  | 0,295 | 0,95  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,6    | 1,79  | 87,9  | 1,17 | 28,9  | 0,76  | 9,55  | 0,526 | 3,9   | 0,298 | 0,97  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,7    | 1,81  | 89,7  | 1,19 | 29,4  | 0,763 | 9,73  | 0,53  | 3,98  | 0,3   | 0,99  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,8    | 1,83  | 91,5  | 1,2  | 30    | 0,77  | 9,92  | 0,537 | 4,05  | 0,304 | 1,01  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 9,9    | 1,85  | 93,4  | 1,21 | 30,5  | 0,78  | 10,1  | 0,54  | 4,19  | 0,307 | 1,02  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 10     | 1,87  | 95,3  | 1,22 | 31,2  | 0,79  | 10,3  | 0,548 | 4,2   | 0,31  | 1,04  |       |       |     |       |     |       |     |       |
| 10,25  | 1,91  | 100,1 | 1,25 | 32,7  | 0,81  | 10,8  | 0,56  | 4,39  | 0,318 | 1,09  | 0,2   | 0,37  |     |       |     |       |     |       |
| 10,5   | 1,96  | 105,1 | 1,28 | 34,4  | 0,83  | 11,3  | 0,58  | 4,59  | 0,326 | 1,14  | 0,209 | 0,39  |     |       |     |       |     |       |
| 10,75  | 2,01  | 110,2 | 1,32 | 36    | 0,85  | 11,8  | 0,59  | 4,79  | 0,33  | 1,19  | 0,21  | 0,4   |     |       |     |       |     |       |
| 11     | 2,05  | 115,3 | 1,35 | 37,7  | 0,87  | 12,3  | 0,6   | 5     | 0,34  | 1,24  | 0,219 | 0,42  |     |       |     |       |     |       |
| 11,25  | 2,1   | 120,6 | 1,38 | 39,4  | 0,89  | 12,8  | 0,62  | 5,21  | 0,35  | 1,29  | 0,22  | 0,44  |     |       |     |       |     |       |
| 11,5   | 2,15  | 126,1 | 1,41 | 41,2  | 0,9   | 13,3  | 0,63  | 5,42  | 0,36  | 1,34  | 0,23  | 0,46  |     |       |     |       |     |       |
| 11,75  | 2,19  | 131,6 | 1,44 | 43    | 0,92  | 13,9  | 0,64  | 5,64  | 0,364 | 1,39  | 0,234 | 0,47  |     |       |     |       |     |       |
| 12     | 2,24  | 137,3 | 1,47 | 44,9  | 0,94  | 14,4  | 0,66  | 5,86  | 0,37  | 1,44  | 0,24  | 0,49  |     |       |     |       |     |       |
| 12,25  | 2,29  | 143   | 1,5  | 46,8  | 0,96  | 15    | 0,67  | 6,08  | 0,38  | 1,5   | 0,244 | 0,51  |     |       |     |       |     |       |
| 12,5   | 2,33  | 148,9 | 1,53 | 48,7  | 0,98  | 15,6  | 0,69  | 6,31  | 0,39  | 1,55  | 0,25  | 0,53  |     |       |     |       |     |       |
| 12,75  | 2,38  | 155   | 1,56 | 50,7  | 1     | 16,1  | 0,7   | 6,55  | 0,4   | 1,61  | 0,254 | 0,55  |     |       |     |       |     |       |
| 13     | 2,43  | 161,1 | 1,59 | 52,7  | 1,02  | 16,7  | 0,71  | 6,78  | 0,403 | 1,67  | 0,26  | 0,57  |     |       |     |       |     |       |
| 13,25  | 2,47  | 167,4 | 1,62 | 54,7  | 1,04  | 17,3  | 0,73  | 7,02  | 0,41  | 1,72  | 0,264 | 0,59  |     |       |     |       |     |       |
| 13,5   | 2,52  | 173,7 | 1,65 | 56,8  | 1,06  | 18    | 0,74  | 7,27  | 0,42  | 1,78  | 0,27  | 0,6   |     |       |     |       |     |       |
| 13,75  | 2,57  | 180,2 | 1,68 | 58,9  | 1,08  | 18,6  | 0,75  | 7,52  | 0,43  | 1,84  | 0,274 | 0,62  |     |       |     |       |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | 80    |       | 100  |       | 125  |       | 150  |       | 200   |       | 250   |       | 300   |       | 350   |       | 400 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i |
| 14     | 2,61  | 186,8 | 1,71 | 61,1  | 1,1  | 19,2  | 0,77 | 7,77  | 0,434 | 1,9   | 0,278 | 0,65  |       |       |       |       |     |       |
| 14,25  | 2,66  | 193,6 | 1,74 | 63,3  | 1,12 | 19,9  | 0,78 | 8,03  | 0,44  | 1,97  | 0,28  | 0,67  |       |       |       |       |     |       |
| 14,5   | 2,71  | 200,4 | 1,77 | 65,5  | 1,14 | 20,5  | 0,79 | 8,29  | 0,45  | 2,03  | 0,288 | 0,69  |       |       |       |       |     |       |
| 14,75  | 2,75  | 207,4 | 1,81 | 67,7  | 1,16 | 21,2  | 0,81 | 8,56  | 0,46  | 2,09  | 0,29  | 0,71  | 0,2   | 0,29  |       |       |     |       |
| 15     | 2,8   | 214,5 | 1,84 | 70,1  | 1,18 | 21,9  | 0,82 | 8,83  | 0,47  | 2,16  | 0,3   | 0,73  | 0,206 | 0,3   |       |       |     |       |
| 15,5   | 2,89  | 229   | 1,9  | 74,9  | 1,22 | 23,2  | 0,85 | 9,38  | 0,48  | 2,29  | 0,31  | 0,77  | 0,21  | 0,32  |       |       |     |       |
| 16     | 2,99  | 244   | 1,96 | 79,8  | 1,26 | 24,8  | 0,88 | 9,95  | 0,5   | 2,42  | 0,32  | 0,82  | 0,22  | 0,33  |       |       |     |       |
| 16,5   |       |       | 2,02 | 84,8  | 1,3  | 26,3  | 0,9  | 10,5  | 0,51  | 2,56  | 0,33  | 0,86  | 0,227 | 0,35  |       |       |     |       |
| 17     |       |       | 2,08 | 90,1  | 1,34 | 27,9  | 0,93 | 11,1  | 0,53  | 2,7   | 0,34  | 0,91  | 0,23  | 0,37  |       |       |     |       |
| 17,5   |       |       | 2,14 | 95,4  | 1,38 | 29,6  | 0,96 | 11,7  | 0,54  | 2,85  | 0,35  | 0,96  | 0,24  | 0,39  |       |       |     |       |
| 18     |       |       | 2,2  | 101   | 1,42 | 31,3  | 0,99 | 12,4  | 0,56  | 3     | 0,36  | 1,01  | 0,247 | 0,41  |       |       |     |       |
| 18,5   |       |       | 2,61 | 106,6 | 1,46 | 33,1  | 1,01 | 13    | 0,57  | 3,16  | 0,37  | 1,06  | 0,25  | 0,43  |       |       |     |       |
| 19     |       |       | 2,33 | 112,5 | 1,5  | 34,9  | 1,04 | 13,7  | 0,59  | 3,31  | 0,38  | 1,11  | 0,26  | 0,45  |       |       |     |       |
| 19,5   |       |       | 2,39 | 118,5 | 1,53 | 36,8  | 1,07 | 14,4  | 0,6   | 3,47  | 0,39  | 1,16  | 0,27  | 0,47  | 0,2   | 0,23  |     |       |
| 20     |       |       | 2,45 | 124,6 | 1,57 | 38,7  | 1,1  | 15,1  | 0,62  | 3,63  | 0,4   | 1,22  | 0,275 | 0,5   | 0,205 | 0,24  |     |       |
| 20,5   |       |       | 2,51 | 131   | 1,61 | 40,6  | 1,12 | 15,8  | 0,64  | 3,8   | 0,41  | 1,27  | 0,28  | 0,52  | 0,21  | 0,26  |     |       |
| 21     |       |       | 2,57 | 137,4 | 1,65 | 42,6  | 1,15 | 16,5  | 0,65  | 3,97  | 0,42  | 1,33  | 0,29  | 0,54  | 0,215 | 0,27  |     |       |
| 21,5   |       |       | 2,63 | 144   | 1,69 | 44,7  | 1,18 | 17,2  | 0,67  | 4,15  | 0,43  | 1,39  | 0,295 | 0,56  | 0,22  | 0,28  |     |       |
| 22     |       |       | 2,69 | 150,8 | 1,73 | 46,8  | 1,21 | 18    | 0,68  | 4,33  | 0,44  | 1,45  | 0,3   | 0,59  | 0,226 | 0,29  |     |       |
| 22,5   |       |       | 2,75 | 157,8 | 1,77 | 49    | 1,23 | 18,8  | 0,7   | 4,51  | 0,45  | 1,51  | 0,31  | 0,61  | 0,23  | 0,3   |     |       |
| 23     |       |       | 2,81 | 164,8 | 1,81 | 51,2  | 1,26 | 19,6  | 0,71  | 4,69  | 0,46  | 1,57  | 0,316 | 0,64  | 0,236 | 0,31  |     |       |
| 23,5   |       |       | 2,88 | 172,1 | 1,85 | 53,4  | 1,29 | 20,5  | 0,73  | 4,88  | 0,47  | 1,63  | 0,32  | 0,66  | 0,24  | 0,32  |     |       |
| 24     |       |       | 2,94 | 179,5 | 1,89 | 55,7  | 1,32 | 21,4  | 0,74  | 5,08  | 0,48  | 1,69  | 0,33  | 0,69  | 0,246 | 0,34  |     |       |
| 24,5   |       |       | 3    | 187   | 1,93 | 58    | 1,34 | 22,3  | 0,76  | 5,27  | 0,49  | 1,76  | 0,337 | 0,71  | 0,25  | 0,35  |     |       |
| 25     |       |       |      |       | 1,97 | 60,4  | 1,37 | 23,2  | 0,78  | 5,47  | 0,5   | 1,82  | 0,34  | 0,74  | 0,256 | 0,36  |     |       |
| 25,5   |       |       |      |       | 2,01 | 62,9  | 1,4  | 24,1  | 0,79  | 5,67  | 0,51  | 1,89  | 0,35  | 0,76  | 0,26  | 0,37  |     |       |
| 26     |       |       |      |       | 2,05 | 65,4  | 1,43 | 25,1  | 0,81  | 5,88  | 0,52  | 1,96  | 0,357 | 0,79  | 0,267 | 0,39  |     |       |
| 26,5   |       |       |      |       | 2,09 | 67,9  | 1,45 | 26,1  | 0,82  | 6,09  | 0,53  | 2,02  | 0,36  | 0,82  | 0,27  | 0,4   |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |     |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |     |       |
|--------|-------|-------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | 80    |       | 100 |       | 125  |       | 150  |       | 200  |       | 250  |       | 300   |       | 350   |       | 400 |       |
|        | V     | 1000i | V   | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i |
| 27     |       |       |     |       | 2,12 | 70,5  | 1,48 | 27    | 0,84 | 6,31  | 0,54 | 2,09  | 0,37  | 0,85  | 0,277 | 0,41  |     |       |
| 27,5   |       |       |     |       | 2,16 | 73,1  | 1,51 | 28,1  | 0,85 | 6,5   | 0,55 | 2,17  | 0,38  | 0,87  | 0,28  | 0,43  |     |       |
| 28     |       |       |     |       | 2,2  | 75,8  | 1,53 | 29,1  | 0,87 | 6,74  | 0,56 | 2,24  | 0,385 | 0,9   | 0,287 | 0,44  |     |       |
| 28,5   |       |       |     |       | 2,24 | 78,5  | 1,56 | 30,1  | 0,88 | 6,97  | 0,57 | 2,31  | 0,39  | 0,93  | 0,29  | 0,46  |     |       |
| 29     |       |       |     |       | 2,28 | 81,3  | 1,59 | 31,2  | 0,9  | 7,2   | 0,58 | 2,38  | 0,4   | 0,96  | 0,297 | 0,47  |     |       |
| 29,5   |       |       |     |       | 2,32 | 84,2  | 1,62 | 32,3  | 0,92 | 7,43  | 0,59 | 2,26  | 0,405 | 0,99  | 0,3   | 0,49  |     |       |
| 30     |       |       |     |       | 2,36 | 87    | 1,64 | 33,4  | 0,93 | 7,66  | 0,6  | 2,54  | 0,41  | 1,02  | 0,308 | 0,5   |     |       |
| 30,5   |       |       |     |       | 2,4  | 90    | 1,67 | 34,5  | 0,95 | 7,9   | 0,61 | 2,61  | 0,419 | 1,05  | 0,31  | 0,52  |     |       |
| 31     |       |       |     |       | 2,44 | 92,9  | 1,7  | 35,7  | 0,96 | 8,15  | 0,62 | 2,69  | 0,426 | 1,08  | 0,318 | 0,53  |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | 125   |       | 150  |       | 200  |       | 250  |       | 300   |       | 350   |       | 400   |       | 450   |       | 500 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i |
| 31,5   | 2,48  | 96    | 1,73 | 36,8  | 0,98 | 8,39  | 0,63 | 2,77  | 0,43  | 1,11  | 0,32  | 0,55  | 0,25  | 0,29  |       |       |     |       |
| 32     | 2,52  | 99    | 1,75 | 38    | 0,99 | 8,64  | 0,64 | 2,58  | 0,44  | 1,15  | 0,328 | 0,56  | 0,253 | 0,3   | 0,201 | 0,171 |     |       |
| 32,5   | 2,56  | 102,1 | 1,78 | 39,2  | 1,01 | 8,89  | 0,65 | 2,94  | 0,447 | 1,18  | 0,33  | 0,58  | 0,257 | 0,31  | 0,204 | 0,176 |     |       |
| 33     | 2,6   | 105,3 | 1,81 | 40,4  | 1,02 | 9,15  | 0,66 | 3,02  | 0,45  | 1,21  | 0,338 | 0,59  | 0,26  | 0,32  | 0,207 | 0,18  |     |       |
| 33,5   | 2,64  | 108,5 | 1,84 | 41,6  | 1,04 | 9,41  | 0,67 | 3,1   | 0,46  | 1,25  | 0,34  | 0,61  | 0,265 | 0,324 | 0,21  | 0,185 |     |       |
| 34     | 2,68  | 111,8 | 1,86 | 42,9  | 1,05 | 9,67  | 0,68 | 3,19  | 0,467 | 1,28  | 0,349 | 0,63  | 0,269 | 0,33  | 0,213 | 0,19  |     |       |
| 34,5   | 2,71  | 115,1 | 1,89 | 44,2  | 1,07 | 9,94  | 0,69 | 3,27  | 0,47  | 1,31  | 0,35  | 0,64  | 0,27  | 0,34  | 0,216 | 0,195 |     |       |
| 35     | 2,75  | 118,5 | 1,92 | 45,4  | 1,09 | 10,2  | 0,7  | 3,36  | 0,48  | 1,35  | 0,359 | 0,66  | 0,277 | 0,35  | 0,219 | 0,2   |     |       |
| 35,5   | 2,79  | 121,9 | 1,95 | 46,8  | 1,1  | 10,5  | 0,71 | 3,45  | 0,488 | 1,38  | 0,36  | 0,68  | 0,28  | 0,36  | 0,223 | 0,205 |     |       |
| 36     | 2,83  | 125,3 | 1,97 | 48,1  | 1,12 | 10,8  | 0,72 | 3,54  | 0,495 | 1,42  | 0,369 | 0,69  | 0,285 | 0,37  | 0,226 | 0,21  |     |       |
| 36,5   | 2,87  | 128,8 | 2    | 49,4  | 1,13 | 11    | 0,73 | 3,63  | 0,5   | 1,45  | 0,37  | 0,71  | 0,289 | 0,38  | 0,229 | 0,215 |     |       |
| 37     | 2,91  | 132,4 | 2,03 | 50,8  | 1,15 | 11,8  | 0,74 | 3,72  | 0,508 | 1,49  | 0,379 | 0,73  | 0,29  | 0,39  | 0,232 | 0,221 |     |       |
| 37,5   | 2,95  | 136   | 2,06 | 52,2  | 1,16 | 11,6  | 0,75 | 3,82  | 0,515 | 1,53  | 0,38  | 0,75  | 0,296 | 0,4   | 0,235 | 0,226 |     |       |
| 38     | 2,99  | 139,6 | 2,08 | 53,6  | 1,18 | 11,9  | 0,76 | 3,91  | 0,52  | 1,56  | 0,39  | 0,76  | 0,3   | 0,41  | 0,238 | 0,231 |     |       |
| 38,5   | 3,03  | 143,3 | 2,11 | 55    | 1,19 | 12,2  | 0,77 | 4,01  | 0,529 | 1,6   | 0,395 | 0,78  | 0,304 | 0,415 | 0,241 | 0,237 |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 125   |       | 150  |       | 200  |       | 250  |       | 300   |       | 350   |       | 400   |       | 450   |       | 500   |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 39     |       |       | 2,14 | 56,4  | 1,21 | 12,5  | 0,78 | 4,1   | 0,536 | 1,64  | 0,399 | 0,8   | 0,308 | 0,42  | 0,245 | 0,242 |       |       |
| 39,5   |       |       | 2,17 | 57,9  | 1,23 | 12,8  | 0,79 | 4,2   | 0,54  | 1,68  | 0,4   | 0,82  | 0,31  | 0,43  | 0,248 | 0,25  | 0,2   | 0,149 |
| 40     |       |       | 2,19 | 59,4  | 1,24 | 13,1  | 0,8  | 4,3   | 0,55  | 1,72  | 0,41  | 0,84  | 0,316 | 0,44  | 0,25  | 0,253 | 0,203 | 0,152 |
| 41     |       |       | 2,25 | 62,4  | 1,27 | 13,8  | 0,82 | 4,5   | 0,56  | 1,8   | 0,42  | 0,87  | 0,32  | 0,46  | 0,257 | 0,26  | 0,208 | 0,159 |
| 42     |       |       | 2,3  | 65,4  | 1,31 | 14,5  | 0,84 | 4,7   | 0,58  | 1,88  | 0,43  | 0,91  | 0,33  | 0,48  | 0,26  | 0,28  | 0,21  | 0,160 |
| 43     |       |       | 2,36 | 68,6  | 1,33 | 15,2  | 0,86 | 4,91  | 0,59  | 1,96  | 0,44  | 0,95  | 0,34  | 0,5   | 0,27  | 0,29  | 0,218 | 0,173 |
| 44     |       |       | 2,41 | 71,8  | 1,36 | 15,9  | 0,88 | 5,13  | 0,6   | 2,04  | 0,45  | 0,99  | 0,35  | 0,53  | 0,276 | 0,3   | 0,22  | 0,180 |
| 45     |       |       | 2,46 | 75,1  | 1,4  | 16,6  | 0,9  | 5,34  | 0,62  | 2,13  | 0,46  | 1,03  | 0,356 | 0,55  | 0,28  | 0,31  | 0,229 | 0,018 |
| 46     |       |       | 2,52 | 78,5  | 1,43 | 17,4  | 0,92 | 5,56  | 0,63  | 2,22  | 0,47  | 1,08  | 0,36  | 0,57  | 0,29  | 0,32  | 0,23  | 0,194 |
| 47     |       |       | 2,58 | 82    | 1,46 | 18,1  | 0,93 | 5,79  | 0,65  | 2,3   | 0,48  | 1,12  | 0,37  | 0,59  | 0,295 | 0,34  | 0,239 | 0,202 |
| 48     |       |       | 2,63 | 85,5  | 1,49 | 18,9  | 0,95 | 6,02  | 0,66  | 2,39  | 0,49  | 1,16  | 0,38  | 0,61  | 0,3   | 0,35  | 0,24  | 0,210 |
| 49     |       |       | 2,69 | 89,1  | 1,52 | 19,7  | 0,97 | 6,26  | 0,67  | 2,49  | 0,5   | 1,21  | 0,39  | 0,64  | 0,31  | 0,36  | 0,249 | 0,217 |
| 50     |       |       | 2,74 | 92,8  | 1,55 | 20,5  | 0,99 | 6,5   | 0,69  | 2,58  | 0,51  | 1,25  | 0,395 | 0,66  | 0,314 | 0,38  | 0,25  | 0,225 |
| 51     |       |       | 2,8  | 96,5  | 1,58 | 21,3  | 1,01 | 6,74  | 0,7   | 2,68  | 0,52  | 1,3   | 0,4   | 0,69  | 0,32  | 0,39  | 0,259 | 0,233 |
| 52     |       |       | 2,85 | 100,3 | 1,61 | 22,2  | 1,03 | 6,99  | 0,71  | 2,77  | 0,53  | 1,34  | 0,41  | 0,71  | 0,326 | 0,4   | 0,26  | 0,244 |
| 53     |       |       | 2,91 | 104,2 | 1,64 | 23    | 1,05 | 7,24  | 0,73  | 2,87  | 0,54  | 1,39  | 0,42  | 0,73  | 0,33  | 0,42  | 0,269 | 0,250 |
| 54     |       |       | 2,96 | 108,2 | 1,68 | 23,9  | 1,07 | 7,5   | 0,74  | 2,97  | 0,55  | 1,44  | 0,43  | 0,76  | 0,34  | 0,43  | 0,27  | 0,258 |
| 55     |       |       | 3,02 | 112,2 | 1,71 | 24,8  | 1,09 | 7,76  | 0,76  | 3,07  | 0,56  | 1,49  | 0,435 | 0,78  | 0,345 | 0,45  | 0,279 | 0,267 |
| 56     |       |       |      |       | 1,74 | 25,7  | 1,11 | 8,03  | 0,77  | 3,18  | 0,57  | 1,54  | 0,44  | 0,81  | 0,35  | 0,46  | 0,285 | 0,275 |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | 200   |       | 250  |       | 300  |       | 350  |       | 400   |       | 450   |       | 500   |       | 600   |       | 700 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i |
| 57     | 1,77  | 26,7  | 1,13 | 8,3   | 0,78 | 3,28  | 0,58 | 1,59  | 0,45  | 0,84  | 0,357 | 0,48  | 0,29  | 0,284 | 0,201 | 0,119 |     |       |
| 58     | 1,8   | 27,6  | 1,15 | 8,57  | 0,8  | 3,39  | 0,59 | 1,64  | 0,46  | 0,86  | 0,36  | 0,49  | 0,295 | 0,293 | 0,205 | 0,122 |     |       |
| 59     | 1,83  | 28,6  | 1,17 | 8,85  | 0,81 | 3,5   | 0,6  | 1,69  | 0,466 | 0,89  | 0,37  | 0,51  | 0,3   | 0,3   | 0,209 | 0,126 |     |       |
| 60     | 1,86  | 29,5  | 1,19 | 9,13  | 0,82 | 3,61  | 0,62 | 1,74  | 0,47  | 0,92  | 0,376 | 0,52  | 0,305 | 0,31  | 0,21  | 0,13  |     |       |
| 61     | 1,89  | 30,5  | 1,21 | 9,4   | 0,84 | 3,72  | 0,63 | 1,8   | 0,48  | 0,95  | 0,38  | 0,54  | 0,31  | 0,32  | 0,216 | 0,134 |     |       |
| 62     | 1,92  | 31,5  | 1,23 | 9,72  | 0,85 | 3,83  | 0,64 | 1,85  | 0,49  | 0,97  | 0,389 | 0,55  | 0,315 | 0,33  | 0,219 | 0,137 |     |       |
| 63     | 1,95  | 32,6  | 1,25 | 10    | 0,87 | 3,95  | 0,65 | 1,91  | 0,5   | 1     | 0,395 | 0,57  | 0,32  | 0,34  | 0,22  | 0,141 |     |       |
| 64     | 1,99  | 33,6  | 1,27 | 10,4  | 0,88 | 4,07  | 0,66 | 1,96  | 0,506 | 1,03  | 0,4   | 0,58  | 0,325 | 0,35  | 0,226 | 0,145 |     |       |
| 65     | 20,2  | 34,7  | 1,29 | 10,7  | 0,89 | 4,18  | 0,67 | 2,02  | 0,51  | 1,06  | 0,408 | 0,6   | 0,33  | 0,36  | 0,23  | 0,149 |     |       |
| 66     | 2,05  | 35,7  | 1,31 | 11    | 0,91 | 4,3   | 0,68 | 2,07  | 0,52  | 1,09  | 0,41  | 0,62  | 0,335 | 0,37  | 0,233 | 0,153 |     |       |
| 67     | 2,08  | 36,8  | 1,33 | 11,3  | 0,92 | 4,44  | 0,69 | 2,13  | 0,53  | 1,12  | 0,42  | 0,63  | 0,34  | 0,38  | 0,237 | 0,158 |     |       |
| 68     | 2,11  | 37,9  | 1,35 | 11,7  | 0,93 | 4,55  | 0,7  | 2,19  | 0,538 | 1,15  | 0,426 | 0,65  | 0,345 | 0,39  | 0,24  | 0,162 |     |       |
| 69     | 2,14  | 39,1  | 1,37 | 12    | 0,95 | 4,67  | 0,71 | 2,25  | 0,546 | 1,18  | 0,43  | 0,67  | 0,35  | 0,4   | 0,244 | 0,166 |     |       |
| 70     | 2,17  | 40,2  | 1,39 | 12,4  | 0,96 | 4,8   | 0,72 | 2,31  | 0,55  | 1,21  | 0,439 | 0,69  | 0,356 | 0,41  | 0,247 | 0,17  |     |       |
| 71     | 2,2   | 41,4  | 1,41 | 12,7  | 0,98 | 4,93  | 0,73 | 2,37  | 0,56  | 1,25  | 0,445 | 0,7   | 0,36  | 0,42  | 0,25  | 0,175 |     |       |
| 72     | 2,23  | 42,5  | 1,43 | 13,1  | 0,99 | 5,06  | 0,74 | 2,43  | 0,57  | 1,28  | 0,45  | 0,72  | 0,366 | 0,43  | 0,254 | 0,179 |     |       |
| 73     | 2,26  | 43,7  | 1,45 | 13,5  | 1    | 5,19  | 0,75 | 2,5   | 0,577 | 1,31  | 0,458 | 0,74  | 0,37  | 0,44  | 0,258 | 0,183 |     |       |
| 74     | 2,3   | 44,9  | 1,47 | 13,8  | 1,02 | 5,32  | 0,76 | 2,56  | 0,585 | 1,34  | 0,46  | 0,76  | 0,376 | 0,45  | 0,26  | 0,188 |     |       |
| 75     | 2,33  | 46,1  | 1,49 | 14,2  | 1,03 | 5,46  | 0,77 | 2,62  | 0,59  | 1,38  | 0,47  | 0,78  | 0,38  | 0,46  | 0,265 | 0,192 |     |       |
| 76     | 2,36  | 47,4  | 1,51 | 14,6  | 1,04 | 5,59  | 0,78 | 2,69  | 0,6   | 1,41  | 0,487 | 0,8   | 0,386 | 0,47  | 0,269 | 0,197 |     |       |
| 77     | 2,39  | 48,6  | 1,53 | 15    | 1,06 | 5,73  | 0,79 | 2,75  | 0,61  | 1,44  | 0,48  | 0,82  | 0,39  | 0,49  | 0,27  | 0,201 |     |       |
| 78     | 2,42  | 49,9  | 1,55 | 15,4  | 1,07 | 5,87  | 0,8  | 2,82  | 0,617 | 1,48  | 0,49  | 0,83  | 0,396 | 0,5   | 0,276 | 0,206 |     |       |
| 79     | 2,45  | 51,2  | 1,57 | 15,8  | 1,09 | 6,01  | 0,81 | 2,89  | 0,62  | 1,51  | 0,495 | 0,85  | 0,4   | 0,51  | 0,279 | 0,21  |     |       |
| 80     | 2,48  | 52,5  | 1,59 | 16,2  | 1,1  | 6,16  | 0,82 | 2,95  | 0,63  | 1,55  | 0,5   | 0,87  | 0,406 | 0,52  | 0,28  | 0,216 |     |       |
| 81     | 2,51  | 53,8  | 1,61 | 16,6  | 1,11 | 6,3   | 0,83 | 3,02  | 0,64  | 1,58  | 0,508 | 0,89  | 0,41  | 0,53  | 0,286 | 0,22  |     |       |
| 82     | 2,54  | 55,2  | 1,63 | 17    | 1,13 | 6,45  | 0,84 | 3,09  | 0,65  | 1,62  | 0,51  | 0,91  | 0,417 | 0,54  | 0,29  | 0,225 |     |       |
| 83     | 2,57  | 56,5  | 1,65 | 17,4  | 1,14 | 6,59  | 0,85 | 3,16  | 0,656 | 1,66  | 0,52  | 0,93  | 0,42  | 0,56  | 0,293 | 0,23  |     |       |
| 84     | 2,61  | 57,9  | 1,67 | 17,8  | 1,15 | 6,74  | 0,86 | 3,23  | 0,66  | 1,69  | 0,527 | 0,95  | 0,427 | 0,57  | 0,297 | 0,235 |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|        | 200   |       | 250  |       | 300  |       | 350  |       | 400   |       | 450   |       | 500   |       | 600   |       | 700 |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V   | 1000i |
| 85     | 2,64  | 59,3  | 1,69 | 18,3  | 1,17 | 6,9   | 0,87 | 3,3   | 0,67  | 1,73  | 0,53  | 0,98  | 0,43  | 0,58  | 0,3   | 0,24  |     |       |
| 86     | 2,67  | 60,7  | 1,71 | 18,7  | 1,18 | 7,05  | 0,88 | 3,38  | 0,68  | 1,77  | 0,539 | 1     | 0,437 | 0,59  | 0,304 | 0,245 |     |       |
| 87     | 2,7   | 62,1  | 1,73 | 19,1  | 1,2  | 7,2   | 0,89 | 3,45  | 0,69  | 1,81  | 0,546 | 1,02  | 0,44  | 0,61  | 0,307 | 0,25  |     |       |
| 88     | 2,73  | 63,5  | 1,75 | 19,6  | 1,21 | 7,34  | 0,9  | 3,52  | 0,696 | 1,84  | 0,55  | 1,04  | 0,447 | 0,62  | 0,31  | 0,255 |     |       |
| 89     | 2,76  | 65    | 1,77 | 20    | 1,22 | 7,51  | 0,91 | 3,6   | 0,7   | 1,88  | 0,558 | 1,06  | 0,45  | 0,63  | 0,315 | 0,26  |     |       |
| 90     | 2,79  | 66,4  | 1,79 | 20,5  | 1,24 | 7,68  | 0,92 | 3,67  | 0,71  | 1,92  | 0,56  | 1,08  | 0,457 | 0,64  | 0,318 | 0,266 |     |       |
| 91     | 2,82  | 67,9  | 1,81 | 20,9  | 1,25 | 7,85  | 0,93 | 3,75  | 0,72  | 1,96  | 0,57  | 1,1   | 0,46  | 0,66  | 0,32  | 0,27  |     |       |
| 92     | 2,85  | 69,4  | 1,83 | 21,4  | 1,26 | 8,03  | 0,94 | 3,83  | 0,73  | 2     | 0,577 | 1,13  | 0,467 | 0,67  | 0,325 | 0,276 |     |       |
| 93     | 2,88  | 71    | 1,85 | 21,9  | 1,28 | 8,2   | 0,95 | 3,9   | 0,74  | 2,04  | 0,58  | 1,15  | 0,47  | 0,68  | 0,329 | 0,28  |     |       |
| 94     | 2,92  | 72,5  | 1,87 | 22,3  | 1,29 | 8,38  | 0,96 | 3,98  | 0,743 | 2,08  | 0,589 | 1,17  | 0,478 | 0,7   | 0,33  | 0,287 |     |       |
| 95     | 2,95  | 74    | 1,89 | 22,8  | 1,31 | 8,56  | 0,97 | 4,06  | 0,75  | 2,12  | 0,596 | 1,19  | 0,48  | 0,71  | 0,336 | 0,29  |     |       |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 250   |       | 300  |       | 350  |       | 400   |       | 450   |       | 500   |       | 600   |       | 700   |       | 800   |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 96     | 1,91  | 23,3  | 1,32 | 8,74  | 0,98 | 4,14  | 0,76  | 2,16  | 0,6   | 1,22  | 0,488 | 0,72  | 0,339 | 0,298 | 0,25  | 0,142 |       |       |
| 97     | 1,93  | 23,8  | 1,38 | 8,92  | 0,99 | 4,22  | 0,767 | 2,2   | 0,608 | 1,24  | 0,49  | 0,74  | 0,34  | 0,3   | 0,252 | 0,145 |       |       |
| 98     | 1,95  | 24,3  | 1,35 | 9,11  | 1    | 4,3   | 0,77  | 2,25  | 0,615 | 1,26  | 0,498 | 0,75  | 0,346 | 0,309 | 0,255 | 0,147 |       |       |
| 99     | 1,97  | 24,8  | 1,36 | 9,29  | 1,02 | 4,39  | 0,78  | 2,29  | 0,62  | 1,29  | 0,5   | 0,76  | 0,35  | 0,315 | 0,258 | 0,15  | 0,197 | 0,078 |
| 100    | 1,99  | 25,3  | 1,37 | 9,48  | 1,03 | 4,47  | 0,79  | 2,33  | 0,63  | 1,31  | 0,51  | 0,78  | 0,353 | 0,32  | 0,26  | 0,153 | 0,199 | 0,080 |
| 102    | 2,03  | 26,3  | 1,4  | 9,87  | 1,05 | 4,64  | 0,81  | 2,42  | 0,64  | 1,36  | 0,52  | 0,81  | 0,36  | 0,33  | 0,265 | 0,158 | 0,2   | 0,083 |
| 104    | 2,07  | 27,3  | 1,43 | 10,3  | 1,07 | 4,81  | 0,82  | 2,51  | 0,65  | 1,41  | 0,53  | 0,84  | 0,368 | 0,34  | 0,27  | 0,16  | 0,207 | 0,086 |
| 106    | 2,11  | 28,4  | 1,46 | 10,7  | 1,09 | 4,98  | 0,84  | 2,6   | 0,66  | 1,46  | 0,54  | 0,86  | 0,375 | 0,356 | 0,276 | 0,169 | 0,21  | 0,089 |
| 108    | 2,15  | 29,5  | 1,48 | 11,1  | 1,11 | 5,16  | 0,85  | 2,69  | 0,68  | 1,51  | 0,55  | 0,89  | 0,38  | 0,368 | 0,28  | 0,175 | 0,215 | 0,091 |
| 110    | 2,18  | 30,6  | 1,51 | 11,5  | 1,13 | 5,34  | 0,87  | 2,78  | 0,69  | 1,56  | 0,56  | 0,93  | 0,389 | 0,38  | 0,286 | 0,18  | 0,219 | 0,094 |
| 112    | 2,23  | 31,7  | 1,54 | 11,9  | 1,15 | 5,52  | 0,89  | 2,87  | 0,7   | 1,61  | 0,57  | 0,96  | 0,396 | 0,39  | 0,29  | 0,187 | 0,22  | 0,098 |
| 114    | 2,27  | 32,8  | 1,57 | 12,3  | 1,17 | 5,71  | 0,9   | 2,97  | 0,71  | 1,67  | 0,58  | 0,99  | 0,4   | 0,406 | 0,297 | 0,19  | 0,227 | 0,101 |
| 116    | 2,31  | 34    | 1,59 | 12,8  | 1,19 | 5,9   | 0,92  | 3,07  | 0,73  | 1,72  | 0,59  | 1,02  | 0,41  | 0,418 | 0,3   | 0,199 | 0,23  | 0,104 |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 250   |       | 300  |       | 350  |       | 400  |       | 450  |       | 500  |       | 600   |       | 700   |       | 800   |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 118    | 2,35  | 35,2  | 1,62 | 13,2  | 1,21 | 6,08  | 0,93 | 3,17  | 0,74 | 1,78  | 0,6  | 1,05  | 0,417 | 0,43  | 0,307 | 0,205 | 0,235 | 0,107 |
| 120    | 2,39  | 36,4  | 1,65 | 13,7  | 1,23 | 6,28  | 0,95 | 3,27  | 0,75 | 1,83  | 0,61 | 1,08  | 0,42  | 0,445 | 0,31  | 0,21  | 0,239 | 0,110 |
| 122    | 2,43  | 37,6  | 1,68 | 14,4  | 1,25 | 6,5   | 0,96 | 3,37  | 0,77 | 1,89  | 0,62 | 1,12  | 0,43  | 0,458 | 0,318 | 0,217 | 0,24  | 0,113 |
| 124    | 2,47  | 38,9  | 1,7  | 14,6  | 1,27 | 6,71  | 0,98 | 3,47  | 0,78 | 1,95  | 0,63 | 1,15  | 0,438 | 0,47  | 0,32  | 0,22  | 0,247 | 0,117 |
| 126    | 2,51  | 40,1  | 1,73 | 15,1  | 1,29 | 6,93  | 1    | 3,58  | 0,79 | 2     | 0,64 | 1,18  | 0,445 | 0,486 | 0,328 | 0,23  | 0,25  | 0,120 |
| 128    | 2,55  | 41,4  | 1,76 | 15,5  | 1,31 | 7,15  | 1,01 | 3,68  | 0,8  | 2,06  | 0,65 | 1,22  | 0,45  | 0,5   | 0,33  | 0,237 | 0,255 | 0,123 |
| 130    | 2,59  | 42,7  | 1,79 | 16    | 1,33 | 7,38  | 1,03 | 3,79  | 0,82 | 2,12  | 0,66 | 1,25  | 0,459 | 0,51  | 0,338 | 0,24  | 0,259 | 0,127 |
| 132    | 2,63  | 44    | 1,81 | 16,5  | 1,35 | 7,6   | 1,04 | 3,9   | 0,83 | 2,18  | 0,67 | 1,29  | 0,467 | 0,528 | 0,34  | 0,25  | 0,26  | 0,130 |
| 134    | 2,67  | 45,4  | 1,84 | 17    | 1,37 | 7,84  | 1,06 | 4,01  | 0,84 | 2,24  | 0,68 | 1,33  | 0,47  | 0,54  | 0,349 | 0,257 | 0,267 | 0,134 |
| 136    | 2,71  | 46,7  | 1,87 | 17,5  | 1,39 | 8,07  | 1,08 | 4,12  | 0,85 | 2,31  | 0,69 | 1,36  | 0,48  | 0,56  | 0,35  | 0,26  | 0,27  | 0,137 |
| 138    | 2,75  | 48,1  | 1,9  | 18,1  | 1,41 | 8,31  | 1,09 | 4,24  | 0,87 | 2,37  | 0,7  | 1,4   | 0,488 | 0,57  | 0,359 | 0,27  | 0,275 | 0,141 |
| 140    | 2,78  | 49,5  | 1,92 | 18,6  | 1,44 | 8,55  | 1,11 | 4,35  | 0,88 | 2,43  | 0,71 | 1,44  | 0,495 | 0,59  | 0,364 | 0,278 | 0,279 | 0,145 |
| 142    | 2,82  | 51    | 1,95 | 19,1  | 1,46 | 8,8   | 1,12 | 4,47  | 0,89 | 2,5   | 0,72 | 1,48  | 0,5   | 6     | 0,37  | 0,285 | 0,28  | 0,148 |
| 144    | 0,86  | 52,4  | 1,98 | 19,7  | 1,48 | 9,05  | 1,14 | 4,59  | 0,9  | 2,56  | 0,73 | 1,51  | 0,509 | 0,62  | 0,375 | 0,29  | 0,287 | 0,152 |
| 146    | 2,9   | 53,9  | 2,01 | 20,2  | 1,5  | 9,3   | 1,15 | 4,71  | 0,92 | 2,63  | 0,74 | 1,55  | 0,515 | 0,63  | 0,38  | 0,3   | 0,29  | 0,156 |
| 148    | 0,94  | 55,4  | 2,03 | 20,8  | 1,52 | 9,56  | 1,17 | 4,83  | 0,93 | 2,7   | 0,75 | 1,59  | 0,52  | 0,65  | 0,385 | 0,307 | 0,295 | 0,160 |
| 150    | 0,98  | 56,9  | 2,06 | 21,3  | 1,54 | 9,82  | 1,19 | 4,95  | 0,94 | 2,77  | 0,76 | 1,63  | 0,53  | 0,67  | 0,39  | 0,31  | 0,299 | 0,163 |
| 152    |       |       | 2,09 | 21,9  | 1,56 | 10,1  | 1,2  | 5,06  | 0,95 | 2,83  | 0,77 | 1,67  | 0,537 | 0,68  | 0,395 | 0,32  | 0,3   | 0,167 |
| 154    |       |       | 2,12 | 22,5  | 1,58 | 10,4  | 1,22 | 5,2   | 0,97 | 2,9   | 0,78 | 1,71  | 0,54  | 0,7   | 0,4   | 0,329 | 0,307 | 0,171 |
| 156    |       |       | 2,14 | 23,1  | 1,6  | 10,6  | 1,23 | 5,33  | 0,98 | 2,97  | 0,79 | 1,75  | 0,55  | 0,71  | 0,406 | 0,337 | 0,31  | 0,175 |
| 158    |       |       | 2,17 | 23,7  | 1,62 | 10,9  | 1,25 | 5,47  | 0,99 | 3,05  | 0,8  | 1,8   | 0,558 | 0,73  | 0,41  | 0,34  | 0,314 | 0,179 |
| 160    |       |       | 2,2  | 24,3  | 1,64 | 11,2  | 1,27 | 5,61  | 1    | 3,12  | 0,81 | 1,84  | 0,566 | 0,75  | 0,416 | 0,35  | 0,318 | 0,183 |
| 162    |       |       | 2,23 | 24,9  | 1,66 | 11,5  | 1,28 | 5,75  | 1,02 | 3,19  | 0,82 | 1,88  | 0,57  | 0,77  | 0,42  | 0,36  | 0,32  | 0,187 |
| 164    |       |       | 2,25 | 25,5  | 1,68 | 11,7  | 1,3  | 5,9   | 1,03 | 3,27  | 0,83 | 1,92  | 0,58  | 0,78  | 0,427 | 0,37  | 0,326 | 0,192 |
| 166    |       |       | 2,28 | 26,1  | 1,7  | 12    | 1,31 | 6,04  | 1,04 | 3,34  | 0,84 | 1,97  | 0,587 | 0,8   | 0,43  | 0,38  | 0,33  | 0,196 |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 300   |       | 350  |       | 400  |       | 450  |       | 500  |       | 600   |       | 700   |       | 800   |       | 900   |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 168    | 2,31  | 26,8  | 1,72 | 12,3  | 1,33 | 6,19  | 1,05 | 3,42  | 0,85 | 2,01  | 0,59  | 0,82  | 0,437 | 0,385 | 0,334 | 0,2   | 0,265 | 0,113 |
| 170    | 2,34  | 27,4  | 1,74 | 12,6  | 1,34 | 6,33  | 1,07 | 3,5   | 0,86 | 2,06  | 0,6   | 0,84  | 0,44  | 0,39  | 0,338 | 0,204 | 0,265 | 0,116 |
| 172    | 2,36  | 28,1  | 1,76 | 12,9  | 1,36 | 6,48  | 1,08 | 3,57  | 0,87 | 2,1   | 0,608 | 0,85  | 0,448 | 0,4   | 0,34  | 0,209 | 0,27  | 0,118 |
| 174    | 2,39  | 28,7  | 1,78 | 13,2  | 1,38 | 6,64  | 1,09 | 3,65  | 0,88 | 2,15  | 0,615 | 0,87  | 0,45  | 0,41  | 0,346 | 0,213 | 0,274 | 0,121 |
| 176    | 2,42  | 29,4  | 1,8  | 13,5  | 1,39 | 6,79  | 1,1  | 3,72  | 0,89 | 2,19  | 0,62  | 0,89  | 0,458 | 0,42  | 0,35  | 0,217 | 0,277 | 0,123 |
| 178    | 2,45  | 30    | 1,82 | 13,8  | 1,41 | 6,94  | 1,12 | 3,8   | 0,9  | 2,24  | 0,629 | 0,91  | 0,46  | 0,43  | 0,35  | 0,22  | 0,28  | 0,126 |
| 180    | 2,47  | 30,7  | 1,85 | 14,1  | 1,42 | 7,1   | 1,13 | 3,88  | 0,91 | 2,28  | 0,636 | 0,93  | 0,469 | 0,44  | 0,358 | 0,226 | 0,283 | 0,128 |
| 182    | 2,5   | 31,4  | 1,87 | 14,5  | 1,44 | 7,26  | 1,14 | 3,97  | 0,92 | 2,33  | 0,64  | 0,95  | 0,47  | 0,445 | 0,36  | 0,23  | 0,287 | 0,131 |
| 184    | 2,53  | 32,1  | 1,89 | 14,8  | 1,45 | 7,42  | 1,15 | 4,05  | 0,93 | 2,38  | 0,65  | 0,97  | 0,479 | 0,45  | 0,366 | 0,235 | 0,29  | 0,133 |
| 186    | 2,56  | 32,8  | 1,91 | 15,1  | 1,47 | 7,58  | 1,17 | 4,13  | 0,95 | 2,43  | 0,657 | 0,98  | 0,48  | 0,46  | 0,37  | 0,24  | 0,293 | 0,136 |
| 188    | 2,58  | 33,5  | 1,93 | 15,4  | 1,49 | 7,75  | 1,18 | 4,21  | 0,96 | 2,48  | 0,66  | 1     | 0,489 | 0,47  | 0,374 | 0,245 | 0,296 | 0,138 |
| 190    | 2,61  | 34,2  | 1,95 | 15,8  | 1,5  | 7,91  | 1,19 | 4,3   | 0,97 | 2,53  | 0,67  | 1,02  | 0,495 | 0,48  | 0,378 | 0,249 | 0,299 | 0,141 |
| 192    | 2,64  | 35    | 1,97 | 16,1  | 1,52 | 8,08  | 1,2  | 4,37  | 0,98 | 2,58  | 0,679 | 1,04  | 0,5   | 0,49  | 0,38  | 0,25  | 0,3   | 0,144 |
| 194    | 2,67  | 35,7  | 1,99 | 16,4  | 1,53 | 8,25  | 1,22 | 4,46  | 0,99 | 2,63  | 0,686 | 1,06  | 0,505 | 0,5   | 0,386 | 0,259 | 0,305 | 0,146 |
| 196    | 2,69  | 36,4  | 2,01 | 16,8  | 1,55 | 8,42  | 1,23 | 4,56  | 1    | 2,68  | 0,69  | 1,08  | 0,51  | 0,51  | 0,39  | 0,26  | 0,309 | 0,149 |
| 198    | 2,72  | 37,2  | 2,03 | 17,1  | 1,57 | 8,59  | 1,24 | 4,65  | 1,01 | 2,73  | 0,7   | 1,1   | 0,515 | 0,52  | 0,394 | 0,268 | 0,31  | 0,152 |
| 200    | 2,75  | 37,9  | 2,05 | 17,5  | 1,58 | 8,77  | 1,25 | 4,74  | 1,02 | 2,78  | 0,707 | 1,12  | 0,52  | 0,53  | 0,398 | 0,27  | 0,315 | 0,154 |
| 202    | 2,78  | 38,7  | 2,07 | 17,8  | 1,6  | 8,94  | 1,27 | 4,84  | 1,03 | 2,83  | 0,71  | 1,15  | 0,526 | 0,54  | 0,4   | 0,278 | 0,318 | 0,157 |
| 204    | 2,8   | 39,5  | 2,09 | 18,2  | 1,61 | 9,12  | 1,28 | 4,94  | 1,04 | 2,88  | 0,72  | 1,17  | 0,53  | 0,55  | 0,406 | 0,28  | 0,32  | 0,16  |
| 206    | 2,83  | 40,2  | 2,11 | 18,5  | 1,63 | 9,3   | 1,29 | 5,03  | 1,05 | 2,94  | 0,728 | 1,19  | 0,536 | 0,56  | 0,41  | 0,288 | 0,324 | 0,163 |
| 208    | 2,86  | 41    | 2,13 | 18,9  | 1,64 | 9,48  | 1,3  | 5,13  | 1,06 | 2,99  | 0,735 | 1,21  | 0,54  | 0,57  | 0,414 | 0,29  | 0,328 | 0,166 |
| 210    | 2,89  | 41,8  | 2,15 | 19,2  | 1,66 | 9,67  | 1,32 | 5,23  | 1,07 | 3,04  | 0,74  | 1,23  | 0,547 | 0,58  | 0,418 | 0,298 | 0,33  | 0,168 |
| 212    | 2,91  | 42,6  | 2,17 | 19,6  | 1,68 | 9,85  | 1,33 | 5,33  | 1,08 | 3,1   | 0,749 | 1,25  | 0,55  | 0,59  | 0,42  | 0,3   | 0,334 | 0,171 |
| 214    | 2,94  | 43,4  | 2,19 | 20    | 1,69 | 10    | 1,34 | 5,43  | 10,9 | 3,15  | 0,756 | 1,27  | 0,557 | 0,6   | 0,426 | 0,309 | 0,337 | 0,174 |
| 216    | 2,97  | 44,2  | 2,21 | 20,4  | 1,71 | 10,2  | 1,35 | 5,53  | 1,1  | 3,21  | 0,76  | 1,3   | 0,56  | 0,61  | 0,43  | 0,31  | 0,34  | 0,177 |
| 218    |       |       | 2,24 | 20,7  | 1,72 | 10,4  | 1,37 | 5,64  | 1,11 | 3,26  | 0,77  | 1,32  | 0,567 | 0,62  | 0,434 | 0,319 | 0,342 | 0,18  |
| 220    |       |       | 2,26 | 21,1  | 1,74 | 10,6  | 1,38 | 5,74  | 1,12 | 3,32  | 0,78  | 1,34  | 0,57  | 0,63  | 0,438 | 0,32  | 0,346 | 0,183 |
| 222    |       |       | 2,28 | 21,5  | 1,76 | 10,8  | 1,39 | 5,85  | 1,13 | 3,38  | 0,785 | 1,36  | 0,578 | 0,64  | 0,44  | 0,33  | 0,35  | 0,186 |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 300   |       | 350  |       | 400  |       | 450  |       | 500  |       | 600  |       | 700   |       | 800   |       | 900   |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 224    |       |       | 2,3  | 21,9  | 1,77 | 11    | 1,4  | 5,95  | 1,14 | 3,43  | 0,79 | 1,39  | 0,58  | 0,65  | 0,446 | 0,335 | 0,353 | 0,189 |
| 226    |       |       | 2,32 | 22,3  | 1,79 | 11,2  | 1,42 | 6,06  | 1,15 | 3,49  | 0,8  | 1,41  | 0,588 | 0,66  | 0,45  | 0,34  | 0,356 | 0,19  |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 350   |       | 400  |       | 450  |       | 500  |       | 600   |       | 700   |       | 800   |       | 900   |       | 1000  |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 228    | 2,34  | 22,7  | 1,8  | 11,4  | 1,43 | 6,17  | 1,16 | 3,55  | 0,806 | 1,43  | 0,59  | 0,67  | 0,454 | 0,346 | 0,359 | 0,195 | 0,29  | 0,117 |
| 230    | 2,36  | 23,1  | 1,82 | 11,6  | 1,44 | 6,27  | 1,17 | 3,61  | 0,81  | 1,45  | 0,599 | 0,68  | 0,458 | 0,35  | 0,36  | 0,198 | 0,294 | 0,119 |
| 232    | 2,38  | 23,5  | 1,83 | 11,8  | 1,45 | 6,38  | 1,18 | 3,67  | 0,82  | 1,48  | 0,6   | 0,69  | 0,46  | 0,357 | 0,365 | 0,2   | 0,296 | 0,121 |
| 234    | 2,4   | 23,9  | 1,85 | 12    | 1,47 | 6,49  | 1,19 | 3,73  | 0,827 | 1,5   | 0,609 | 0,7   | 0,466 | 0,36  | 0,368 | 0,204 | 0,299 | 0,123 |
| 236    | 2,42  | 24,3  | 1,87 | 12,2  | 1,48 | 6,61  | 1,2  | 3,79  | 0,83  | 1,53  | 0,61  | 0,71  | 0,47  | 0,368 | 0,37  | 0,207 | 0,3   | 0,125 |
| 238    | 2,44  | 24,7  | 1,88 | 12,4  | 1,49 | 6,72  | 1,21 | 3,84  | 0,84  | 1,55  | 0,619 | 0,72  | 0,474 | 0,376 | 0,375 | 0,21  | 0,304 | 0,126 |
| 240    | 2,46  | 25,1  | 1,9  | 12,6  | 1,51 | 6,83  | 1,22 | 3,9   | 0,85  | 1,57  | 0,625 | 0,74  | 0,478 | 0,379 | 0,378 | 0,214 | 0,307 | 0,128 |
| 242    | 2,48  | 25,6  | 1,91 | 12,8  | 1,52 | 6,95  | 1,23 | 3,97  | 0,855 | 1,6   | 0,63  | 0,75  | 0,48  | 0,385 | 0,38  | 0,217 | 0,309 | 0,13  |
| 244    | 2,5   | 26    | 1,93 | 13    | 1,53 | 7,06  | 1,24 | 4,03  | 0,86  | 1,62  | 0,635 | 0,76  | 0,486 | 0,39  | 0,384 | 0,22  | 0,31  | 0,132 |
| 246    | 2,52  | 26,4  | 1,94 | 13,3  | 1,54 | 7,18  | 1,25 | 4,1   | 0,87  | 1,65  | 0,64  | 0,77  | 0,49  | 0,397 | 0,387 | 0,223 | 0,314 | 0,134 |
| 248    | 2,54  | 26,8  | 1,96 | 13,5  | 1,56 | 7,29  | 1,26 | 4,17  | 0,877 | 1,67  | 0,646 | 0,76  | 0,494 | 0,4   | 0,39  | 0,227 | 0,317 | 0,136 |
| 250    | 2,56  | 27,3  | 1,98 | 13,7  | 1,57 | 7,41  | 1,27 | 4,24  | 0,88  | 1,7   | 0,65  | 0,79  | 0,498 | 0,408 | 0,394 | 0,23  | 0,319 | 0,138 |
| 252    | 2,58  | 27,7  | 1,99 | 13,9  | 1,58 | 7,53  | 1,28 | 4,36  | 0,89  | 1,72  | 0,656 | 0,8   | 0,5   | 0,41  | 0,397 | 0,233 | 0,32  | 0,14  |
| 254    | 2,6   | 28,2  | 2,01 | 14,1  | 1,59 | 7,65  | 1,29 | 4,37  | 0,9   | 1,75  | 0,66  | 0,82  | 0,506 | 0,42  | 0,4   | 0,237 | 0,324 | 0,142 |
| 256    | 2,62  | 28,6  | 2,02 | 14,4  | 1,61 | 7,77  | 1,3  | 4,44  | 0,905 | 1,77  | 0,666 | 0,83  | 0,51  | 0,426 | 0,403 | 0,24  | 0,327 | 0,144 |
| 258    | 2,65  | 29    | 2,04 | 14,6  | 1,62 | 7,89  | 1,31 | 4,51  | 0,91  | 1,8   | 0,67  | 0,84  | 0,514 | 0,43  | 0,406 | 0,243 | 0,33  | 0,146 |
| 260    | 2,67  | 29,5  | 2,06 | 14,8  | 1,63 | 8,02  | 1,32 | 4,58  | 0,92  | 1,82  | 0,68  | 0,85  | 0,518 | 0,44  | 0,409 | 0,247 | 0,332 | 0,148 |
| 264    | 2,71  | 30,4  | 2,09 | 15,3  | 1,66 | 8,27  | 1,34 | 4,72  | 0,93  | 1,88  | 0,69  | 0,88  | 0,525 | 0,45  | 0,416 | 0,25  | 0,337 | 0,15  |
| 268    | 2,75  | 31,3  | 2,12 | 15,7  | 1,68 | 8,52  | 1,36 | 4,87  | 0,95  | 1,93  | 0,7   | 0,9   | 0,53  | 0,46  | 0,42  | 0,26  | 0,34  | 0,156 |
| 272    | 2,79  | 32,2  | 2,15 | 16,2  | 1,71 | 8,77  | 1,38 | 5,01  | 0,96  | 1,98  | 0,71  | 0,92  | 0,54  | 0,48  | 0,428 | 0,268 | 0,347 | 0,16  |
| 276    | 2,83  | 33,2  | 2,18 | 16,7  | 1,73 | 9,03  | 1,4  | 5,16  | 0,98  | 2,04  | 0,72  | 0,95  | 0,549 | 0,49  | 0,435 | 0,275 | 0,35  | 0,165 |
| 280    | 2,87  | 34,2  | 2,21 | 17,2  | 1,76 | 9,3   | 1,42 | 5,31  | 0,99  | 2,09  | 0,73  | 0,98  | 0,557 | 0,5   | 0,44  | 0,28  | 0,358 | 0,169 |

| q, л/с | D, мм |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 350   |       | 400  |       | 450  |       | 500  |       | 600  |       | 700  |       | 800   |       | 900   |       | 1000  |       |
|        | V     | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V    | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i | V     | 1000i |
| 284    | 2,91  | 35,2  | 2,25 | 17,7  | 1,78 | 9,57  | 1,44 | 5,47  | 1    | 2,15  | 0,74 | 1     | 0,565 | 0,51  | 0,447 | 0,289 | 0,36  | 0,17  |
| 288    | 2,95  | 36,2  | 2,28 | 18,2  | 1,81 | 9,84  | 1,46 | 5,62  | 1,02 | 2,21  | 0,75 | 1,03  | 0,57  | 0,53  | 0,45  | 0,297 | 0,368 | 0,178 |
| 292    | 2,99  | 37,2  | 2,31 | 18,7  | 1,83 | 10,1  | 1,48 | 5,78  | 1,03 | 2,26  | 0,76 | 1,05  | 0,58  | 0,54  | 0,46  | 0,3   | 0,37  | 0,18  |
| 296    | 3,03  | 38,2  | 2,34 | 19,2  | 1,86 | 10,4  | 1,5  | 5,94  | 1,05 | 2,32  | 0,77 | 1,08  | 0,589 | 0,56  | 0,465 | 0,31  | 0,378 | 0,187 |
| 300    |       |       | 2,37 | 19,7  | 1,88 | 10,7  | 1,52 | 6,1   | 1,06 | 2,33  | 0,78 | 1,11  | 0,597 | 0,57  | 0,47  | 0,319 | 0,38  | 0,19  |
| 304    |       |       | 2,4  | 20,3  | 1,91 | 11    | 1,54 | 6,26  | 1,07 | 2,44  | 0,79 | 1,13  | 0,605 | 0,58  | 0,479 | 0,327 | 0,388 | 0,196 |
| 308    |       |       | 2,44 | 20,8  | 1,93 | 11,3  | 1,56 | 6,43  | 1,09 | 2,5   | 0,8  | 1,16  | 0,61  | 0,6   | 0,485 | 0,335 | 0,39  | 0,2   |
| 312    |       |       | 2,47 | 21,3  | 1,96 | 11,5  | 1,59 | 6,6   | 1,1  | 2,56  | 0,81 | 1,19  | 0,62  | 0,61  | 0,49  | 0,34  | 0,4   | 0,205 |
| 316    |       |       | 2,5  | 21,9  | 1,98 | 11,8  | 1,61 | 6,77  | 1,12 | 2,62  | 0,82 | 1,22  | 0,629 | 0,63  | 0,498 | 0,35  | 0,404 | 0,21  |
| 320    |       |       | 2,53 | 22,4  | 2,01 | 12,1  | 1,63 | 6,94  | 1,13 | 2,69  | 0,83 | 1,25  | 0,637 | 0,64  | 0,5   | 0,359 | 0,409 | 0,215 |
| 324    |       |       | 2,56 | 23    | 2,03 | 12,5  | 1,65 | 7,11  | 1,15 | 2,75  | 0,84 | 1,28  | 0,645 | 0,66  | 0,51  | 0,367 | 0,41  | 0,219 |
| 328    |       |       | 2,59 | 23,6  | 2,06 | 12,8  | 1,67 | 7,29  | 1,16 | 2,81  | 0,85 | 1,31  | 0,65  | 0,67  | 0,517 | 0,375 | 0,419 | 0,22  |

*Учебное издание*

Составитель

Ольга Сергеевна СОФИНСКАЯ

ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности 1–70 04 03

«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Редактор О.П. Михайлова

---

Подписано в печать 30.09.04 Формат 60x84 1/16 Гарнитура Таймс. Бумага офисная.  
Отпечатано на ризографе Усл. печ. л. 10,44 Уч.-изд. л. 10,12 Тираж 60 Заказ

---

Издатель и полиграфическое исполнение  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29