

О РАСЧЕТЕ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЧАСОВОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ЛИНИЯМ

Многолетней практикой эксплуатации водопроводных сетей установлено, что коэффициенты часовой неравномерности водопотребления по отдельным линиям не одинаковы. Они зависят от числа обслуживаемых линиями жителей, увеличиваются с уменьшением последних и наоборот [1 - 4]. Однако в расчетах водопроводных сетей до последнего времени эта особенность работы линий не учитывалась. Допускалось, что все элементы сети работают с одним и тем же коэффициентом часовой неравномерности. Это существенно упрощало расчет, но не соответствовало действительному характеру их работы. В результате имели место случаи частого нарушения надежности в подаче воды потребителям. Поэтому в новом СНиПе [4] в порядке уточнения расчетов водопроводных сетей и приближения их к действительным условиям работы указано на необходимость учета при проектировании систем подачи и распределения воды характера изменения коэффициентов неравномерности водопотребления по всем элементам. Конкретные рекомендации по решению данной задачи содержатся в работах М.М. Андрияшева [1], Л.Ф. Мошнина [3]. Но возможны и некоторые другие способы решения этой задачи. В частности, практический интерес может представлять способ, основанный на соответствующей корректировке узловых расходов сети при их традиционном методе расчета, вытекающий из самой сущности работы водопроводных сетей.

Так, если при расчете сети ее узловые расходы принять без учета изменения коэффициента часовой неравномерности K_i по линиям, то вследствие $K_i > K_1$ (K_1 - коэффициент часовой неравномерности водопотребления в точке питания сети) сумма всех узловых расходов и сосредоточенных отборов сети всегда будет больше ее подачи. Это серьезное нарушение первого закона Кирхгофа и базировать на нем расчет сети нельзя. Значит, узловые расходы сети необходимо откорректировать таким образом, чтобы они учитывали фактическую неравномерность работы всех ее линий и одновременно удовлетворяли требованиям закона Кирхгофа.

Остановимся на некоторых особенностях работы водопроводных сетей. Отметим, что наличие различных коэффициентов часовой неравномерности водопотребления из их линий, превышающих значение этого коэффициента в точке питания сети, не означает, что из сети в отдельные моменты времени воды отбирается больше, чем подается. Водопроводная сеть не обладает столь большой регулирующей способностью, чтобы обеспечить такой режим ее работы. Раздача воды ею производится неравномерно, но со смещением максимумов во времени. Например, если из данной группы линий в настоящее время отбираются повышенные расходы воды, соответствующие расчетному значению K_1 , то естественно, что в других линиях в это же время неизбежно будут отбираться другие, меньшие расходы воды. Баланс же подачи и расхода воды для сети в целом сохраняется всегда. При этом линии с меньшим числом потребителей всегда будут работать с большей неравномерностью водопотребления, и наоборот. Это должно учитываться при выборе диаметров труб отдельных участков сети.

При гидравлическом расчете сети дополнительно следует учитывать и сложившуюся ситуацию с распределением отборов по всем ее элементам, т.е. должен рассматриваться какой-то вполне определенный режим работы сети.

Естественно, что практический интерес всегда будет представлять тот режим, который создает самую неблагоприятную ситуацию для условий отбора воды потребителями. Например, при рассмотрении условий работы сети в период максимума водоразбора наиболее неблагоприятной окажется ситуация, когда путевые расходы, соответствующие расчетной величине K_1 , будут отбираться из концевых, а несколько меньшие их значения — из начальных участков сети. Таким образом, более полная загрузка сети распространится на большую часть ее элементов и центр водоразбора сдвинется ближе к концевым участкам, что усложнит условия подачи воды потребителям. При повышенном отборе воды в начале сети и несколько уменьшенном в ее концевых элементах центр водоразбора сместится ближе к началу сети и этим облегчит ее работу. Отсюда для обеспечения высокой надежности водообеспечения потребителей в период максимального водопотребления в основу расчета сети необходимо положить первый вариант схемы распределения отборов воды. Для минимального водоразбора самым невыгодным явится случай, когда большие удельные отборы будут иметь место в начале сети, а меньшие — на ее концевых участках.

Изложим предлагаемый способ расчета сети с учетом различия коэффициентов часовой неравномерности водопотребления ее линий. В качестве примера рассмотрим случай максимального водоразбора сети. Остальные случаи могут рассчитываться по аналогии с данным.

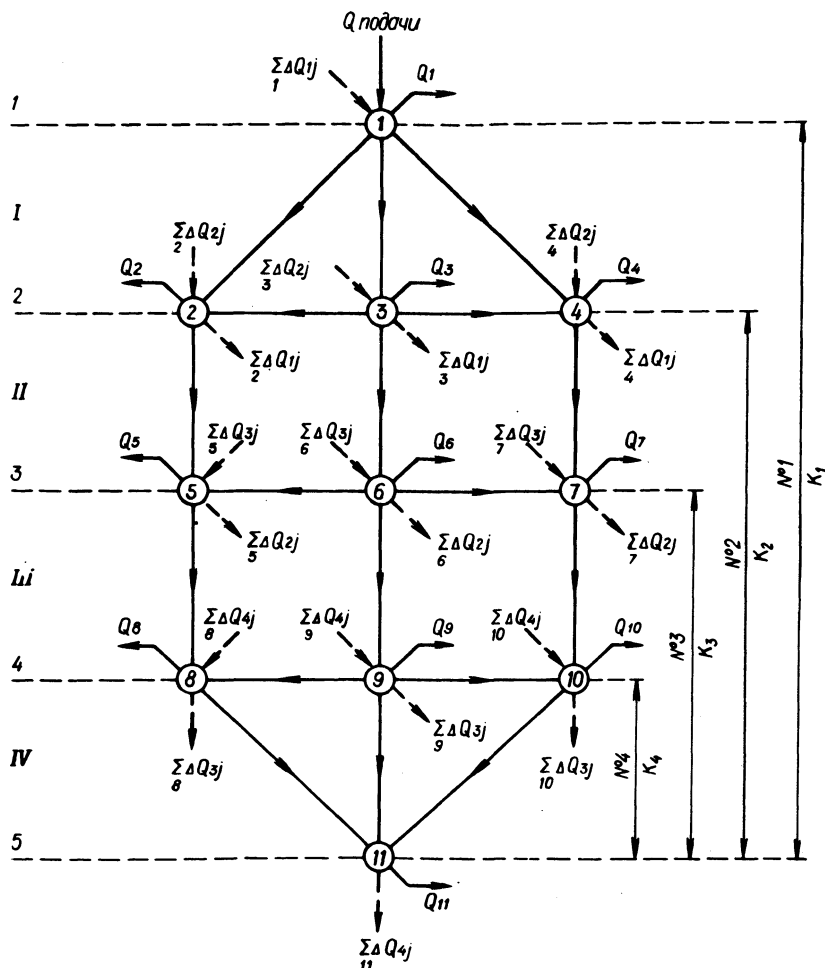


Рис.1. Расчетная схема сети (1-5 - линии зон; I - IV - зоны).

Пусть необходимо рассчитать представленную на рис.1 водопроводную сеть с учетом изменения коэффициентов часовой неравномерности водопотребления в ее линиях. Выделим в сети зоны с одинаковым диапазоном изменения коэффициента K . Для этого проведем через смежные узловые точки ряд линий, соот-

ветствующих различным значениям числа обслуживаемых жителей N_i и величинам коэффициента часовой неравномерности водопотребления K_i . Присвоим номера рассматриваемым зонам в соответствии с номерами их верхних (начальных) ограничивающих линий. Тогда расчетные расходы воды в элементах любой зоны сети для выбора диаметров их труб будут равны

$$\begin{aligned} Q_{ij} &= \eta_{ij} Q_i = \eta_{ij} (Q_{\text{Тр } i} + d_i Q_{\text{пут } i}) = \\ &= \eta_{ij} \frac{\omega}{24} (N_{i+1} K_{i+1} + d_i \Delta N_i \bar{K}_i) = \\ &= \eta_{ij} \frac{\omega}{24} \left[N_{i+1} K_{i+1} + d_i \Delta N_i \left(K_i + \frac{\Delta K_i}{2} \right) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где η_{ij} - коэффициенты распределения расчетного расхода воды рассматриваемой i -й зоны сети по j -м элементам в доли от единицы; ω - принятая величина нормы водопотребления населением города в расчетные сутки; $Q_{\text{Тр } i}$ - транзитный расход воды для рассматриваемой зоны, равный $\frac{\omega}{24} N_{i+1} K_{i+1}$;

$Q_{\text{пут } i}$ - путевой расход воды для этой зоны, равный $\frac{\omega}{24} \Delta N_i \bar{K}_i$;
 α_i - известный из практики расчета водопроводных сетей коэффициент, приводящий равномерную раздачу воды вдоль линий к эквивалентному расчетному расходу воды и равный 0,5 для начальных и 0,58 для концевых линий; ΔN_i и ΔK_i - приращения числа жителей и коэффициента часовой неравномерности водопотребления в пределах рассматриваемой зоны; \bar{K}_i - среднее значение коэффициента часовой неравномерности водопотребления этой зоны; $N_i, N_{i+1}, K_i, K_{i+1}$ - число жителей и коэффициенты часовой неравномерности водопотребления соответственно для верхней и нижней границ рассматриваемой зоны сети.

Принимая $\Delta N_i \Delta \bar{K}_i = N_i - N_{i+1}$ и отбрасывая произведение $\eta_{ij} \frac{\omega}{24} \alpha_i \Delta N_i \frac{\Delta K_i}{2}$ как величину второго порядка малости по сравнению с остальными членами выражения (1), получим

$$Q_{ij} = \eta_{ij} \frac{\omega}{24} \left[N_{i+1} K_{i+1} + \alpha_i (N_i - N_{i+1}) K_i \right]. \quad (2)$$

Эту зависимость с некоторым допущением можно преобразовать к более удобному виду

$$Q_{ij} = \eta_{ij} \frac{\omega}{24} \bar{N}_i K_i = 0,5 \eta_{ij} \frac{\omega}{24} K_i (N_i + N_{i+1}), \quad (3)$$

где \bar{N}_i – средняя величина расчетного числа жителей для элементов рассматриваемой зоны.

Расчеты показывают, что величины Q_{ij} , полученные по этой зависимости, незначительно (не более 1%) отличаются от Q_{ij} , полученных по зависимости (1). Поэтому ею можно пользоваться во всех расчетах водопроводных сетей.

По найденным расчетным расходам воды подбирают требуемые диаметры труб соответствующих водопроводных линий и приступают к гидравлическому расчету сети. Эту операцию начинают, как и обычно, с подготовки сети к расчету. Однако она в данном случае приобретает некоторую особенность. Так, из рис.1 видно, что с ростом i в пределах каждой выделенной зоны сети происходит определенное приращение коэффициента часовой неравномерности водопотребления и соответствующее увеличение удельных расходов воды. Если для всей сети в точке ее питания коэффициент часовой неравномерности составляет величину K_1 , а соответствующий ему удельный расход равен q_1 , то для любой ее зоны средние значения величин \bar{K}_i и \bar{q}_i соответственно будут равными

$$\bar{K}_i = \frac{K_i + K_{i+1}}{2} = K_1 + \frac{\Delta K_i}{2}, \quad (4)$$

$$\bar{q}_i = q_1 \frac{\bar{K}_i}{K_1}. \quad (5)$$

Среднее приращение к величине q_1 удельного расхода в зоне составит

$$\Delta \bar{q}_i = \bar{q}_i - q_1 = q_1 \left(\frac{\bar{K}_i}{K_1} - 1 \right). \quad (6)$$

Это значит, что при переменных коэффициентах часовой неравномерности водопотребления в каждой из выделенных зон водопроводных сетей происходит как бы увеличение удельного расхода воды на величину $\Delta \bar{q}_i$ дополнительно к удельному расходу, полученному при среднем значении K_1 для всех элементов сети. Будем считать, что этот удельный расход образуется от пропуска по элементам рассматриваемой зоны некоторых дополнительных расходов воды, равных

$$\Delta Q_{ij} = \eta_{ij} \alpha_i \Delta \bar{q}_i \Sigma l_i, \quad (7)$$

где α_i можно принять равным 0,5, а $\sum 1_i$ — представить суммой длин линий рассматриваемой зоны. При этом участки линий, расположенных на смежных зонах, принимаются половинными. Величины же η_{ij} принимаются в соответствии с принятым ранее потокораспределением.

Поскольку рассматриваемые дополнительные расходы для верхних границ зон положительны, а для нижних — отрицательны, то их пропуск по линиям соответствующих зон не нарушает закона Кирхгофа как для сети в целом, так и для ее отдельных элементов. Они лишь увеличивают фактическую загрузку этих элементов. Этим самым обеспечивается возможность учета заданного изменения коэффициентов часовой неравномерности водопотребления по линиям сети при соблюдении закона Кирхгофа для всех узлов и сети в целом. А это значит, что предлагаемый подход к решению рассматриваемой задачи может быть положен в основу расчета сетей с учетом новых требований СНиП П-31-74. Он, действительно, сводится лишь к определенной корректировке применявшегося ранее способа определения их узловых расходов воды.

Чтобы выявить направление этой корректировки и дать конкретные предложения по ее осуществлению, рассмотрим, как трансформируются обычные узловые расходы сетей в результате проведения всех дополнительных расходов ΔQ_{ij} в элементах рассматриваемых зон. Учитывая, что среднее приращение удельного расхода воды $\Delta \bar{q}_i$ каждой последующей зоны больше предыдущей, отрицательные величины дополнительных расходов воды в начальных и средних узлах сети в большинстве случаев будут большими, чем положительные. Что же касается конечных узлов, то у них будут только дополнительные положительные расходы ΔQ_{ij} . Это приводит к уменьшению узловых расходов в начальных и средних узлах и к увеличению их в конечных. Происходит, таким образом, определенная трансформация обычной схемы распределения узловых расходов сетей в направлении сдвига центра водоразбора к конечным участкам. При этом обеспечивается учет заданного изменения величины K_i по линиям сети с соблюдением условия $Q_{\text{подачи}} = \sum Q_{\text{узел}} + \sum Q_{\text{соср}}$.

Это условие всегда обеспечивается в том случае, если узловые расходы для сети определять по формуле

$$Q_{\text{узел } k} = 0,5 q_1 \sum_K 1_k - \sum_K \Delta Q_{ij} + \sum_K \Delta Q_{(i-1)j}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{уэл. } k}$ - расчетные значения узлового расхода воды в k -ом узле; $\sum_k l_k$ - сумма длин всех линий, примыкающих к рассматриваемому узлу; ΔQ_{ij} - дополнительные поправки расходов воды в элементах узла, примыкающих со стороны i -й зоны сети; $\Delta Q_{(i-1)j}$ то же, но в элементах узла, примыкающих со стороны $i-1$ -й зоны.

Значения расходов ΔQ_{ij} и $\Delta Q_{(i-1)j}$ определяются по формуле (7). Скорректированные узловые расходы сети можно найти также и по более простой зависимости

$$Q_{\text{уэл. } k} = 0,5 \sum_k l_k (q_1 - \Delta \bar{q}_i + \Delta \bar{q}_{(i-1)}) \quad (9)$$

С учетом этих расходов дальнейший расчет сети может производиться известными в практике способами.

Р е з ю м е

Рассматривается методика учета изменения коэффициента часовой неравномерности водопотребления в линиях водопроводных сетей с учетом требований СНиП-П-31-74. В основу методики положен способ корректировки узловых расходов сети в соответствии с числом жителей, обслуживаемых подходящими к узлам линиями.

Л и т е р а т у р а

1. Андрияшев М.М. Расчет водопроводных сетей с учетом коэффициентов часовой неравномерности водопотребления. - "Водоснабжение и санитарная техника", 1974, № 11.
2. Гейнц В. Г. О нормах и коэффициентах неравномерности хозяйственно-питьевого водоснабжения. - "Водоснабжение и санитарная техника", 1969, № 10.
3. Мошнин Л.Ф. Расчет водопроводных сетей при переменном коэффициенте часовой неравномерности водопотребления. - "Водоснабжение и санитарная техника", 1974, № 11.
4. СНиП-П-31-74, М., 1975.

УДК 624.131.67 : 556.3

В.П. Старинский (канд. техн. наук)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И УЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

В настоящее время с целью получения подземной воды для различных потребителей ежегодно вводится в эксплуатацию несколько десятков тысяч водозаборных скважин. В этих условиях