

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Методические указания
для самостоятельной работы

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2015

УДК 628.2
ББК 38.776
О75

*Методические указания подготовлены в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, доцент,
кафедры «Водоснабжение, водоотведе-
ние и гидротехника» И.А. Каледа
(ПГУАС)

О75 **Основы** расчета водопроводных сетей и трубопроводов
центробежного насоса: методические указания для самостоя-
тельной работы / Б.М. Гришин, М.В. Бikuнова; под общ. ред. д-ра
техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 15 с.

Даны основы гидравлического расчета водопроводных сетей и всасывающего и напорного трубопроводов центробежного насоса.

Методические указание подготовлены на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Гражданпроект» и предназначены для слушателей программы переподготовки «Инженерное обеспечение зданий и сооружений».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2015
© Гришин Б.М., Бikuнова М.В., 2015

ВВЕДЕНИЕ

Состояние окружающей среды и условия проживания населения определяют одну из наиболее острых социальных проблем, прямо или косвенно затрагивающих интересы каждого человека. Актуальность данного вопроса в значительной степени зависит от состояния инженерной инфраструктуры, в первую очередь сетей водоснабжения и водоотведения, играющих важную роль в функциональном жизнеобеспечении населенных мест.

При проектировании канализационной сети обращают внимание на различные гидрогеологические условия, чтобы выбрать нужный материал труб, обеспечивающий длительность службы сети, надежность в эксплуатации, экономичность и простоту строительства. Устройство колодцев и камер весьма дорого, поэтому при проектировании сети следует добиваться наименьшего их числа.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВСАСЫВАЮЩЕГО И НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Обычно всасывающий трубопровод – это гидравлически короткий трубопровод (рис.14.1), в котором при расчете должны быть учтены как потери по длине, так и каждая из местных потерь напора. В таком трубопроводе вследствие работы центробежного насоса на входе в него (в сечении 2-2) возникает разрежение (вакуум), благодаря чему жидкость течет по трубопроводу к насосу.

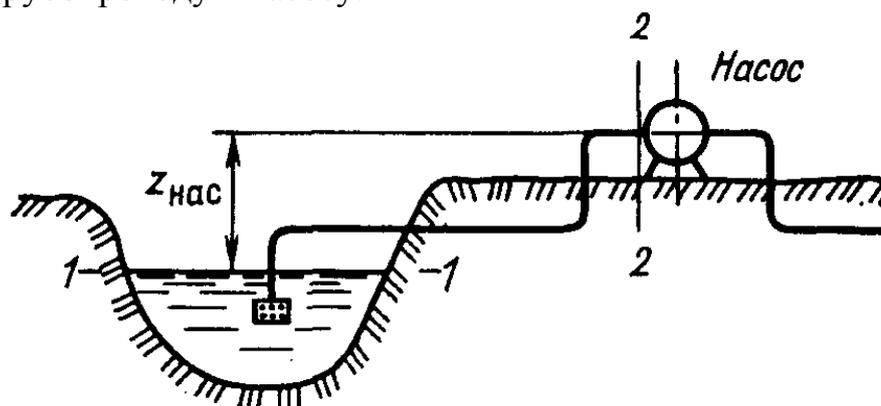


Рис. 1

Цель расчета рассматриваемого трубопровода – определение высоты установки насоса $z_{нас}$ или вакуумметрической высоты во всасывающем патрубке центробежного насоса.

Запишем уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2, причем первое сечение выбрано на поверхности воды в водоеме (водотоке), а второе – непосредственно перед входом в насос во всасывающем патрубке. Плоскость сравнения совмещена с сечением 1-1. Расход Q , подаваемый насосом, известен. Диаметр всасывающего трубопровода определяют для заданного расхода с учетом рекомендуемой СНиП 2.04.02-84 средней скорости движения воды в трубопроводах насосных станций (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Диаметр трубы, м	Скорость движения воды в трубопроводе, м/с	
	всасывающем	напорном (нагнетательном)
до 0,25	0,7...1,0	1,0...1,5
0,3...0,8	1,0...1,5	1,2...2,0
более 0,8	1,5...2,0	1,8...3,0

Зная Q и выбрав значение v , найдем

$$d = \sqrt{4Q / \pi v} = 1,13 \sqrt{Q / v} .$$

Далее, приняв ближайший стандартный диаметр трубопровода, вновь вычисляют среднюю скорость в трубопроводе и вводят ее в расчет.

Рассмотрим горизонтальный центробежный насос. Уравнение Бернулли в данном случае имеет вид

$$\frac{p_{ат}}{\rho g} = z_{нас} + \frac{p_{нас}}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + \sum h_{тр}. \quad (1)$$

Высота установки насоса (геометрическая высота всасывания)

$$z_{нас} = \frac{p_{ат} - p_{нас}}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} (\alpha + \sum \zeta), \quad (2)$$

где α – коэффициент Кориолиса;

$\sum \zeta$ – сумма коэффициентов сопротивления;

$p_{нас}$ – давление на входе в насос.

Геометрическую высоту всасывания для горизонтального центробежного насоса определяют от уровня в водоеме (от минимального уровня при изменениях этого уровня) до оси насоса.

Вакуумметрическая высота всасывания

$$\frac{p_{ат} - p_{нас}}{\rho g} = h_{вак}.$$

Тогда

$$z_{нас} = h_{вак} - \frac{v_2^2}{2g} (\alpha + \sum \xi). \quad (3)$$

Допустимое значение $h_{вак, доп}$ приводится заводом-изготовителем, обычно $h_{вак, доп} < 6 \dots 7$ м.

Следовательно, допустимая высота установки насоса должна быть меньше $h_{вак}$ на $(v_2^2/2g)(\alpha + \sum \xi)$, где $\sum \xi = \sum \xi_m + \lambda l/d$. Здесь l – длина всасывающего трубопровода; d – диаметр всасывающего трубопровода; λ – коэффициент гидравлического трения.

С помощью уравнения Бернулли, естественно, можно решить и другую задачу: определить $h_{вак}$ во всасывающей патрубке центробежного насоса при известной установке насоса $z_{нас}$.

Допустимое значение $h_{вак}$ зависит от конструкции насоса, вида и температуры перекачиваемой жидкости. Для нормальных условий работы насоса необходимо, чтобы $h_{вак} < h_{вак, доп}$ при данной температуре. Иначе может начаться интенсивное выделение паров жидкости и газов, нормальный режим работы насоса нарушится и подача уменьшится.

Центробежный насос создает напор, благодаря которому жидкость подается на более высокие отметки (рис. 2), например, в водонапорную башню, откуда вода поступает самотеком в распределительную сеть и раздается потребителям. Могут быть и другие схемы.

Благодаря работе насоса каждая единица веса жидкости, пройдя через насос, получает дополнительно к той удельной энергии, которой эта единица веса обладала на входе в насос, определенную удельную энергию H . Эту дополнительную удельную энергию называют напором насоса и обычно выражают в метрах столба перекачиваемой жидкости.

При подаче жидкости на высоту z из водоема с давлением p_1 на поверхности в резервуар-приемник с давлением p_2 напор насоса (если $v_1 = 0$).

$$H = z + h_{\text{тр}} + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad (4)$$

где v_2 – скорость в резервуаре-приемнике.

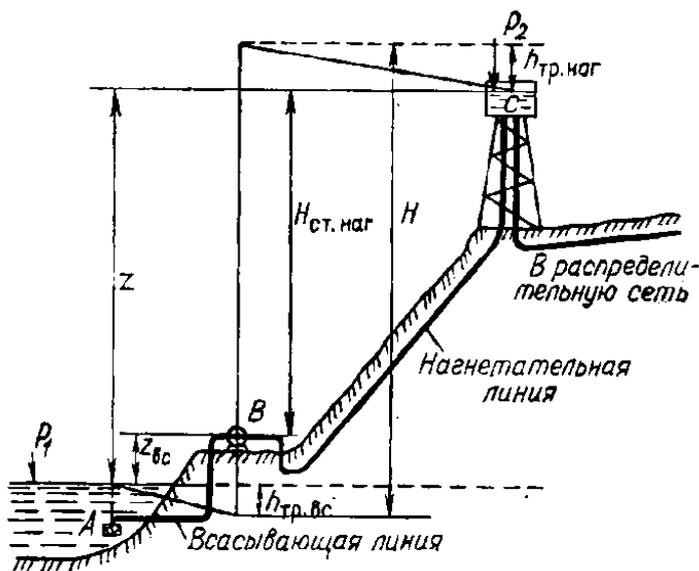


Рис. 2

Если $p_1 = p_2$, а скоростным напором $v_2^2/2g$ можно пренебречь, но для подъема жидкости должен быть создан напор

$$H = z + h_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где z – сумма геометрических высот всасывания и нагнетания, $z = z_{\text{вс}} + z_{\text{наг}}$ (см. рис. 2);

$h_{\text{тр}}$ – сумма потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений во всасывающем и нагнетательном трубопроводах; $h_{\text{тр}} = h_{\text{тр.вс}} + h_{\text{тр.наг}}$.

Так как всасывающий трубопровод является гидравлически коротким, то при расчете $h_{\text{тр.вс}}$ необходимо учесть как потери по длине, так и потери на местные сопротивления.

Высоту z называют геодезической высотой подъема.

Таким образом, каждой единице веса жидкости насосом должна быть сообщена дополнительная удельная энергия

$$H = z_{\text{вс}} + z_{\text{наг}} + h_{\text{тр.вс}} + h_{\text{тр.наг}}. \quad (6)$$

Заданный расход жидкости Q может быть подан на требуемый уровень нагнетания (т.е. при заданной геодезической высоте подъема z) по трубам различного диаметра.

При расчете нагнетательного трубопровода не известны ни диаметр d , ни напор H . В выражении для напора (6) можно выделить параметры, не зависящие от диаметра нагнетательного трубопровода ($z_{\text{вс}}$, $z_{\text{наг}}$, $h_{\text{тр.вс}}$).

При расходе жидкости (подаче насоса) Q и напоре H подводимая к двигателю насоса мощность

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta_{\text{нас}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (7)$$

где Q – расход (подача), $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напор, м;

$\eta_{\text{нас}}$, $\eta_{\text{дв}}$ – коэффициент полезного действия насоса и двигателя.

Обозначив $\eta = \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{дв}}$, получим для воды, кВт:

$$N = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} = \frac{9,81 Q H}{\eta}. \quad (8)$$

Часть этой мощности $[9,81 \cdot Q(z + h_{\text{тр.вс}})]/\eta$ расходуется на подъем жидкости на геометрическую (геодезическую) высоту $z = z_{\text{вс}} + z_{\text{наг}}$ и на преодоление гидравлических сопротивлений во всасывающем трубопроводе $h_{\text{тр.вс}}$. Все эти параметры от диаметра нагнетательной линии не зависят.

Часть мощности $N_1 = 9,81 h_{\text{тр.наг}} / \eta$ предназначена для преодоления сопротивлений в нагнетательном трубопроводе и, понятно, существенно зависит от диаметра этого трубопровода. Рассчитываемые нагнетательные трубопроводы систем водоснабжения обычно относятся к гидравлически длинным, т.е. $h_{\text{тр.наг}} = h_{\text{дл}}$. При нахождении потерь по длине коэффициент сопротивления на трение принимают равным $\lambda \approx 0,02$.

Диаметр нагнетательного трубопровода при заданном расходе Q назначают исходя из рекомендуемой экономической скорости (см. табл. 1). Затем при заданной длине напорного трубопровода определяют потери

$h_{\text{тр.наг}}$ по формуле $h_{\text{дл}} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ и по (6) требуемый напор насоса.

Водопроводные сети, по которым вода из водонапорной башни (или резервуара), поступает к потребителям, делят на разветвленные (тупиковые) и кольцевые.

Расчет разветвленных сетей. Разветвленные сети (рис. 3) состоят из основной магистральной линии и отходящих от узлов сети ответвлений, которые могут состоять из одной линии (простые ответвления) или нескольких участков трубопроводов (сложные ответвления).

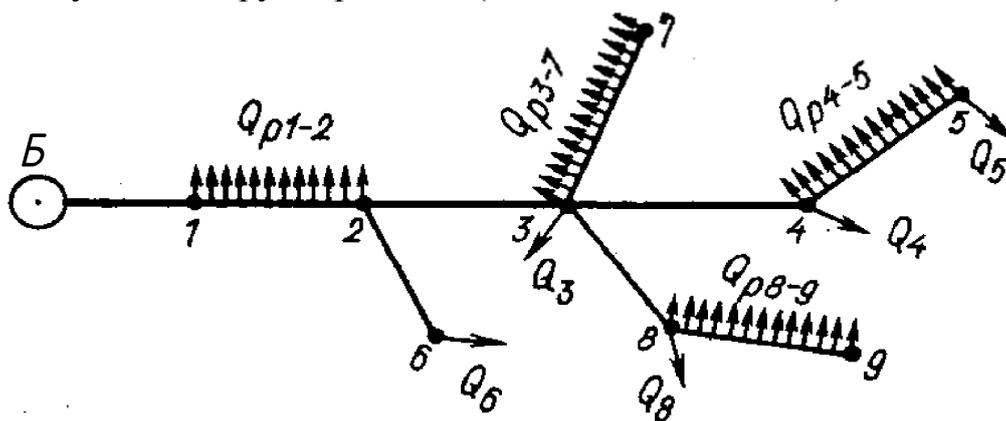


Рис. 3

При расчете разветвленной сети возможны две основные схемы: когда отметка пьезометрической линии в начале сети не задана и когда отметка известна.

Расчет разветвленной сети по первой схеме. Отметка пьезометрической линии (отметка уровня воды в резервуаре водонапорной башни) не известна.

В начале расчета следует выбрать магистральную линию. Она должна соединять водонапорную башню с одним из конечных узлов. Кроме того, магистральная линия обычно имеет наибольшую длину, по ней проходит больший расход, чем по другим намечаемым основным линиям. За конечный узел часто принимают узел с наибольшей геодезической отметкой поверхности земли. Иногда для выбора магистральной линии сравнивают различные варианты, исходя из обязательного обеспечения подачи необходимых расходов и требуемых свободных напоров.

После выбора магистрали определяют расчетные расходы по всем участкам сети. При этом по известным уже правилам учитывают наличие сосредоточенных и равномерно распределенных расходов.

По известным расчетным расходам вычисляют диаметры участков трубопроводов, используя таблицы найденных по экономическим соображениям средних скоростей (0,8-1,5 м/с) в водопроводных стальных, чугунных, асбестоцементных и полиэтиленовых трубах, рекомендуемых Ф.А.Шевелевым.

Магистральная линия представляет собой ряд последовательно соединенных участков, поэтому напор, затрачиваемый при движении воды по магистрали, будет равен

$$H_M = \sum A_i l_i Q_{p,i}^2 \quad (9)$$

где A_i – удельное сопротивление i -го участка трубопровода, определяемое по формуле

$$A = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} = 0,0827\lambda/d^5 = \frac{J}{Q^2},$$

определяемое по рекомендациям Ф.А.Шевелева с учетом поправок на неквадратичность области сопротивления: l_i – длина i -го участка магистрали; $Q_{p,i}$ – расчетный расход на i -м участке; J – гидравлический уклон.

Отметка пьезометрической линии в концевом узле магистрали

$$\Pi_K = z_K + h_{св.к\min}, \quad (10)$$

где z_K – геодезическая отметка поверхности земли в концевом узле;

$h_{св.к\min}$ – минимальный свободный напор в этом же узле.

Отметка пьезометрической линии в начале магистрали (отметка уровня воды в водонапорной башне (точка Б на рис. 3))

$$\Pi_B = \Pi_K + H_M. \quad (11)$$

Свободным напором называется разность отметок пьезометрической линии и земли в рассматриваемой точке.

Свободный напор в начале сети (уровень воды в водонапорной башне над поверхностью земли в точке Б)

$$h_{свБ} = \Pi_B - z_B. \quad (12)$$

где z_B – геодезическая отметка поверхности земли в точке Б.

При расчете необходимо проверить, чтобы свободные напоры в узлах были больше $h_{св.к\min}$, рекомендуемых нормами.

Расчет ответвлений производится при известных отметке пьезометрической линии (полученной при расчете магистрали) в начале ответвления Π_n , геодезических отметках земли в начале z_n ответвления и в промежуточных узлах (если они имеются, т.е. если ответвление сложное) на ответвлении. Известны также расчетные расходы, материал и длины труб, требуемый минимальный свободный напор в кольцевом узле $h_{св.к}$.

Тогда отметка пьезометрической линии в конце ответвления

$$\Pi_K = z_K + h_{св.к}. \quad (13)$$

Следовательно, максимально возможный напор для преодоления сопротивлений в ответвлении

$$H_{\text{отв}} = \Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{к}}. \quad (14)$$

При простом ответвлении максимально возможный уклон

$$J = H_{\text{отв}} / l \quad (15)$$

где l – длина ответвления.

Далее по формуле $A = 1 / K^2 = 1 / \omega^2 C^2 R$ находится удельное сопротивление участка A и соответствующий ей ближайший больший диаметр по таблицам Ф.А. Шевелева. Выбранный по значениям A ближайший больший диаметр обеспечивает гидравлический уклон меньший, чем $J = H_{\text{отв}} / l$, т.е. $h_{\text{св.к}} > h_{\text{св.к. min}}$.

При сложном ответвлении, состоящем из n участков, средний гидравлический уклон

$$J_{\text{ср}} = H_{\text{отв}} / \left\{ \sum_{i=1}^{i=n} l_i \right\} \quad (16)$$

Ориентировочное значение удельного сопротивления на каждом участке

$$A_i = \frac{J_{\text{ср}}}{Q_{\text{р},i}} \quad (17)$$

По ориентировочным значениям A_i подбираются диаметры на i -ом участке ответвления.

Расчет разветвленной сети по второй схеме. Его ведут аналогично расчетам сложных ответвлений. Назначают магистральную линию. Определяют максимально возможный напор

$$H = \Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{к}} \quad (18)$$

где $\Pi_{\text{н}}$ – заданная отметка пьезометрической линии в начале магистрали;

$\Pi_{\text{к}}$ – то же в конце магистрали; $\Pi_{\text{к}} = z_{\text{к}} + h_{\text{св.к. min}}$.

Далее вычисляют средний гидравлический уклон магистрали

$$J_{\text{ср}} = H / (\sum l_i). \quad (19)$$

Затем по вычисленным расчетным расходам находят удельные сопротивления на каждом участке по (17), и подбирают диаметры труб на участках.

Расчеты кольцевых водопроводных сетей. Кольцевые водопроводные сети представляют собой замкнутые смежные контуры или кольца (рис. 4). Такие сети более надежны, чем разветвленные. В кольцевых сетях

выключение одного или нескольких участков можно компенсировать подачей воды по параллельным и обходным линиям. При этом снабжение водой временно прекращают только на отключенном участке.

Исходные известные данные о кольцевой сети: общая конфигурация сети, топография местности, длины участков, раздаваемые в узлах расходы, материал труб.

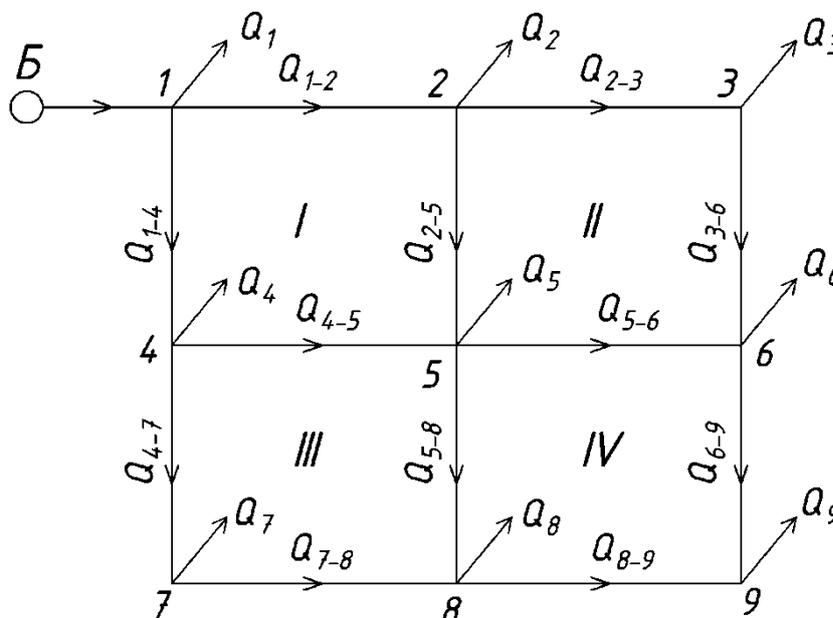


Рис. 4

При равномерной раздаче расходов воды на каждом участке расход условно относят поровну к узлам в начале и в конце участка. Расчет ведут в следующей последовательности.

Намечают направление движения воды (начальное распределение потока). При этом должен обеспечиваться первый закон Кирхгофа, т.е. сумма расходов, поступающих в узел (положительные) и уходящих из него (отрицательные), должна быть равна нулю:

$$\sum Q_i = 0, \quad (20)$$

где i – номер узла.

Так, например, для узла 5 (см.рис. 4) уравнение баланса расходов запишется следующим образом

$$Q_{4-5} + Q_{2-5} - Q_{5-6} - Q_{5-8} - Q_{5-9} = 0.$$

Здесь расходы, уходящие из узла, взяты со знаком «минус».

По приближенным формулам или по рекомендуемым значениям экономических скоростей вычисляют в первом приближении диаметры, соответствующие технико-экономическим требованиям.

Находят потери напора на каждом участке. При этом условно считают, что в каждом кольце потери напора на участках, где намеченное движение воды происходит по часовой стрелке, положительные, а направление воды против часовой стрелки соответствует отрицательным потерям напора.

Потери напора в кольцах должны удовлетворять второму закону Кирхгофа, т.е. алгебраическая сумма потерь напора в каждом кольце должна быть равна нулю:

$$\sum h_{i-k} = 0, \quad (21)$$

где h_{i-k} – потери напора на участке между i -м и k -м узлами.

Например, для кольца I (см.рис. 4) второй закон Кирхгофа должен быть выражен в виде

$$h_{1-2} + h_{2-5} - h_{1-4} - h_{4-5} = 0$$

На практике соотношение (21) добиться невозможно, поэтому принимают условие

$$\sum h_{i-k} \leq \Delta h_{\text{доп}}$$

где $\Delta h_{\text{доп}}$ – допустимая невязка.

Очевидно, поскольку начальное распределение потока было произвольным, а диаметры округляли до стандартных значений, то в начале расчета (первое приближение) окажется, что второй закон Кирхгофа не соблюдается.

Поэтому необходима так называемая «увязка» кольцевой сети. Для чего вводят поправки к ранее назначенным расходам, а затем вновь определяют. Расчет ведут до тех пор, пока невязка потерь напора в кольце не станет меньше заданного заранее значения или равной ему.

При расчете кольцевой водопроводной сети, имеющей m узлов и n колец, имеем m уравнений (20) баланса расходов в узлах и n уравнений (22) баланса потерь напора в кольцах.

Кроме того, при расчете сети с некоторыми водопитающими устройствами в уравнения, описывающие их совместную с сетью работу, вводят данные о насосах и резервуарах.

Для расчета систем подачи и распределения воды широко используют ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Что такое простой водопровод? В чем различие между гидравлически длинным и коротким трубопроводами?
2. Какие основные задачи решают при расчетах установившегося напорного движения в простых трубопроводах?
3. На основе каких уравнений решаются указанные основные задачи ?

4. В каком виде записывается формула Шези для расхода при расчетах гидравлически длинного трубопровода при установившемся напорном движении?

5. Как выражается напор через удельное сопротивление трубы?

6. Почему в формулы для расхода и для напора вводят поправочные коэффициенты? Как определить, нужно ли применять указанные коэффициенты?

7. Как зависит изменение скорости, при котором наступает квадратичная область сопротивления, от изменения диаметра трубопровода при остальных неизменных параметрах?

8. В чем заключаются гидравлические особенности работы трубопроводов из последовательно и из параллельно соединенных труб?

9. Какие допущения сделаны при выводе формулы для потерь напора в трубопроводе с непрерывным изменением расхода по длине?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агроскин И.И. Гидравлика [Текст]/ И.И.Агроскин, Г.Т. Дмитриев, Ф.И.Пикалов.–М.:Энергия, 1964 – 352 с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика [Текст]/ А.Д.Альтшуль, П.Г.Киселев.–М.: Стройиздат, 1975 – 323 с.
3. Емцев Б.Т.Техническая гидромеханика [Текст]/ Б.Т.Емцев.–М.: Машиностроение, 1987.- 440 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст]/ И.Е.Идельчик.–М.:Машиностроение, 1975. – 384 с.
5. Киселев П.Г. Гидравлика. Основы механики жидкости [Текст]/ П.Г.Киселев.–М.: Энергия, 1980. – 360 с.
6. Курганов А.М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации [Текст]/ А.М.Курганов, Н.Ф.Федоров. – Л.:Стройиздат (Ленинградское отделение), 1973.- 408 с.
7. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие [Текст]/ Ф.А.Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2008. – 352 с.
8. Штеренлихт Д.В. Гидравлика [Текст]/ Д.В. Штеренлихт. – М.: КолосС, 2008. – 656 с.

Учебное издание

Гришин Борис Михайлович
Бикунова Марина Викторовна

**ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ
И ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА**

Методические указания
для самостоятельной работы

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

В авторской редакции
Верстка Т.Ю. Симутина

Подписано в печать 8.07.15. Формат 60x84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 0,87. Уч.-изд.л. 0,93. Тираж 80 экз.
Заказ № 280.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28