

Анализ данных таблицы показывает, что асфальтобетон обладает высокой плотностью и низкой степенью набухания. Величина водонасыщения ниже 1,0 %, т.е. меньше нижней границы требований ГОСТ 9128—84 для этого показателя, что объясняется избыточным содержанием битума в асфальтобетоне. Прочность последнего обеспечена при температурах 20 и 50 °С. Однако при 0 °С она выше допустимого ГОСТ значения, что указывает на недостаточную трещиностойкость. Водостойкость же асфальтобетона обеспечена. Проведенные эксперименты показали, что асфальтобетон с применением осадка в качестве неактивированного минерального порошка удовлетворяет требованиям ГОСТ 9128—84. Осадок после соответствующей переработки может быть использован в составе асфальтобетонных смесей вместо доломитовой муки при приготовлении асфальтобетона, а изготовленный асфальтобетон — как гидроизоляционный материал для покрытий проезжей части дорог, тротуаров, а также для изготовления штучных элементов (асфальтобетонных плит).

Для приготовления асфальтобетонной смеси за счет применения осадка высвобождено до 20 % доломитовой муки, являющейся ценным минеральным удобрением.

#### Л и т е р а т у р а

1. Арчакова Г.А., Воронин А.Г. Перспективные методы очистки сточных вод в промышленности // Проблемы охраны природных и использования сточных вод. — Минск, 1974. — С. 62—64. 2. ГОСТ 12784—78. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Методы испытаний. — М., 1978. — С. 30.

УДК 628.152

А.П. СЫТИН (Белкоммунпроект)

### ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

Системы водоснабжения больших городов представляют собой сложный комплекс инженерных сооружений, включающих трубопроводы, запорно-регулирующую арматуру, насосные станции и резервуары, водонапорные башни, водозаборные сооружения, станции очистки воды и другие элементы. Все крупные системы водоснабжения относятся к многофункциональным, так как обеспечивают подачу воды различным категориям потребителей [1].

В целом системы водоснабжения больших городов являются сложными не только по составу инженерных сооружений, но и по характеру работы, что требует проведения значительного количества гидравлических и технико-экономических расчетов.

В зависимости от желаемой детальности представления исходной информации о системе водоснабжения объем данных может изменяться в довольно широких пределах, особенно при включении в расчетную схему системы водоснабжения распределительной сети.

Понятие "большой город" при гидравлических и технико-экономических расчетах является относительным; оно определяется в конечном счете количеством узлов расчетной схемы системы водоснабжения.

Применяемые в проектной практике программы расчета системы водоснабжения на ЭВМ имеют ограничения на рассчитываемые системы. Это обуславливается ограниченным объемом памяти ЭВМ, на которых реализованы программы. В данном случае при расчете больших систем водоснабжения проектировщики укрупняют (сокращают число узлов) расчетные схемы либо разбивают их на части и рассчитывают каждую как самостоятельную, вне влияния других частей. Такой расчет больших систем не может считаться удовлетворительным.

С учетом вышесказанного в Белорусском институте проектирования объектов коммунального хозяйства разработан метод расчета больших систем водоснабжения, основанный на положениях [2, 3].

Способ гидравлического расчета систем водоснабжения отличается новой методикой решения системы уравнений, составленных по условию баланса расходов воды в узлах сети [2]:

$$\sum_{j=1}^k q_{ij} + Q_i = 0, \quad (1)$$

где  $q_{ij}$  — расход воды на участках сети, образующих  $i$ -й узел,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_i$  — отбор воды в узле,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $k$  — количество участков, примыкающих к  $i$ -му узлу.

Подставляя известные зависимости  $q_{ij} = (h_{ij}/S_{ij})^{1/m}$  и  $h_{ij} = Z_i - Z_j$  в формулу (1), получим:

$$\sum_{j=1}^k \left( \frac{Z_i - Z_j}{S_{ij}} \right)^{1/m} + Q_i = 0. \quad (2)$$

Здесь  $Z_i$ ,  $Z_j$  — пьезометры в  $i$ -м и  $j$ -м узлах, м;  $S_{ij}$  — гидравлическое сопротивление участка сети,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $m$  — показатель степени.

Преобразовав уравнение (2) путем вынесения за скобки значения  $(Z_i - Z_j)$  и сгруппировав неизвестные  $Z$  по индексам, получим линейное каноническое уравнение

$$\rho_{ii} Z_i - \sum_{j=1}^k \rho_{ij} Z_j + Q_i = 0, \quad (3)$$

где  $\rho_{ii}$  — суммарная условная проводимость участков сети, образующих  $i$ -й

узел,  $\rho_{ii} = \sum_{j=1}^k \rho_{ij}$ ;  $\rho_{ij} = \frac{\rho_{ij}^0}{|Z_i - Z_j| \frac{m-1}{m}}$  — условная проводимость

участка сети;  $\rho_{ij}^0 = \frac{1}{S_{ij}^{1/m}}$  — проводимость участка сети,

Численно  $\rho_{ij}^0$  равна расходу на участке сети при потерях напора в 1 м.

В случае наличия на некоторых участках насосных станций подкачки или дросселей условная проводимость этих участков корректируется по формуле

$$\rho_{ij} = \frac{\rho_{ij}^0}{|Z_i - Z_j \pm \Delta Z| \frac{m-1}{m}} \quad (4)$$

( $\Delta Z$  — изменение напора насосными станциями подкачки или дросселями, м).

Для любой сети можно составить столько уравнений вида (3), сколько узлов. Причем данные уравнения являются линейными относительно пьезометров  $Z$  при фиксированных значениях коэффициентов  $\rho$ . В этой связи многократное решение системы (3) с корректировкой условной проводимости  $\rho = f(Z)$  на каждом шаге дает величины неизвестных пьезометров  $Z$ . Для вычисления  $\rho$  на первом шаге решения системы (3) выражение  $(Z_i - Z_j)$  следовало бы принять равным среднему значению потери напора, соответствующему некоторой постоянной скорости течения воды на участках сети. Однако практика показала, что процесс решения системы уравнений достаточно быстро сходится, если потери напора принять на первой итерации по всем участкам сети равными 1 м.

Система уравнений (3) обеспечивает соблюдение как первого, так и второго закона Кирхгофа для любой сети, причем предполагается, что закон движения воды на участках подчиняется на каждой итерации некоторому условному закону зависимости потерь напора от расхода. При этом показатель степени при расходе изменяется от 1 до значения показателя степени  $m$ .

Укрупненная блок-схема алгоритма приведена на рис. 1.

Метод расчета систем водоснабжения больших городов состоит в следующем:

1. Производится разбивка расчетной схемы крупного города на районы. Границы между районами проводятся по узлам (рис. 2).
2. Нумеруются все граничные узлы, начиная с 501 (см. рис. 2).
3. Внутри отдельного района нумерация расчетной схемы производится произвольно с первого и до последнего номера узла для данного района, но не выше 500.
4. Решается система линейных уравнений (3) для каждого района.

Расчетная схема каждого района решается на каждой итерации столько раз, сколько узлов данного района, общих с другими районами; точек подачи воды и станций регулирования в нем. Полагается, что поочередно принимается единичный напор на каждом общем узле и узлах подачи воды, на всех остальных указанных узлах — нулевой. Узловые отборы принимаются равными нулю. В заключение решается система уравнений (3) для определенного района с заданными узловыми отборами, а также напорами, равными нулю, на станциях, требующих подбора насосного или регулирующего оборудования и на общих узлах. На основании этих расчетов определяется гидравлическое сопротивление дуг графа, образованного из общих вершин данного района с другими районами и точек подачи воды данного района.

На рис. 3 показан граф второго уровня, дуги которого представляют собой обобщенные гидравлические сопротивления между общими точками и

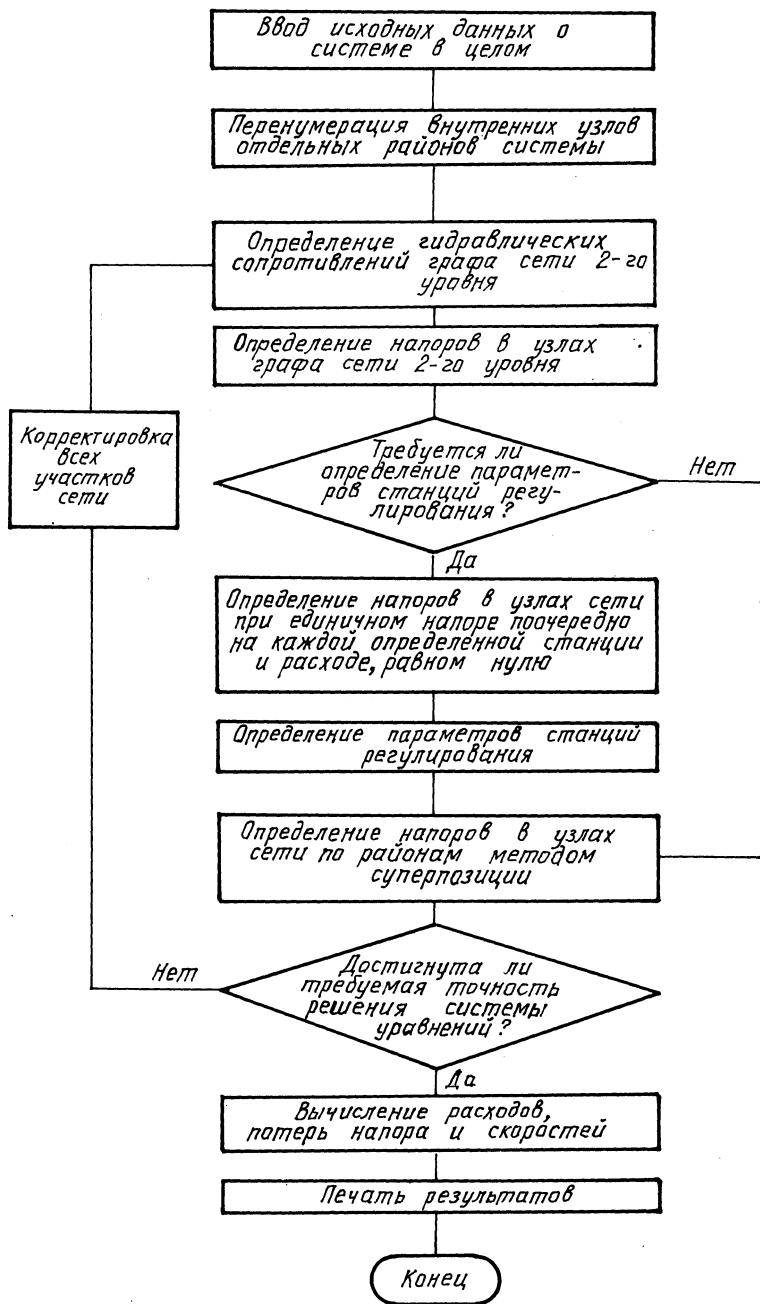


Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма

точками подачи воды, определяемые на каждой итерации решения системы уравнений (3) по районам при помощи формулы

$$S_{ij} = S_{kj} / Z_k,$$

где  $S_{kj}$  — гидравлическое сопротивление участка сети района, примыкающего к общему ( $j$ -му) узлу или к узлу насосной станции, по которой требуется определение расхода и напора;  $Z_k$  — пьезометр в узле участка, которым он примыкает к сети района. Значение  $Z_k$  определяется при решении системы уравнений (3) и при напоре, равном единице, на одном из общих узлов или узлов станций регулирования.

Затем рассчитываются узловые отборы или подача воды в общие узлы по формуле

$$Q_j = \sum_p \sum_n \frac{Z'_k}{S_{kj}} + Q_j^0,$$

где  $Z'_k$  — напор в начале участка сети, который присоединяется к общему узлу, имеющему напор, равный нулю (узловые отборы при этом приняты равными расчетным), м;  $Q_j^0$  — отбор или подача воды в общий  $j$ -й узел, м<sup>3</sup>/с;  $n$  — количество участков данного района, сходящихся к общему  $j$ -му узлу;  $p$  — количество районов, для которых  $j$ -й узел является общим.

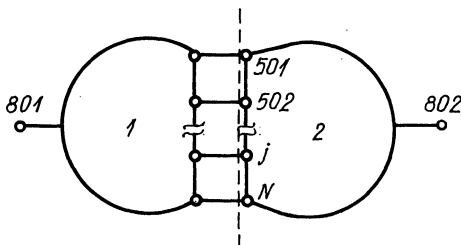


Рис. 2. Разбивка расчетной схемы системы водоснабжения на отдельные районы: 1, 2 — номера районов системы водоснабжения; 501, 502,  $j$ ,  $N$  — общие узлы отдельных районов; 801, 802 — узлы точек подачи воды

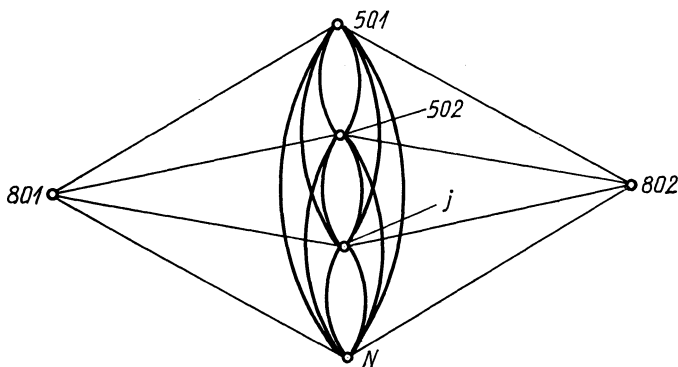


Рис. 3. Расчетная схема взаимосвязи отдельных районов системы водоснабжения (граф 2-го уровня)

5. На основании полученных обобщенных гидравлических сопротивлений по отдельным районам производится формирование матрицы проводимостей графа 2-го уровня, которая учитывает совместную работу всех районов. Путем решения уравнения (3) находятся пьезометры в общих узлах системы.

6. В случае подбора параметров насосного оборудования решается система уравнений графа 2-го уровня при напорах, равных единице, поочередно на каждой из станций, где требуется определение напоров и расходов.

7. Пьезометры для каждого района определяются следующим образом:

$$Z_i = \sum_{j=1}^N \bar{Z}_{i(j)} Z_j - Z_{i(Q)},$$

где  $\bar{Z}_{i(j)}$  — пьезометр в  $i$ -м узле, полученный при действии  $j$ -й насосной станции или общего узла с напором, равным единице;  $N$  — количество общих узлов и насосных станций, для которых требуется определение напоров и расходов;  $Z_j$  — пьезометр, полученный в  $j$ -м узле при решении графа 2-го уровня, м;  $Z_{i(Q)}$  — пьезометр в  $i$ -м узле данного района, рассчитанный при решении системы уравнений (3) по районам с заданными узловыми отборами и насосными станциями с заданными параметрами.

8. Производится корректировка по формуле (4) всех участков системы по районам.

9. Пункты 4–8 повторяются до достижения заданной погрешности расчета по пьезометрам [2].

Предложенный метод гидравлического расчета предусматривает возможность подбора параметров станций регулирования, а также диаметров сети.

Будучи реализованным на ЭВМ, он позволит рассчитывать системы водоснабжения практически неограниченных размеров с учетом взаимодействия всех ее элементов при одновременном подборе напоров и расходов насосного оборудования и диаметров участков сети. Кроме того, реализация данного метода на ЭВМ с малой оперативной памятью даст возможность рассчитывать системы водоснабжения относительно больших городов, что представляет практическую ценность для проектных институтов, эксплуатирующих и наладочных организаций, имеющих ЭВМ такого типа. Метод может быть применен и в случае гидравлического расчета скважинных водозаборов подземных вод.

## Л и т е р а т у р а

1. А б р а м о в Н.Н. Надежность систем водоснабжения. — М., 1980. — С. 179.
2. С ы т и н А.П., Н о г а й Н.М., П е т у т и н Ю.С., Ш м а р а к о в В.М. Гидравлический расчет систем водоснабжения на ЭВМ серии ЕС методом узловых напоров // Водоснабжение и санитарная техника. — 1977. — № 6. — С. 12–13.
3. С ы т и н А.П., Н о г а й Н.М. Определение напоров и расходов насосных станций систем водоснабжения по заданным пьезометрам в контролируемых точках // Проблемы водоотведения и очистки сточных вод. — Минск, 1980. — С. 13–16.