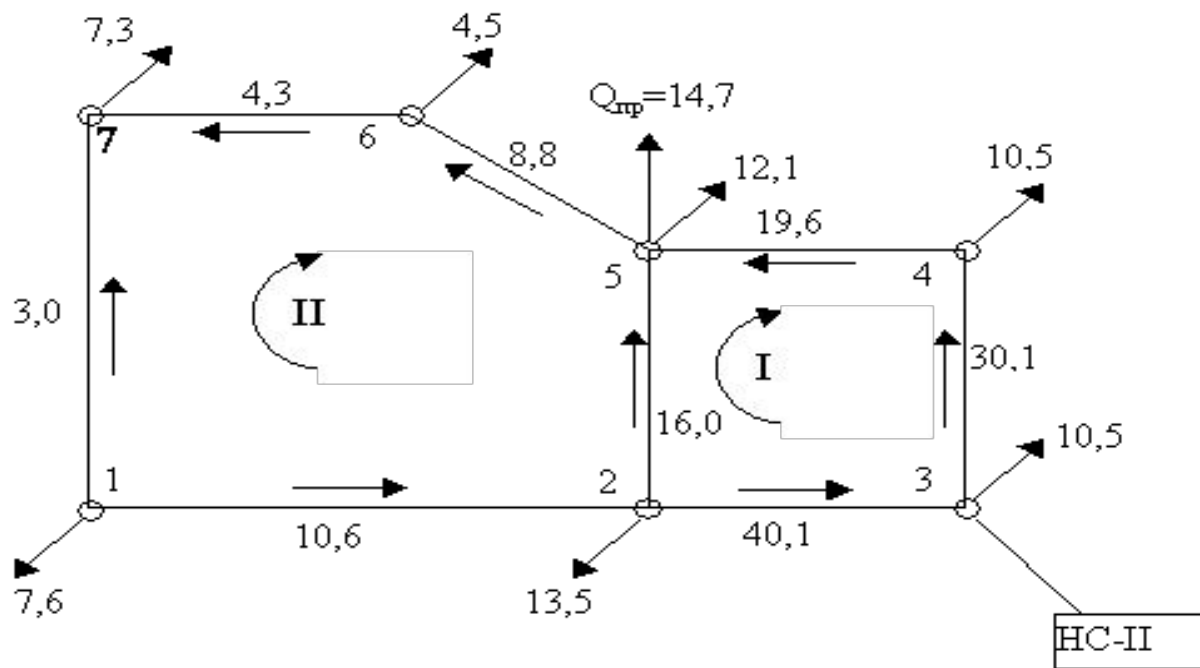


Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети



Цель гидравлического расчета водопроводной сети, заключается в нахождении экономически наивыгоднейших диаметров магистральных трубопроводов, достаточных для пропуска необходимого количества воды ко всем потребителям с требуемым напором и необходимой степенью надежности, а также в определении потерь напора на участках сети, которые нужны для установления высотного положения регулирующей ёмкости и требуемого напора насосов второго подъёма.

Для каждого расчётного случая составляется расчётная схема потокораспределения, состоящая из сети магистральных трубопроводов, в узлах которой проставляют номера узлов и узловые расходы, а на участках фактические длины. Также указываются водопитатели и количество воды, поступающее от них. Во время пожара ВБ отключают и всё необходимое количество воды поступает от НС – II.

На схемах показывают предполагаемое направление потоков (стрелками на участках сети).

Затем намечают расчётные расходы на участках.

Расчётные секундные расходы воды по участкам подсчитывают от концевых участков к начальным.

Основным потребителям воду следует подавать кратчайшим путём.

Определяем критическую точку на сети. Она должна быть наиболее удалённой и высоко расположенной на рельефе местности.

Привязываем к узловым точкам сосредоточенные расходы (от общественных зданий и промпредприятия).

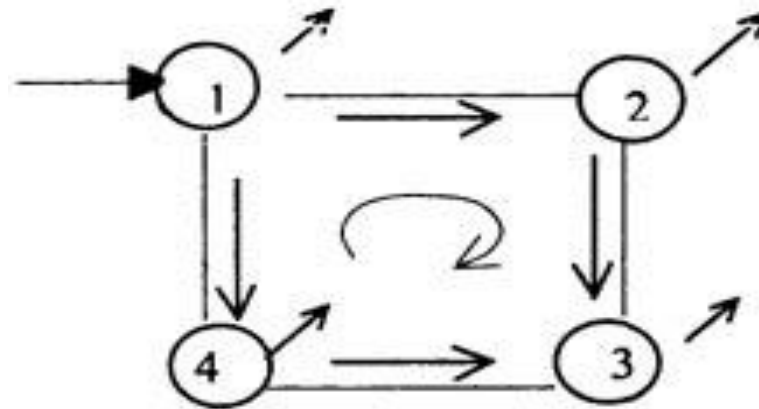
Проведем предварительное распределение потоков воды по участкам сети, соблюдая принцип Кирхгофа (сколько воды подходит к узлу, столько из него и выходит).

Магистральные линии с целью их взаимозаменяемости должны иметь примерно одинаковую пропускную способность.

Задачей увязки кольцевой сети является нахождение действительного 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 (первый закон Кирхгофа); в каждом кольце и по внешнему контуру сети суммарные потери напора должны быть равны нулю (второй закон Кирхгофа):

$$\begin{cases} \sum Q = 0 \\ \sum h = 0 \end{cases}$$

Рассмотрим, как движется вода в кольцевой сети. Для примера возьмем однокольцевую сеть с питанием в точке 1. Предположим, что узловые отборы воды известны. Для того, чтобы определить расчетные расходы, необходимо знать направление движения воды по отдельным



Расчетная схема однокольцевой сети

Предположим, что поток в точке 1 разделяется на два направления, и в какой-то точке 3 эти потоки сходятся. Следовательно, сумма потерь напора от точки 1 до точки 3 по правой ветви должна равняться сумме потерь напора между этими точками по левой ветви:

$$h_{1-2} + h_{2-3} = h_{1-4} + h_{4-3}$$

Следовательно, можно сделать вывод о том, что алгебраическая сумма потерь напора по всей длине кольца равна нулю:

$$h_{1-2} + h_{2-3} - h_{1-4} - h_{4-3},$$

$$\sum h = 0$$

Если бы положение точки схода потоков было известно, то расчет кольцевой сети сводился бы к расчету двух тупиков. Но положение точки схода неизвестно, поэтому гидравлический расчет, кроме определения диаметров и потерь напора на всех участках трубопроводов, должен в результате показать и место схода потоков.

Метод итерации

Этот метод предложен профессором В.Г. Лобачевым и одновременно Х. Кроссом. Увязка сети по этому методу при автоматическом соблюдении первого закона Кирхгофа достигается последовательным введением поправок к расходам на участках кольца, выраженным через контурный расход Δq в кольце, до тех пор, пока не будет выполняться и второй закон Кирхгофа - условие. Сущность его заключается в следующем:

- в сети ориентировочно намечается точка схода потоков (например, наиболее удаленная от ввода точка 3);
- для каждого расчетного случая ориентировочно распределяются расходы по отдельным участкам $(q_{1-2}, q_{2-3}, q_{1-4}, q_{4-3})$ с учетом баланса расходов в узле $\sum Q_i = 0$;
- по максимальному расчетному расходу определяются наибольшие диаметры труб с учетом экономического фактора на каждом участке;
- по расходу и диаметру определяются потери напора на каждом участке: $h_{1-2}, h_{2-3}, h_{1-4}, h_{4-3}$

Так как расходы воды на каждом участке были распределены ориентировочно, то сумма потерь напора в кольце будет равна не нулю, а какой-то величине Δh , называемой невязкой:

$$h_{1-2} + h_{2-3} - h_{1-4} - h_{4-3} = \Delta h \neq 0$$

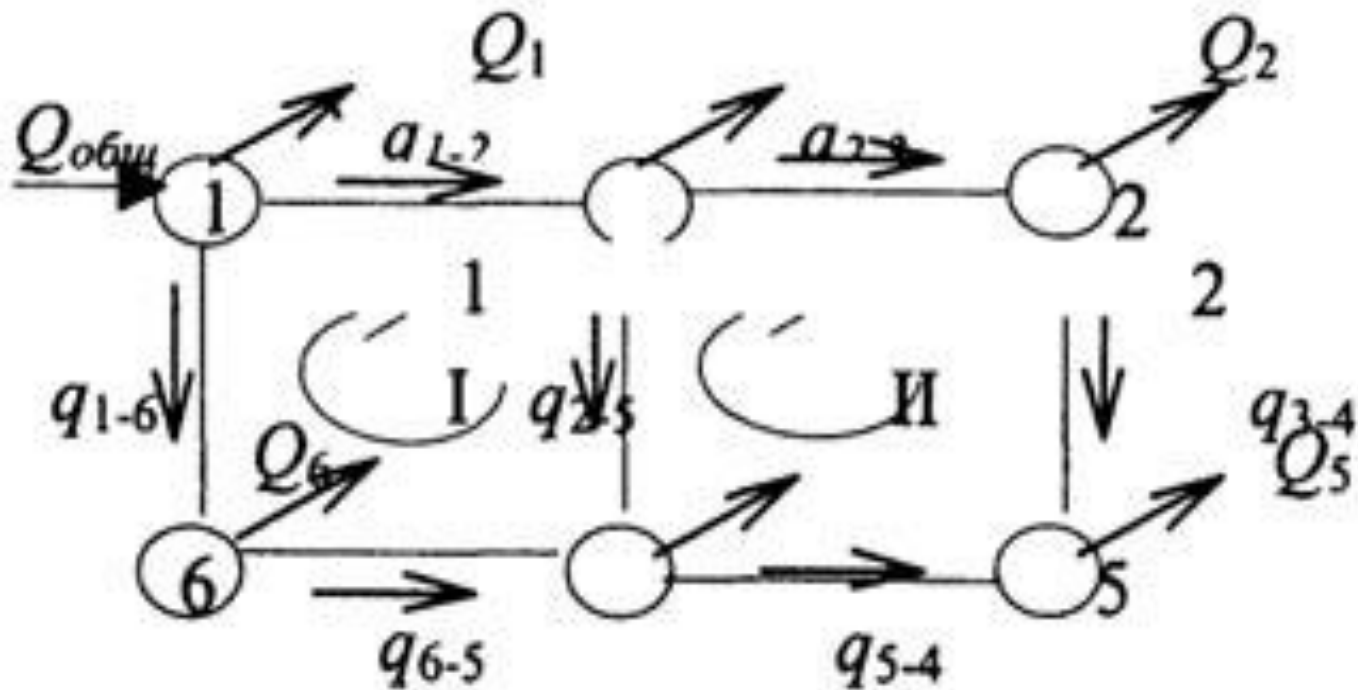
Величина потерь напора на каждом участке может быть определена по формуле

$$h = A l q^2 = S q^2$$

для рассматриваемого примера можно записать

$$S_{1-2} q_{1-2}^2 + S_{2-3} q_{2-3}^2 - S_{1-4} q_{1-4}^2 - S_{4-3} q_{4-3}^2 = \Delta h$$

Расчетная схема сети из двух колец: а - дифференциальный; б - интегральный: 1 - кривая недопотребления; 2 - график работы насосов I-го подъема; 3 - график работы насосов II-го подъема.



Для того, чтобы $\Delta h = 0$, необходимо все расходы исправить на какую-то величину Δq (знак Δq в увязочном контуре совпадает со знаком невязки Δh и показывает какие участки в кольце перегружены расходами). При введении поправки к расходу на участке следует учитывать направление движения воды на этом участке. Условно намечаем стрелкой направление движения воды по кольцу (обычно это направление совпадает с направлением часовой стрелки). Если выбранное направление совпадает с направлением движения воды на отдельных участках, то поправку Δq подставляем со знаком "-", если не совпадает - то со знаком "+" и наоборот.

Допустим в нашем случае $\Delta h > 0$, тогда
можно записать

$$S_{1-2}(q_{1-2} - \Delta q)^2 + S_{2-3}(q_{2-3} - \Delta q)^2 - S_{1-4}(q_{1-4} - \Delta q)^2 - \\ S_{4-3}(q_{4-3} - \Delta q)^2 = 0$$

Преобразуем это уравнение

$$xS_{1-2}(q_{1-2}^2 - 2q_{1-2}\Delta q + \Delta q^2) + S_{2-3}(q_{2-3}^2 - 2q_{2-3}\Delta q + \\ \Delta q^2) - S_{1-4}(q_{1-4}^2 - 2q_{1-4}\Delta q + \Delta q^2) - \\ S_{4-3}(q_{4-3}^2 - 2q_{1-2}\Delta q + \Delta q^2) = 0$$

Проведя перегруппировку членов уравнения (14.49), получим

$$(S_{1-2}q_{1-2}^2 + S_{2-3}q_{2-3}^2 - S_{1-4}q_{1-4}^2 - S_{4-3}q_{4-3}^2) - 2\Delta q(S_{1-2}q_{1-2} + S_{2-3}q_{2-3} + S_{1-4}q_{1-4} + S_{4-3}q_{4-3}) + \Delta q^2(S_{1-2} + S_{2-3} - S_{4-3}) = 0$$

Первый член полученного выражения - это невязка Δh .

Второй член можно выразить в виде $2\Delta q \sum S q$.

Третьим членом в этом выражении можно пренебречь, так как само значение

Δq сравнительно мало и умножается на разность почти равных друг другу величин. Таким образом, имеем:

$$\Delta h - 2\Delta \sum S q = 0.$$

Отсюда получаем формулу для определения величины поправочного расхода в кольце:

$$\Delta q = \Delta h / 2 \sum S q$$

Определив Δq и исправив на эту величину с учетом знака все расходы, повторно определяются потери напора на участках и проверяется выполнение условия

$$\sum h = 0.$$

Если невязка Δh превышает допустимое значение $\Delta h_{\text{доп}}$, то снова определяется поправочный расход и повторяются все вычисления до тех пор, пока не будет соблюдаться условие

$$\Delta q \leq \Delta q_{\text{доп}}$$

Допускается невязка по внешнему контуру кольцевой сети в пределах 1,0-1,5 м, в отдельных кольцах многокольцевой сети 0,5 -1,0 м.

Если сеть состоит из двух колец, то порядок расчета следующий:

Ориентировочно намечают точку схода потоков (т. 4);

Ориентировочно определяют расходы на каждом участке (q_{1-2} , q_{2-3} , q_{1-4} , q_{4-5} ,...);

Определяют потери напора на каждом участке и величину Δh для каждого кольца (Δq_I , Δq_{II}), а затем поправочные расходы (Δq_I , Δq_{II});

Составляют уравнения для каждого кольца: I кольцо:

$$S_{1-2}(q_{1-2} - \Delta q_I)^2 + S_{2-5}(q_{2-5} - \Delta q_{II} + \Delta q_{II})^2 - S_{5-6}(q_{5-6} + \Delta q_I)^2 - S_{1-6}(q_{1-6} + \Delta q_I)^2 = 0$$

В преобразованном виде это уравнение имеет вид

$$\sum (Sq)_I \cdot \Delta q_I - S_{2-5} q_{2-5} \Delta q_{II} = \Delta h_I / 2$$

Аналогично для второго кольца

$$\sum (Sq)_{II} \cdot \Delta q_{II} - S_{2-5} q_{2-5} \Delta q_I = \Delta h_{II} / 2$$

Если количество колец больше 2, то уравнение будет иметь вид

$$\sum (Sq)_n \Delta q_n - S_m q_m \Delta q_m - \dots - S_k q_k \Delta q_k \dots = \Delta h_n / 2.$$

Общая формула поправочного расхода для любого кольца имеет вид

$$\Delta q_n = \Delta h_n / 2 \sum (Sq)_n$$

Обычно расчеты методом итерации ведутся в табличной форме.

Метод М.М. Андрияшева

По методу инженера М.М.Андрияшева все подготовительные операции (определение точки схода, ориентировочных расходов, диаметров труб и потерь напора на участках) выполняются точно также как и при методе итерации.

Этот метод отличается порядком записи результатов. Запись результатов ведется не в табличной форме, а непосредственно на расчетной схеме. Кроме того, по методу М.М. Андрияшева увязку сети ведут не по отдельным кольцам, а по увязываемым контурам, охватывающим целые группы колец, имеющих одинаковый знак невязки. При этом величины поправочных расходов рекомендуется определять по формуле:

$$\Delta q = q_{\text{ср}} \Delta h_n / 2 \sum h$$

где $q_{\text{ср}} = \sum q_i / n$ - среднее арифметическое значение расхода воды в контуре, включающее в себя n участков; $\sum q_i$ - арифметическая сумма расходов на всех участках контура; n - число участков контура; $\sum h$ - арифметическая сумма потерь напора по всему контуру (без учета знака); Δh - невязка в контуре.

Быстрота увязки сети этим методом зависит от правильности выбора увязываемого контура, что требует большого опыта проектировщика.

Определение диктующей точки кольцевой сети

Прежде чем приступить к составлению графика пьезометрических линий, необходимо найти так называемую "диктующую точку" сети, которая требует наибольших напоров насосов или определяет высоту водонапорной башни.

Диктующей точкой при размещении башни в начале сети может оказаться любая точка сети с наибольшей геодезической отметкой и наиболее удаленная от питателя (башни).

В сети с контррезервуаром за диктующую принимают точку на границе питания сети от башни и от насосов, имеющую максимальную геодезическую отметку и свободный напор.

После составления расчётной схемы необходимо приступить к подбору диаметров труб. При выборе диаметров труб водоводов и водопроводных линий по расходам воды прежде всего исходят из технико-экономических соображений. Диаметры труб подбираются с использованием экономических скоростей движения воды и "Таблиц для гидравлического расчёта водопроводных труб".

Учитывать необходимо расход воды для целей пожаротушения, при подборе диаметров труб необходимо использовать нижние границы экономических скоростей движения воды. Подобранные диаметры труб наносятся на расчётную схему и приступают к составлению таблицы "Гидравлический расчёт водопроводной сети на пропуск максимального хозяйственно-питьевого и производственного расхода".

Для каждого участка выбирается диаметр, одновременно обеспечивающий бесперебойную и экономичную работу сети в любых условиях.

Диаметр выбирается из следующих соображений:

1. В системах с регулирующей емкостью в начале сети (или при безбашенной системе) решающим для выбора диаметров является случай работы сети в час максимального водопотребления;
2. В системах с контррезервуаром – на участках, прилегающих к нему, решающим для выбора диаметров является час максимального транзита в башню, на остальных участках диаметр принимается по расходу в час максимального водопотребления;
3. При пропуске пожарного расхода по трубам следует следить, чтобы скорости движения воды не превышали 2,5 м/с, в противном случае следует принимать следующий по сортаменту диаметр трубопровода (по отношению к основному расчетному случаю).

При выборе диаметров необходимо соблюдать следующие правила:

1. диаметры трубопроводов в одно кольцо должны отличаться не более, чем на два сортамента;
2. диаметры перемычек следует принимать на 1-2 сортамента меньше соединяемых ими магистралей;
3. диаметры магистральных линий должны уменьшаться плавно по направлению основных потоков воды;
4. минимальный диаметр труб водопровода, объединенного с противопожарным, принимается 100 мм.

Для предварительного расчета диаметров труб используют формулу Зацепина

$$d = \sqrt{q / 3}$$

Определяют диаметры труб d для участков главной магистрали по формуле

где $u_{пр}$ - предельная скорость. Значение $u_{пр}$ принимают в зависимости от линейного расхода q на участке и материала труб (табл. 4.1). Материал труб выбирают в соответствии с положениями подраздела 3.2.

Гидравлический расчет водопроводной сети на пропуск максимального хозяйственно-питьевого и производственного расходов.

Номер кольца	Номер участка	Длина участка $L, м$	Расход на участке $q, л/с$	Диаметр трубы $d, мм$	Скорость воды $v, м/с$	$1000 i$	Потери напора $h, м$	Первое исправление				
								Поправочн. расход $\Delta q, л/с$	Исправлен. расход $q', л/с$	Скорость воды $v', м/с$	$1000 i'$	Потери напора $h', м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	3 - 2	725	40,1	250	0,8	4,32	+ 3,12	- 0,4	39,7	0,8	4,24	+ 3,07
	2 - 5	320	16,0	200	0,5	2,42	+ 0,78	-0,4 - 0,3	15,3	0,48	2,25	+ 0,72
	5 - 4	725	19,6	200	0,6	3,5	- 2,54	+ 0,4	20,0	0,62	3,63	- 2,63
	4 - 3	320	30,1	250	0,6	2,55	- 0,82	+ 0,4	30,5	0,81	2,62	- 0,84
$\Delta h = + 0,54$											$\Delta h = + 0,32$	
II	2 - 1	310	10,6	150	0,585	4,69	+ 1,45	+ 0,3	10,9	0,6	4,95	+ 1,53
	1 - 7	450	3,0	100	0,37	3,44	+ 1,55	+ 0,3	3,3	0,4	4,08	+ 1,24
	7 - 6	280	4,3	100	0,53	6,57	- 1,84	- 0,3	4,0	0,49	5,77	- 1,61
	6 - 5	170	8,8	125	0,69	8,14	- 1,38	- 0,3	8,5	0,67	7,64	- 0,78
	5 - 2	320	16,0	200	0,5	2,42	- 0,78	-0,3 - 0,4	15,3	0,48	2,25	- 0,72
$\Delta h = - 1,0$											$\Delta h = - 0,26$	

Во избежание ошибок необходимо строго руководствоваться следующими правилами:

- Заполнение таблицы для обоих колец проводят одновременно.
- Заполнить графы 1 – 3, используя исходные данные задания, и графу 4, используя данные предварительного распределения потоков по направлениям.
- С помощью таблиц для гидравлического расчета водопроводных труб заполняются графы 5, 6, 7.
- Сделать перерасчет потерь напора для фактической длины каждого участка и занести в графу 8.
- Определить невязку колеи. Если она окажется по абсолютной величине больше 0,5, вычислить поправочный расход.

- Занести поправочный расход в графу 9 и определить его знак. Для определения знака поправочного расхода необходимо использовать знак невязки и знак потерь напора на участках кольца. Так, например, в первом кольце невязка с «плюсом». Это значит, что на участках, имеющих положительные потери напора, поправочный расход нужно вносить с «минусом», чтобы уменьшить сумму положительных потерь напора в кольце, а на участках с отрицательными потерями напора – с «плюсом», чтобы увеличить сумму отрицательных потерь напора. Общий участок имеет две поправки. Знаки поправок определяются по тому кольцу, для которого они вычислены (см. в таблице участок 5 – 2).
- В графе 10 исправленный расход определяется как алгебраическая сумма значений графы 4 и графы 9.
- Графы 11 – 12 рассчитываются по аналогии с графами 6 – 8 (см. пункты 3 – 4).
- Если после первого исправления желаемый результат не получен, необходимо выполнить последующие исправления до получения невязки в обоих кольцах меньше 0.5.

Окончательно вычисленные величины заносятся на расчетную схему увязанная водопроводная сеть на пропуск хозяйственно-питьевого и производственного расхода.

Далее определяются потери напора в сети по направлениям питания (от ввода к диктующей точке).

Определяют средние потери напора в сети. Эта величина потерь напора в дальнейшем будет использована при расчете сооружений, работающих совместно с водопроводной сетью, это определение высоты водонапорной башни, а также подбора хозяйственных насосов станции II подъема.

Определение потерь напора на участках
колец производим по формуле

$$h = Sq^2$$

где q – расход на участке, л/с; S – сопротивление
линии, равное

$$S = S_0 K l$$

где l – фактическая длина участка; S_0 – удельное
сопротивление, зависящее от диаметра; K –
поправочный коэффициент, зависящий от скорости.

S_0 – удельное сопротивление на 1 м трубы. Определяется по [Шевелёв Ф.А., Шевелёв А.Ф. Таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб].

Если скорость воды на участке отличается от 1 м/с, то к значению S_0 добавляются поправочные коэффициенты K , которые определяются по [Шевелёв Ф.А., Шевелёв А.Ф. Таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб].