

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»

Кафедра «Путь и путевое хозяйство»

Т.А. ЛУПИНА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение»

Москва – 2017

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»

Кафедра «Путь и путевое хозяйство»

Т.А. ЛУПИНА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 23.05.06 «Строительство  
железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

Москва – 2017

УДК 628.1

Л 85

**Лупина Т.А. Проектирование и расчеты систем водоснабжения: Учебно-методическое пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 39 с.**

*Учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение» разработано в помощь студентам специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей / Строительство магистральных железных дорог / Управление техническим состоянием железнодорожного пути» Института пути, строительства и сооружений. Предлагаемое учебно-методическое пособие посвящено освоению основ проектирования и расчетов систем водоснабжения, содержит методику, пояснения и справочные материалы, необходимые при проектировании, что позволяет студентам получить в одном издании всю требующуюся для расчетов информацию и существенно сокращает затраты труда.*

*Данное учебно-методическое пособие может быть использовано при проектировании систем водоснабжения на железных дорогах.*

Рис. 4, табл. 6, библиогр. назв. 5.

Рецензент:

Главный инженер института «Гипротранспуть» - филиала АО «Росжелдорпроект» А.Ю. Малафеев

## Введение

Данное учебно-методическое пособие разработано в помощь студентам при выполнении лабораторных работ, посвященных освоению основ проектирования и расчетов систем водоснабжения на примере водоснабжения железнодорожной станции и населенного пункта.

В настоящем издании изложена известная методика проектирования и расчетов систем водоснабжения [1], все этапы которой должны быть последовательно рассмотрены и выполнены студентами на занятиях применительно к своему варианту задания. Кроме того, в данном учебно-методическом пособии представлены все справочные материалы, необходимые при проектировании, что позволяет студентам получить в одном издании всю требующуюся для расчетов информацию и существенно сокращает затраты труда.

Студент получает исходные данные и план объекта водоснабжения с нанесенными на нем крупными потребителями воды: производственными и хозяйственно-питьевыми. Набор потребителей студенты получают один и тот же: депо, электростанция, компрессорная, завод, пассажирское здание, больница, столовая и баня. Вариант плана и расположение потребителей на плане для каждого студента - индивидуальны. Исходные данные задаются в виде формул, в которых наряду с числовыми коэффициентами фигурирует величина  $N$ , приложение 1. Числовое значение  $N$  задается преподавателем и должно иметь персональное значение для каждого студента.

Результаты проектирования в виде плана объекта с нанесенными на нем разводящей сетью, узлами, водонапорной башней и длинами участков, а также пояснительная записка с расчетами, представленными

подробно, должны быть сданы преподавателю на последнем занятии по данной теме, проверены им и зачтены.

## **1. Расчет водопотребления**

### **1.1. Основные потребители воды и нормы водопотребления**

Железнодорожное водоснабжение предназначено для удовлетворения водой, должного качества и в требуемом количестве, производственных, хозяйственно-питьевых и противопожарных нужд железнодорожных станций и пристанционных поселков.

В нашем случае основными потребителями воды, расходуемой на хозяйственно-питьевые нужды, являются население поселка, рабочие депо и завода, пассажиры, находящиеся в здании вокзала, посетители больницы, бани, столовой. Воду расходуют на питье, приготовление пищи, мытье и стирку белья, уборку помещений, в уборных и душевых. Потребителями воды, расходуемой на производственные нужды, являются электростанция, компрессорная, завод и депо. Воду расходуют на обмывку и промывку вагонов и локомотивов, а также на обеспечение технологических процессов, протекающих на перечисленных предприятиях.

Нормой хозяйственно-питьевого водопотребления называют количество воды, расходуемое данным потребителем за определенный промежуток времени на хозяйственно-питьевые нужды. Количество воды, необходимое для производства единицы продукции промышленным предприятием называется удельной нормой производственного водопотребления. Нормы водопотребления определены СП 31.13330.2012 [2].

Необходимые для расчета нормы водопотребления приведены в приложении 2.

Нормы водопотребления для некоторых потребителей (компрессоры, души) даны за один час их работы или за смену (завод). При определении суточных норм водопотребления для таких потребителей необходимо нормы водопотребления, взятые из нормативного документа, прил.2, умножить на число часов потребления воды этими потребителями в течение суток или число смен.

Норма расхода воды на нужды населения пристанционного поселка зависит от степени его благоустройства (см. исходные данные) и выбирается по таблице в прил.2.

## **1.2. Определение расчетных расходов воды**

Определение расчетных расходов воды является первоочередной задачей проектирования системы водоснабжения любого объекта. Расчетными называют расходы воды, определенные теоретически по нормам водопотребления и числу потребителей.

Потребители расходуют воду на протяжении года и суток весьма неравномерно. Суточные расходы воды населением изменяются в течение года в связи с колебаниями температуры и влажности воздуха, часовые расходы изменяются в течение суток в связи с распорядком жизни населения. Неравномерность производственного водопотребления зависит от технологии производства, типа установленного оборудования, количества смен и др. факторов. Для учета неравномерности водопотребления в расчетах расходов используют коэффициенты суточной и часовой неравномерности соответственно.

Для бесперебойного и полного снабжения водой всех потребителей отдельные сооружения системы водоснабжения рассчитывают исходя из разных расходов воды. Разводящую водопроводную сеть, из которой потребители непосредственно отбирают воду, рассчитывают на подачу максимальных секундных расходов воды  $Q$ . Предваряет определение максимальных секундных расходов расчет суточных расходов воды: средних  $Q_{\text{сут.ср.}}$  и максимальных  $Q_{\text{сут.макс.}}$ . Расчет расходов удобно вести в табличной форме, прил.2.

### 1.2.1. Определение суточных расходов воды

Обычно расчетные суточные расходы воды определяют отдельно для каждой категории водопотребителей.

#### Для производственных потребителей

Сначала рассчитывают максимальные суточные расходы по формуле

$$Q_{\text{сут.макс.}} = q_n \cdot n, \quad (1)$$

где  $q_n$  - норма водопотребления на одного потребителя, м<sup>3</sup>/сутки;

$n$  - количество потребителей.

Затем определяют средние суточные расходы

$$Q_{\text{сут.ср.}} = \frac{Q_{\text{сут.макс.}}}{K_{\text{сут}}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{сут}}$  – коэффициент суточной неравномерности.

Необходимые для расчета значения коэффициентов суточной неравномерности принимаются по [2], прил.2.

## Для хозяйственно-питьевых потребителей

Вначале определяют средние суточные расходы

$$Q_{\text{сут.ср.}} = q_n \cdot n, \quad (3)$$

а затем максимальные суточные расходы

$$Q_{\text{сут.макс.}} = Q_{\text{сут.ср.}} \cdot K_{\text{сут.}} \quad (4)$$

Коэффициенты суточной неравномерности хозяйственно-питьевого водопотребления  $K_{\text{сут.}}$  зависят от уклада жизни населения, режима работы предприятий, обслуживающих население, степени благоустройства зданий, изменения водопотребления по сезонам года и дням недели и ряда других факторов. Необходимые для расчета значения этих коэффициентов принимаются по [2], прил.2.

Чтобы рассчитать средний суточный расход при работе душей в депо необходимо сначала уточнить суточную норму водопотребления и количество потребителей – число душевых сеток.

В прил.2 представлена норма водопотребления за один час работы душей. Рабочие в депо душем пользуются по окончании работы после каждой смены. По санитарным нормам проектирования промышленных предприятий время работы душей в бытовых помещениях предприятий равно 45 минут после каждой смены, что составляет 0.75 часа. Умножая эту цифру на число смен, прил.1, определяют время водопотребления, ч/сутки. Для определения суточной нормы водопотребления остается время водопотребления умножить на норму водопотребления за один час работы душей.

Число душевых сеток в депо определяется по СП 2.2.1.1312 - 03 [3] в зависимости от группы производственного процесса и количества людей, пользующихся одной душевой сеткой. Работа в депо может быть отнесена к группе 1 «в» - загрязнение одежды, рук, тела, при которой одной душевой сеткой пользуются 7 человек.



Тогда число душевых сеток составит

$$n_{д.с} = \frac{n_{раб}}{n_{раб.д}}, \quad (5)$$

где  $n_{д.с}$  - количество душевых сеток;

$n_{раб}$  - количество рабочих в одной смене, пользующихся душем, прил.1;

$n_{раб.д}$  - количество рабочих, пользующихся одной душевой сеткой.

Определение суточных расходов воды по каждому потребителю должно производиться с точностью до 0.1 м<sup>3</sup>/сут.

### 1.2.2. Определение максимальных секундных расходов воды

Секундные расходы воды  $Q$  для гидравлического расчета разводящей сети определяют для каждого потребителя в отдельности в час и сутки наибольшего водопотребления

$$Q = \frac{Q_{сут.макс} \cdot K_{ч} \cdot 1000}{T \cdot 3600}, \text{ л/с} \quad (6)$$

где  $Q_{сут.макс}$  - максимальный суточный расход воды данным потребителем, м<sup>3</sup>/сутки;

$K_{ч}$  - коэффициент часовой неравномерности;

$T$  - время потребления воды данным потребителем, ч/сутки.

Коэффициенты часовой неравномерности  $K_{ч}$  учитывают неравномерность расходования воды потребителями в различные часы суток и зависят от рода потребителя. Для расчета значения коэффициентов часовой неравномерности принимаются по [2], прил.2.

Коэффициенты часовой неравномерности производственного водопотребления устанавливаются технологическим проектом предприятия.

Для населенных пунктов коэффициенты часовой неравномерности определяют по формуле

$$K_{\text{ч}} = \alpha \cdot \beta, \quad (7)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы бытовых предприятий и другие факторы. При расчетах максимальных секундных расходов  $\alpha_{\text{макс}} = 1.2 \div 1.4$ ;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий количество жителей в населенном пункте. Определяется  $\beta_{\text{макс}}$  по таблице в прил.3 с помощью интерполяции.

Время водопотребления почти для всех производственных нужд равно времени работы данного промышленного предприятия, которое определяется числом 8-часовых рабочих смен, прил.1. Исключение составляет электростанция, которая функционирует, а, следовательно, и расходует воду 24 часа в сутки. Время работы больницы также составляет 24 часа. Тогда как время работы бани и столовой может быть принято равным от 12 до 15 ч в сутки.

Определение секундных расходов воды по каждому потребителю должно производиться с точностью до 0.1 л/с с округлением в большую сторону.

## **2. Выбор системы и составление схемы водоснабжения**

Небольшие системы водоснабжения, как в нашем случае, обычно проектируются объединенными. При объединенном водоснабжении все хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные нужды удовлетворяются из одной, общей системы. В результате все потребители используют воду одного качества – питьевую.

Водопроводная сеть, из которой предусматривается получение воды для тушения пожаров, должна быть достаточно надежной, т.е. обеспечивать бесперебойную

подачу воды всем потребителям, как при нормальной работе, так и в случае аварии на отдельных участках сети. Этому требованию отвечает кольцевая водопроводная сеть, рис.1. В кольцевой сети благодаря наличию параллельно работающих магистралей авария на любом участке сети не вызывает прекращения подачи воды всем потребителям, кроме питающихся непосредственно от поврежденного участка. Этот участок при помощи задвижек выключают из работы на период ликвидации аварии.

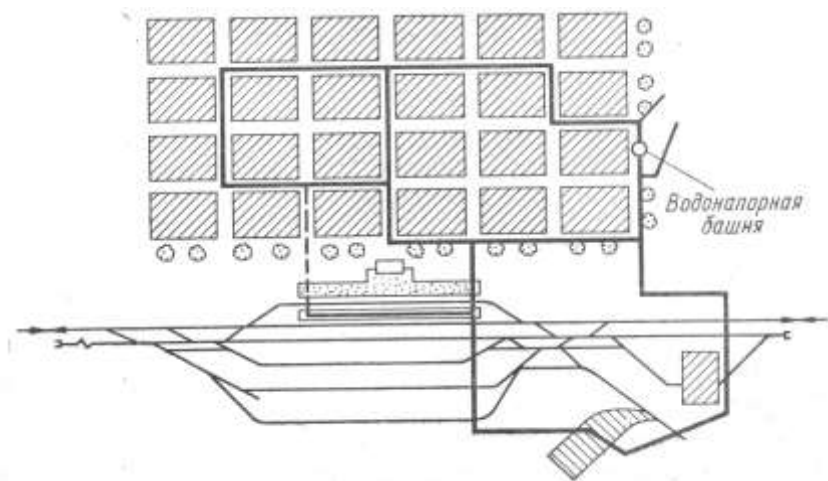


Рисунок 1

## 2.1. Трассирование водопроводной сети

Одной из первоочередных задач, решаемых при проектировании водопроводной сети, является трассирование, т.е. придание сети определенного геометрического начертания в плане. Трассирование разводящей сети зависит от планировки снабжаемого водой объекта, расположения наиболее крупных водопотребителей, рельефа местности,

наличия естественных и искусственных препятствий при прокладке труб и др.

При трассировании кольцевой разводящей сети следует руководствоваться следующими рекомендациями:

Водопроводную сеть следует располагать на территории снабжаемого водой объекта так, чтобы обеспечить подачу воды ко всем потребителям.

Кольца сети вытягивают вдоль основного направления движения воды на территории объекта и располагают возможно ближе к основным потребителям. Число колец продиктовано размером объекта водоснабжения. В нашем случае при имеющемся наборе и расположении потребителей достаточно спроектировать разводящую сеть из двух колец.

Суммарная длина разводящей сети должна быть по возможности наименьшей. Для этого при трассировании следует сокращать путь следования трассы при пересечении территории станции, полосы отвода, пустырей и т.п.

Пересечения водопроводных линий с железнодорожными путями должны осуществляться под прямым углом. Число пересечений и количество одновременно пересекаемых путей должны быть минимальными. Прокладка трубопроводов под стрелочными переводами запрещена.

В междупутьях допускается прокладка водопроводных труб минимальной длины и только к водоразборным кранам.

Водопроводные линии, идущие вдоль станционных путей, следует трассировать в стороне от них с учетом возможного развития станции.

## **2.2. Размещение узлов сети и водонапорного сооружения**

После выполнения трассирования разводящей сети необходимо наметить и пронумеровать узлы сети. Узлами сети называются точки, в которых имеет место изменение значения расхода воды, проходящего по трубам.

Таким образом, узлами являются:

1. соединения трех и более водопроводных линий;
2. точки, из которых получают воду крупные потребители;
3. точки, в которых имеет место изменение условий работы сети.

В нашем примере дважды имеет место соединение трех водопроводных линий в местах замыкания двух колец в единую сеть.

Узлы, из которых будут отбирать воду крупные потребители, следует располагать в непосредственной близости от них. Для питания каждого потребителя достаточно одного узла. Если несколько крупных потребителей располагаются рядом, следует объединять их водоснабжение из одного узла.

Изменение условий работы сети касается только водоснабжения населения. Жилые кварталы могут располагаться вдоль водопроводной линии с одной стороны, с двух сторон, ни с одной стороны (например, при пересечении территории железнодорожной станции или пустыря). Смена этих условий друг другом в любой последовательности должна быть отмечена узлом.

Для сокращения общего количества узлов сети до необходимого минимума следует, по возможности, объединять водоснабжение крупных потребителей и населения.

После того, как были намечены узлы, разбившие всю сеть на участки, необходимо определить длины этих

участков. Длины водопроводных линий, проложенных между соседними узлами, определяют по плану объекта водоснабжения с учетом его масштаба с точностью до 1 м.

Водонапорные сооружения (башни, нагорные резервуары) следует располагать на наиболее высоких отметках местности в непосредственной близости к водопроводной сети и, по возможности, ближе к крупным водопотребителям, а также к районам сети с наибольшими потребными свободными напорами.

В нашем случае рельеф местности будет решающим фактором при выборе местоположения башни. Отметки местности определяют по карте с горизонталями, см. план объекта водоснабжения.

Для упрощения дальнейших расчетов рекомендуется принимать схему с водонапорной башней, расположенной в начале сети.

### **3. Гидравлический расчет разводящей сети**

Гидравлический расчет разводящей сети заключается в распределении расходов воды по участкам сети, определении диаметров труб и потерь напора на ее участках, а также в нахождении величин пьезометрических и свободных напоров во всех узлах сети.

#### **3.1. Составление расчетной схемы водопотребления**

Прежде, чем приступить непосредственно к расчету разводящей сети, необходимо составить расчетную схему водопотребления. Для этого требуется определить расчетные узловыe расходы воды

$$Q_{\text{узн}} = \sum Q_{\text{соср}} + 0.5 \sum Q_{\text{п}}, \text{ л/с} \quad (8)$$

где  $\sum Q_{\text{соср}}$  - сумма секундных расходов крупных потребителей, получающих воду из данного узла сети, для которых были определены максимальные секундные расходы в п.1.2.2;

$\sum Q_{\text{п}}$  - сумма путевых расходов на всех участках сети, примыкающих к данному узлу.

Путевые расходы на отдельных участках заменяют собой большое число мелких водоразборных точек хозяйственно-питьевых водопроводов. При определении  $Q_{\text{п}}$  в расчете участвуют лишь участки сети, из которых вода непосредственно подается в жилые дома (жилые кварталы располагаются с двух или с одной стороны от водопроводной линии на участке). На участках, проходящих по незастроенной территории, вдоль которых жилые кварталы отсутствуют с обеих сторон (территория ж.д. станции, пустыри, парки), путевых расходов не будет.

Таким образом, составление условной расчетной схемы отбора воды из сети хозяйственно-питьевого водопровода сводиться к составлению схемы равномерно распределенных (путевых) и сосредоточенных расходов.

Для определения путевых расходов сначала требуется найти, так называемый удельный расход

$$Q_{\text{уд}} = \frac{Q_{\text{жит}}}{\sum l}, \quad (9)$$

где  $Q_{\text{уд}}$  - секундное количество воды, поступающее в жилые дома с единицы длины разводящей сети, л/с·пог.м;

$Q_{\text{жит}}$  - максимальный секундный расход воды, потребляемый населением, проживающим на территории данного населенного пункта, л/с;

$\sum l$  - суммарная длина фронта домов, расположенных вдоль участков разводящей сети, из которых вода подается в жилые дома, м.

Как уже говорилось выше, жилые кварталы могут располагаться с двух сторон от водопроводной линии на участке. В этом случае необходимо учитывать в расчете суммарную длину фронта домов, получающих воду из водопровода на таком участке. При определении  $\sum l$  длину участков с двусторонней отдачей воды удваивают. Длину участков с односторонней отдачей воды учитывают однократно.

Величины путевых расходов  $Q_{\text{п}}$  находят как произведение удельного расхода  $Q_{\text{уд}}$  на суммарную длину фронта домов, расположенных вдоль рассматриваемого участка разводящей сети  $l$

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{уд}} \cdot l, \text{ л/с.} \quad (10)$$

При определении  $Q_{\text{п}}$  длину участков с двусторонней отдачей воды следует удваивать, а длину участков с односторонней отдачей воды учитывать однократно, как при расчете  $\sum l$ . Определение путевых расходов должно производиться с точностью до 0.1 л/с.

Рассмотрим более детально расчет узловых расходов воды для небольшого фрагмента разводящей сети, рис.2.

На рис.2 заштрихованными прямоугольниками показаны жилые кварталы, крупные водопотребители представлены заводом и баней. Заводские помещения занимают территорию целого квартала. Баня представляет собой отдельное здание внутри жилого квартала, выходящее углом на конкретный перекресток, где и должен быть организован узел, из которого будет осуществляться ее водоснабжение. В нашем примере - это узел 2.

Так как на плане завод и баня расположены рядом, получение ими воды из сети лучше объединить и осуществлять из 2-ого узла сети

$$\sum Q_{\text{соср } 2} = Q_{\text{з}} + Q_{\text{б}},$$



где  $Q_3$  - максимальный секундный расход воды для завода, л/с;

$Q_6$  - максимальный секундный расход воды для бани, л/с.

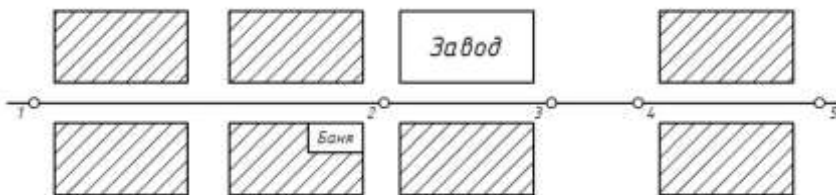


Рисунок 2

Значения максимальных секундных расходов для завода и бани были определены в п.1.2.2.

Путевые расходы в нашем примере будут на участках 1-2, 2-3 и 4-5, т.к. вдоль этих участков расположены жилые кварталы. На участке 3-4 водопроводная линия проходит по незастроенной территории, поэтому путевого расхода здесь не будет.

В результате, суммарная длина фронта домов, расположенных вдоль участков фрагмента сети, из которых вода подается в жилые дома, составит

$$\sum l = 2l_{1-2} + l_{2-3} + 2l_{4-5} + \dots$$

Определив удельный расход, по формуле (10) находим путевые расходы на участках

$$Q_{п1-2} = Q_{уд} \cdot 2l_{1-2},$$

$$Q_{п2-3} = Q_{уд} \cdot l_{2-3},$$

$$Q_{п4-5} = Q_{уд} \cdot 2l_{4-5} \text{ и т.д.}$$

Заменяем путевой расход каждого участка двумя узловыми расходами, равными  $0.5Q_{п}$  и сосредоточенными в

начале и конце участка. При нечетном значении путевого расхода участка один из узловых расходов будет на 0.1 л/с больше, чем другой.

Подсчет расчетных узловых расходов удобно производить в табличной форме, см. табл.1.

Таблица 1

Расчетные узловые расходы

№ узла	Потребители	Расходы, л/с		
		$\Sigma Q_{\text{сопр}}$	$0.5 \Sigma Q_{\text{п}}$	$Q_{\text{узл}}$
1	Население	-	$0.5 Q_{\text{п1-2}}$	$0.5 Q_{\text{п1-2}}$
2	Завод, баня, население	$Q_3 + Q_6$	$0.5 Q_{\text{п1-2}} + 0.5 Q_{\text{п2-3}}$	$Q_3 + Q_6 + 0.5(Q_{\text{п1-2}} + Q_{\text{п2-3}})$
3	Население	-	$0.5 Q_{\text{п2-3}}$	$0.5 Q_{\text{п2-3}}$
4	Население	-	$0.5 Q_{\text{п4-5}}$	$0.5 Q_{\text{п4-5}}$
5	Население	-	$0.5 Q_{\text{п4-5}}$	$0.5 Q_{\text{п4-5}}$
И т о г о:		$\Sigma = \dots$	$\Sigma = \dots$	$\Sigma = \dots$

В расчет включают все узлы сети. Напротив каждого узла перечисляют потребителей, получающих из него воду. Если на участке между узлами есть путь расход, то одним из потребителей в этих узлах будет фигурировать население.

Итоговая сумма  $0.5 \Sigma Q_{\text{п}}$  в табл.1 должна соответствовать с точностью до 0.1 л/с максимальному секундному расходу воды, потребляемому населением

поселка  $Q_{\text{жит}}$ . Возможно расхождение в значениях в связи с округлением. Максимальное допустимое расхождение составляет 0.4 л/с, которые необходимо распределить между узлами сети с наибольшими путевыми расходами (добавляя или, при необходимости, вычитая по  $0.1 \div 0.2$  л/с). Итоговая сумма  $Q_{\text{узел}}$  в табл.1 должна соответствовать с точностью до 0.1 л/с сумме максимальных секундных расходов воды для всех потребителей в таблице прил.2.

### **3.2. Предварительное потокораспределение в кольцевой сети**

Предварительное потокораспределение заключается в определении направления водных потоков в кольцевой сети и расчетных расходов на всех участках сети с учетом требований надежности. Пример предварительного потокораспределения приведен на рис 3.

На отдельно вычерченной схеме разводящей сети все кольца сети должны быть пронумерованы римскими цифрами по возрастающей от начала сети (от водонапорной башни – ВБ) к ее периферии.

Далее намечаются точки встречи потоков – узлы, в которых водные потоки, движущиеся по разным направлениям (от башни влево и вправо по кольцу), должны встретиться. За точки встречи потоков следует принимать узлы с наибольшими узловыми расходами и по возможности дальше расположенные от начала сети. С учетом размещения потребителей в нашем случае будет две точки встречи потоков – по одной в каждом кольце сети. Такими точками могут быть узлы, из которых отбирают воду самые крупные потребители – электростанция и завод. Также за одну из точек встречи потоков можно принять узел, в котором имеет место пересечение трех водопроводных линий. В этом случае,

помимо расчетного расхода самого узла необходимо учитывать расход, проходящий через такой узел транзитом.

Выбрав точки встречи потоков (в примере – это 5 и 6 узлы), необходимо наметить направление движения воды на всех участках сети (показать стрелочками на схеме разводящей сети). При этом вода ко всем потребителям должна поступать по кратчайшему направлению.

При определении расчетных расходов на всех участках кольцевой сети должно быть выполнено следующее условие: алгебраическая сумма расходов воды, приходящих к узлу, должна быть равна сумме расходов, уходящих от этого узла, включая узловый отбор, т.е.

$$\sum \pm Q = 0. \quad (11)$$

При этом положительными считаются расходы на участках сети, по которым вода притекает к рассматриваемому узлу, а отрицательными – расчетный расход самого узла и расходы на участках, по которым вода движется в направлении от узла.

Одним из основных условий предварительного потокораспределения является удовлетворение требования надежности, состоящего в том, что параллельные магистрали должны быть взаимозаменяемыми при возможных авариях и иметь примерно равную пропускную способность. Для этого по параллельным магистралям следует направлять приблизительно равные расходы, а подачу воды основным потребителям осуществлять кратчайшим путем.

Определение расчетных расходов воды на участках сети в процессе предварительного потокораспределения рекомендуется производить в направлении от концевых участков к начальным. Таким образом, определять расходы на участках начинают от точек встречи потоков. Сумма расходов на участках 4-5 и 6-5, по которым вода притекает к узлу 5, являющемуся точкой встречи, будет равняться расчетному

расходу этого узла  $Q_5$ . Если точка встречи – это узел 6, где пересекаются три водопроводные линии, то сумма расходов на участках 7-6 и 3-6, по которым вода притекает к нему, будет равняться сумме расчетного расхода этого узла  $Q_6$  и расхода, проходящего через узел 6 транзитом  $Q_{6-5}$ . При этом распределение долей узлового расхода по участкам у точки встречи осуществляется, исходя из удовлетворения требования надежности.

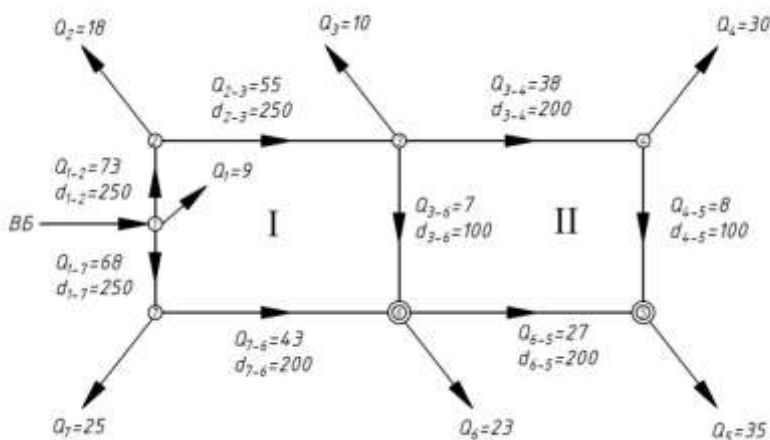


Рисунок 3

На остальных участках сети расчетные расходы определяют путем последовательного прибавления значений узловых расходов. В результате должна быть обеспечена примерно равная пропускная способность параллельных участков сети, как в примере: диаметры участков 1-2 и 1-7 составляют 250 мм; диаметры участков 2-3 и 7-6 – соседние в сортаменте; диаметры участков 3-4 и 6-5 составляют 200 мм; диаметры участков 3-6 и 4-5 составляют 100 мм.

### 3.3. Определение экономически наивыгоднейших диаметров труб и потерь напора в линиях сети

В практических расчетах подбор экономичных диаметров водопроводных линий внешних сетей производят по таблицам предельных расходов в зависимости от материала труб и значения экономического фактора  $\mathcal{E}$ , включающего общие для системы экономические характеристики и показатели [4].

Под предельными расходами понимают граничные расходы, при которых данный стандартный диаметр будет более выгоден, чем другие. При расходах, превышающих предельные, надлежит применять следующий сортаментный диаметр. В таблицах для гидравлического расчета водопроводных труб [4] рекомендуемые области применения для каждого диаметра выделены жирными линиями. Границы установлены применительно к средним условиям для  $\mathcal{E} = 0.75$ . Минимальный диаметр труб водопровода, объединенного с противопожарным, следует принимать не менее 100 мм.

Значения экономичных диаметров  $d$  и удельных сопротивлений  $A$  в зависимости от расходов  $Q$  для неновых чугунных и асбестоцементных труб, выписанные из [4], приведены в прил.4 настоящего учебно-методического пособия.

Гидравлический расчет водопроводов из чугунных труб, для которых требование защиты внутренней поверхности отсутствует, производят применительно к новым трубам. Данное замечание относится к трубам из серого чугуна. Их расчет следует проводить с учетом продолжительного срока работы водопровода, когда в процессе эксплуатации из-за коррозии стенок труб или образования на них отложений под влиянием протекающей воды шероховатость труб возрастает,

а внутренний диаметр уменьшается. В таблицах для неновых чугунных труб учтено уменьшение внутреннего диаметра на 1 мм за счет коррозии и отложений. В результате, таблицы для неновых труб могут быть применены при проектировании новых водопроводных систем из труб данного материала.

В процессе эксплуатации асбестоцементных труб заметного возрастания их шероховатости не происходит, пропускная способность сохраняется практически постоянной. Поэтому таблицами для асбестоцементных труб можно пользоваться при гидравлическом расчете как новых, так и существующих водопроводных сетей.

В целях сокращения затрат времени на расчет в рамках лабораторных занятий студентам следует принимать значения удельных сопротивлений для чугунных и асбестоцементных труб без учета поправок на скорость течения.

Потери напора на каждом участке кольцевой сети определяют по формуле

$$h_w = AlQ^2 = sQ^2, \text{ м} \quad (12)$$

где  $A$  - удельное сопротивление при  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, прил.4;

$l$  - длина данного участка, м;

$Q$  - расчетный расход на данном участке, определен в п.3.2, м<sup>3</sup>/с;

$s$  - сопротивление участка

$$s = Al. \quad (13)$$

Найденные значения диаметров, удельных сопротивлений и потерь напора на участках сети заносятся в соответствующие графы таблицы прил.5. Участки, общие для обоих колец, и значения расчетных параметров для них должны фигурировать в таблице дважды – для первого и второго кольца.

### 3.4. Расчет кольцевой водопроводной сети

В каждом замкнутом контуре (кольце) сети алгебраическая сумма потерь напора должна быть равна нулю

$$\sum \pm h_w = 0. \quad (14)$$

При вычислении  $\sum \pm h_w$  потери напоров на участках с направлением движения воды по часовой стрелке условно принимают положительными, а на участках с направлением движения воды против часовой стрелки – отрицательными. Принятые, таким образом, знаки должны быть отображены в графе  $h_w$  таблицы прил.5.

Однако, при предварительном распределении расходов на участках и подборе по ним диаметров труб алгебраическая сумма потерь напора при замкнутом обходе кольца равна некоторой величине  $\Delta h$ , называемой *невязкой*

$$\Delta h = \sum \pm h_w \neq 0. \quad (15)$$

Это значит, что действительное (истинное) распределение расходов по линиям сети при выбранных диаметрах отличается от первоначально намеченного.

Для получения истинного распределения расходов воды при принятых диаметрах участков производят, так называемую, *увязку* кольцевой сети, которая заключается в перераспределении ранее намеченных расходов. Такое перераспределение осуществляется путем проведения увязочных расходов  $\Delta Q$  по отдельным кольцам сети в направлении, противоположном направлению (знаку) невязки в кольце. При этом на участках с направлением движения воды, противоположным направлению увязочного расхода, расходы уменьшаются на величину  $\Delta Q$ , а на участках с одинаковым направлением движения воды - расходы увеличиваются на ту же величину  $\Delta Q$ . При таком методе увязки кольцевой сети выполняется условие (11) для каждого узла.



Если сеть состоит из двух колец, как в нашем случае, увязочные расходы можно проводить по обоим кольцам одновременно, либо по одному из колец, когда невязки  $\Delta h$  в кольцах имеют разные направления (знаки). Величина, на которую изменяются расходы на участках, общих для двух колец, представляет собой сумму увязочных расходов, пропускаемых по каждому кольцу, с учетом их направлений. По объемлющему контуру, минуя общую линию для колец, увязочный расход проводят в том случае, когда невязки  $\Delta h$  в кольцах имеют одинаковые знаки. При этом расходы и потери напора на участках общей линии остаются без изменения.

По пересчитанным расходам участков

$$Q_1 = Q \pm \Delta Q \quad (16)$$

вновь определяют величины  $h_w$  и  $\Delta h$ . Результаты этих расчетов заносятся в графы таблицы прил.5, соответствующие первому приближению.

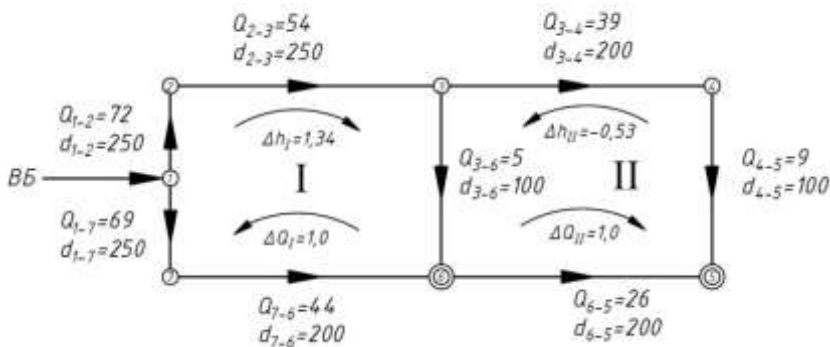


Рисунок 4

При необходимости выполняется вторичная увязка сети и т.д. Исправление расчетных расходов производят до

получения допустимых величин невязок, принимаемых равными  $|\Delta h| \leq 0.5$  м для каждого кольца сети.

При первом приближении величины увязочных расходов можно принять равными 1 л/с. Пример увязки кольцевой сети приведен на рис.4.

При последующих увязках сети назначение величин  $\Delta Q$  зависит от того, на какую величину и в каком направлении будут изменяться невязки по сравнению с их предыдущими значениями.

### 3.5. Определение пьезометрических отметок и свободных напоров в узлах сети

После завершения увязки кольцевой водопроводной сети находят самый невыгодно расположенный на всей разводящей сети узел. Невыгодно расположенные узлы – это узлы далеко расположенные от начала сети (от водонапорной башни), высоко расположенные на местности (с большими отметками земли), с большими требуемыми свободными напорами  $H_{\text{св.мин}}$ , а также, точки встречи потоков.

Наметив несколько предполагаемых невыгодно расположенных узлов (3 ÷ 4 узла), для каждого из них определяют средние гидравлические уклоны

$$I_{\text{ср}} = \frac{(H_6 + z_6) - (H_{\text{св.мин}} + z)}{\sum l}, \quad (17)$$

где  $H_6$  – высота водонапорной башни (принимается  $H_6 = 20 \div 40$  м);

$z_6$  и  $z$  – отметки поверхности земли у водонапорной башни и предполагаемого невыгодно расположенного узла (определяют по карте с горизонталями, см. план объекта водоснабжения), м;

$\sum l$  – сумма длин участков от водонапорной башни до предполагаемого невыгодно расположенного узла (по кратчайшему направлению движения воды), м;

$H_{\text{св.мин}}$  – требуемый (минимальный) свободный напор для предполагаемого невыгодно расположенного узла, м.

Для населенных мест при одноэтажной застройке  $H_{\text{св.мин}}$  при хозяйственно-питьевом водоснабжении на вводе в здание должен приниматься не менее 10 м, при большей этажности на каждый последующий этаж следует добавлять 4 м. Для производственных водопроводов  $H_{\text{св.мин}}$  принимается в зависимости от технологии производства и задается технологом. Свободный напор в сети противопожарного водопровода низкого давления в период пожаротушения должен быть не менее 10 м.

С учетом размещения потребителей на плане объекта водоснабжения в нашем случае значение требуемого свободного напора продиктовано заданной этажностью зданий в поселке.

Самым невыгодно расположенным узлом будет тот узел, для которого гидравлический уклон окажется минимальным. Далее все расчеты ведутся относительно этого узла.

Пьезометрические отметки во всех узлах кольцевой разводящей сети вычисляются путем суммирования потерь напора на участках при переходе от самого невыгодно расположенного узла к другим узлам сети (по кратчайшему расстоянию)

$$H_{\text{п.х}} = H_{\text{п.ну}} + \sum_{\text{ну}}^x \pm h_w, \quad (18)$$

где  $H_{\text{п.х}}$  - пьезометрическая отметка рассматриваемого узла, м;

$H_{\text{п.ну}}$  - пьезометрическая отметка для самого невыгодно расположенного узла, м

$$H_{\text{п.ну}} = H_{\text{св.мин}}^{\text{ну}} + z_{\text{ну}}; \quad (19)$$

$H_{\text{св.мин}}^{\text{ну}}$  и  $z_{\text{ну}}$  - требуемый свободный напор и отметка поверхности земли для самого невыгодно расположенного узла, м;

$\sum_{\text{ну}}^x \pm h_w$  - алгебраическая сумма потерь напора на участках разводящей сети по направлению от самого невыгодно расположенного узла до рассматриваемого узла. Если указанное направление расчета совпадает с направлением движения воды на участке, потери напора на этом участке берутся со знаком «минус». В том случае, если направление расчета противоположно направлению движения воды на участке, потери напора берутся со знаком «плюс».

Величины действительных свободных напоров в узлах разводящей сети  $H_{\text{св.х}}$  определяют как разность пьезометрических отметок и отметок земли

$$H_{\text{св.х}} = H_{\text{п.х}} - z_x, \text{ м} \quad (20)$$

где  $H_{\text{п.х}}$  и  $z_x$  - пьезометрическая отметка и отметка поверхности земли для рассматриваемого узла, м.

Во всех узлах действительный свободный напор должен быть не меньше величины требуемого свободного напора

$$H_{\text{св.х}} \geq H_{\text{св.мин}}. \quad (21)$$

Если в одном из узлов сети (в нескольких узлах)  $H_{\text{св.х}}$  окажется меньше  $H_{\text{св.мин}}$ , необходимо сделать перерасчет пьезометрических отметок и свободных напоров для всех узлов сети. Для узла, в котором свободный напор отличается от  $H_{\text{св.мин}}$  на наибольшую величину  $\Delta H_{\text{св}}$ , принимается свободный напор, равный минимальному. Во всех остальных узлах кольцевой сети свободные напоры и пьезометрические отметки увеличиваются на разность  $\Delta H_{\text{св}}$ .

### 3.6. Определение высоты водонапорной башни

Высоту водонапорной башни  $H_б$  определяют как разность пьезометрической отметки  $H_{\text{п.б}}$  и отметки поверхности земли  $z_б$  у водонапорной башни

$$H_б = H_{\text{п.б}} - z_б, \text{ м} \quad (22)$$

Пьезометрическая отметка у водонапорной башни определяется по формуле

$$H_{п.б} = H_{п.ну} + \sum_{ну}^6 \pm h_w, \text{ м} \quad (23)$$

где  $H_{п.ну}$  - пьезометрическая отметка для самого невыгодно расположенного узла, определяемая по формуле (19);

$\sum_{ну}^6 \pm h_w$  - алгебраическая сумма потерь напора на участках разводящей сети по направлению от самого невыгодно расположенного узла до водонапорной башни. Если указанное направление расчета совпадает с направлением движения воды на участке, потери напора на этом участке берутся со знаком «минус». В том случае, если направление расчета противоположно направлению движения воды на участке, потери напора берутся со знаком «плюс».

Полученное значение высоты водонапорной башни округляют в большую сторону до целого значения.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

### Производственные потребители:

1. Депо –  $3+0.5N$  стойл (*округлить в большую сторону до целого значения*).
2. Электростанция –  $200+50N$  м<sup>3</sup>/сутки.
3. Компрессорная –  $50+8N$  л.с.
4. Завод –  $60+4N$  м<sup>3</sup>/смена.
5. Число смен на заводе и в депо –  
 $N = 1, 4, 7, 10 \dots$  - 1 смена  
 $N = 2, 5, 8, 11 \dots$  - 2 смены  
 $N = 3, 6, 9, 12 \dots$  - 3 смены.

### Хозяйственно-питьевые потребители:

1. Пассажирское здание –  $5+N$  м<sup>3</sup>/сутки.
2. Больница –  $50+3N$  коек.
3. Столовая –  $100+8N$  посетителей.
4. Баня –  $100+4N$  посетителей.
5. Рабочие в депо –  $50+2N$  чел./смена.
6. Душ в депо – 40% работающих.
7. Рабочие на заводе –  $300+10N$  чел./смена.
8. Население поселка –  $3000+250N$  чел.
9. Степень благоустройства –  
 $N = 1, 4, 7, 10 \dots$  - внутренний водопровод и канализация без ванны;  
 $N = 2, 5, 8, 11 \dots$  - то же с ваннами и местными водонагревателями;  
 $N = 3, 6, 9, 12 \dots$  - то же с централизованным горячим водоснабжением.

10. Число этажей в жилых домах –

$N = 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25 \dots$  - 2 этажа

$N = 2, 6, 10, 14, 18, 22 \dots$  - 3 этажа

$N = 3, 7, 11, 15, 19, 23 \dots$  - 4 этажа

$N = 4, 8, 12, 16, 20, 24 \dots$  - 5 этажей.

*Число смен, степень благоустройства и число этажей выбирают в зависимости от того, в каком числовом ряду находится заданное студенту значение  $N$ .*

**РАСЧЕТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**

№	Потребители	Единица измерения потребителей	Количество потребителей	Норма водопотребления, м <sup>3</sup>	$Q_{сут.ср.}, м^3/сут$	$K_{сут}$	$Q_{сут.макс.}, м^3/сут$	$K_ч$	Время водопотребления, ч	$Q, л/с$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Производственные потребители:</b>										
1	Производств. потребности депо	1 стойло		0.5		1.2		1.0		
2	Компрессоры (за 1 час работы)	1 л.с.		0.025 – 0.05		1.2		1.0		
3	Электростанция	1 электр.				1.2		1.0		
4	Завод	1 завод				1.2		1.0		
<b>Хозяйственно-питьевые потребители:</b>										
1	Пассажиры здание	1 здание				1.0		1.5		



№	Потребители	Единица измерения потребителей	Количество потребителей	Норма водопотребления, м <sup>3</sup>	Q <sub>сут.ср.</sub> м <sup>3</sup> /сут	K <sub>сут</sub>	Q <sub>сут.макс.</sub> м <sup>3</sup> /сут	K <sub>ч</sub>	Время водопотребления, ч	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Производственные здания (на 1 рабочего в смену, кроме душей): а) завод б) депо	1 рабочий		0.025		1.0		3.0		
3	Больница	1 койка		0.25 – 0.3		1.2		2.5		
4	Столовая	1 посетит.		0.02		1.2		1.5		
5	Баня	1 посетит.		0.125 – 0.18		1.15		1.0		
6	Душ в депо (за 1 час работы душа)	1 душевая сетка		0.5		1.0		1.0		

№	Потребители	Единица измерения потребителей	Количество потребителей	Норма водопотребления, м <sup>3</sup>	Q <sub>сут.ср.</sub> м <sup>3</sup> /сут	K <sub>сут</sub>	Q <sub>сут.макс.</sub> м <sup>3</sup> /сут	K <sub>ч</sub>	Время водопотребления, ч	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	Населенный пункт:									
	в) то же с централизованным горячим водоснабжением	1 житель		0.220 - 0.280		1.1		по формуле (7)		
	б) то же с ваннами и местными водонагревателями;	1 житель		0.160 – 0.230		1.2		по формуле (7)		
	а) застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн;	1 житель		0.125 – 0.160		1.3		по формуле (7)		
<b>Итого:</b>										

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА  $\beta$  В ФОРМУЛЕ (7)**

Количество жителей в тыс. чел.	до 1	1.5	2.5	4	6	10	20	50
$\beta$	2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.15

**ЗНАЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧНЫХ ДИАМЕТРОВ  $d$  И  
УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  $A$  В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ РАСХОДОВ  $Q$**

Для чугунных труб:

$d$ , мм	$Q_{\text{мин}} - Q_{\text{макс}}$ , л/с	$A$ (при $Q$ , м <sup>3</sup> /с)
100	До 9.4	311.7
125	9.5 – 15.0	96.72
150	15.5 – 25.5	37.11
200	26.0 – 46.0	8.092
250	47.0 – 74.0	2.528
300	75.0 – 108.0	0.9485
350	110.0 – 150.0	0.4365
400	152.0 – 198.0	0.2189

Для асбестоцементных труб:

$d$ , мм	$Q_{\text{мин}} - Q_{\text{макс}}$ , л/с	$A$ (при $Q$ , м <sup>3</sup> /с)
100	До 6.0	187.7
150	6.0 – 22.0	31.55
200	22.5 – 44.0	6.898
250	45.0 – 71.0	2.227
300	72.0 – 104.0	0.9140
350	106.0 – 144.0	0.4342
400	146.0 – 172.0	0.2171

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ**

Номера участков	$l$ , м	$Q$ , л/с	$D$ , мм	$A$	$s$	$h_w$ , м	Первое приближение			Второе приближение
							$\Delta Q_1$ , л/с	$Q_1 = Q + \Delta Q_1$ , л/с	$h_{w1}$ , м	$\Delta Q_2$ , л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кольцо I										
1 - 2										
2 - 3										
1 - 7										
7 - 6										
3 - 6										
						$\Sigma = \Delta h_I$			$\Sigma = \Delta h'_I$	
Кольцо II										
3 - 6										
3 - 4										
4 - 5										
6 - 5										
						$\Sigma = \Delta h_{II}$			$\Sigma = \Delta h'_{II}$	

## ЛИТЕРАТУРА

1. К.В. Матвеев. Методические указания к учебно-исследовательским работам по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение. Охрана окружающей среды». - М.: МИИТ, 1991. - 20 с.
2. СП 31.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение, наружные сети и сооружения»).
3. СП 2.2.1.1312 - 03 - Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий: Санитарно-эпидемиологические правила. - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. - 40 с. (дата актуализации - 12.06.2016).
4. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие. - 11-е изд., дополненное. М.: Издательский Дом «БАСТЕТ», 2016. - 428 с.
5. «Водоснабжение и водоотведение на ж.д. транспорте»: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. Под ред. Дикаревского В.С. - М.: Учебно-методический центр по образованию на ж.д. транспорте, 2009. - 447с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Расчет водопотребления	4
1.1. Основные потребители воды и нормы водопотребления	4
1.2. Определение расчетных расходов воды	5
1.2.1. Определение суточных расходов воды	6
1.2.2. Определение максимальных секундных расходов воды	8
2. Выбор системы и составление схемы водоснабжения	9
2.1. Трассирование водопроводной сети	10
2.2. Размещение узлов сети и водонапорного сооружения	12
3. Гидравлический расчет разводящей сети	13
3.1. Составление расчетной схемы водопотребления	13
3.2. Предварительное потокораспределение в кольцевой сети	18
3.3. Определение экономически наивыгоднейших диаметров труб и потерь напора в линиях сети	21
3.4. Расчет кольцевой водопроводной сети	23
3.5. Определение пьезометрических отметок и свободных напоров в узлах сети	25
3.6. Определение высоты водонапорной башни	27
ПРИЛОЖЕНИЯ	29
ЛИТЕРАТУРА	37
СОДЕРЖАНИЕ	38

Учебно-методическое издание

Лупина Татьяна Авинеровна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение»

---

Изд. № 31-17  
Тираж 100 экз.

---

Москва, Копировальный центр PrintSide