



МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АСУ ТП

Расширение класса решаемых задач в области расчета многоконтурных сетевых систем намного увеличивает объем вычислительных и проектно-конструкторских работ. Например, с целью оптимизации параметров сложных трубопроводных сетей и их сооружений расчеты во многих случаях приходится неоднократно повторять для различных вариантов и модификаций проектируемых систем.

В результате механизации и автоматизации этих трудоемких расчетов число сравниваемых вариантов возрастает, а следовательно, повышается вероятность нахождения оптимальных решений. Кроме того, автоматизация инженерных работ делает более объективными оценку и сравнение возможных решений, элементы субъективности при этом совершенно исключаются.

Решение сложных научных проблем и широкого круга задач, связанных с автоматизацией расчетов многоконтурных сетей и оптимальным проектированием систем управления распределением потока, на современном этапе возможно лишь кибернетическими методами и средствами вычислительной техники (машинами различного принципа действия и назначения).

Одним из методов исследования объектов и процессов в системотехнике есть моделирование. Важнейшей характеристикой любой модели при этом есть ее адекватность моделируемому объекту. Существует множество моделей: физические модели (аналоги); графические модели; алгоритмические модели, как совокупность некоторых операторов, описывающих систему; математические модели – описание процессов и объектов с помощью математической символики в виде уравнений или других видов математических зависимостей, из которых наиболее удобные для исследований системы аналитические детерминированные модели; аналитические вероятностные модели, которые, в частности, используются при моделировании систем массового обслуживания; более приближенных математических методов исследования сложных систем – Монте-Карло, эвристические модели; имитационные модели, в которых связи между переменными, которые характеризуют элементы системы, определяются не точно, на основе интуиции и опыта исследователя. При исследовании эвристических моделей решение находится на основании аналогий, ассоциаций с решениями других подобных задач.

Эвристическое моделирование более часто используется при исследованиях сложных систем, которые позволяют разрешать многоэкстремальные задачи оптимизации; имитационные модели – имитационное моделирование. Последнее возникает в связи с появлением быстродействующих электронных вычислительных машин.

К математическому моделированию относятся электрические модели (специализированные аналоговые вычислительные машины, применяемые для расчета гидравлических сетей и их сооружений, в том числе и систем подачи и распределения воды, основанные на аналогии, например, процесса движения воды и прохождения электрического тока через электротехнические элементы с сопротивлением, образующие электрическую цепь).

В таких электрических моделях имитируется как изучаемый процесс воды, так и другой процесс в системах водоснабжения.

Существующие электрические модели для расчета, например, сетевых систем по принципу действия условно можно разделить на три группы: модели с прямой аналогией,

модели с дуальным (обратным) преобразованием и установки с моделированием приращений.

В моделях с прямой аналогией напор моделируется напряжением, а поток – током. Граф моделирующей сети совпадает с топологией сети. Такие модели бывают уравновешенными и неуравновешенными.

В неуравновешиваемых моделях в качестве нелинейных элементов используются пассивные и активные двухполюсники, вольтамперные характеристики которых имеют вид

$$U = \alpha i^n,$$

где n – показатель степени в пределах 1,75...2, зависящий от вида моделируемой сети;

U – напряжение, В; i – сила электрического тока, А.

В уравновешиваемых моделях роль нелинейных элементов играют переменные сопротивления различной природы. В процессе уравновешивания одного элемента изменением величины сопротивления добиваются, чтобы на элементе установились напряжение и ток, соответствующие $U = \alpha |i| i$. Затем переходят к регулированию следующего элемента. В зависимости от вида уравновешивания различают модели с ручным и автоматическим уравновешиванием.

Модели с дуальным преобразованием тоже строятся по принципу аналогий с моделируемыми сетями, однако, здесь, наоборот, напор (депрессия) моделируется током, а поток – напряжением. В процессе подготовки задачи к решению исходный граф сети надо преобразовать по определенным правилам, чтобы получить конфигурацию моделирующей цепи. В результате таких преобразований узлу сети соответствует контур модели, и наоборот. В этих моделях используются нелинейные элементы с характеристиками вида

$$i = \sigma |U| U,$$

где $\sigma = 1/\alpha^2$ – некоторая постоянная при дуальном (обратном) моделировании – масштабный коэффициент.

При обратном электрическом моделировании первому закону Кирхгофа для узлов исходной схемы соответствует второй закон Кирхгофа для контуров дуальной схемы, и наоборот. Это положение выражается следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \sum I_{\text{исх}} = 0 &\rightarrow \sum U_{\text{д}} = 0 \\ \sum U_{\text{исх}} = 0 &\rightarrow \sum I_{\text{д}} = 0 \end{aligned} \right\}$$

Каждому элементу исходной схемы с источником электродвижущей силы E и параметрами резистора R индуктивности L и емкости C соответствует элемент эквивалентной дуальной схемы с источниками тока I_s и параметрами g_s , C_s , L_s . Иначе говоря, источнику электродвижущей силы E исходной схемы соответствует источник тока I_s дуальной схемы, активному резистору R – активная проводимость $1/R = g_s$, индуктивности L – емкость C_s и емкости C – индуктивность L_s .

В последнее время такие электрические модели используются в особых случаях.

Имитационная модель напоминает человеко-машинную систему, в которой задача исследования решается методами, которые реализуются современными ЭВМ при активном участии человека. Эта модель позволяет объединить неформализованные мысли исследователей и опыт специалиста с методами математического моделирования.

Структура имитационной модели в общем виде может быть представлена так:

$$C = \varphi(X_i, Y_i),$$

где C – оценка результата функционирования системы; X_i – управляемые координаты и параметры системы; Y_i – неуправляемые координаты и параметры.

В последнее время для различных научных исследований, расчетов трубопроводных систем водоснабжения, решений оптимизационных задач широкое применение нашла микропроцессорная техника высокого класса. Использование такой вычислительной техники (микро-ЭВМ) для расчетов, исследований, как в области водоснабжения, так и в других отраслях хозяйства.



В Киевском национальном университете строительства и архитектуры разработаны универсальные программы, позволяющие автоматизировать процесс гидравлического расчета как с неизменными расходами у абонентов, так и с переменными, зависящими от напора на входе расходами воды у абонентов. Расчет многоконтурной сети на микро-ЭВМ производится по методу увязочных расходов по составленному алгоритму.

Такой алгоритм расчета сети с неизменными расходами воды у абонентов представлен следующим образом (рис. 1).

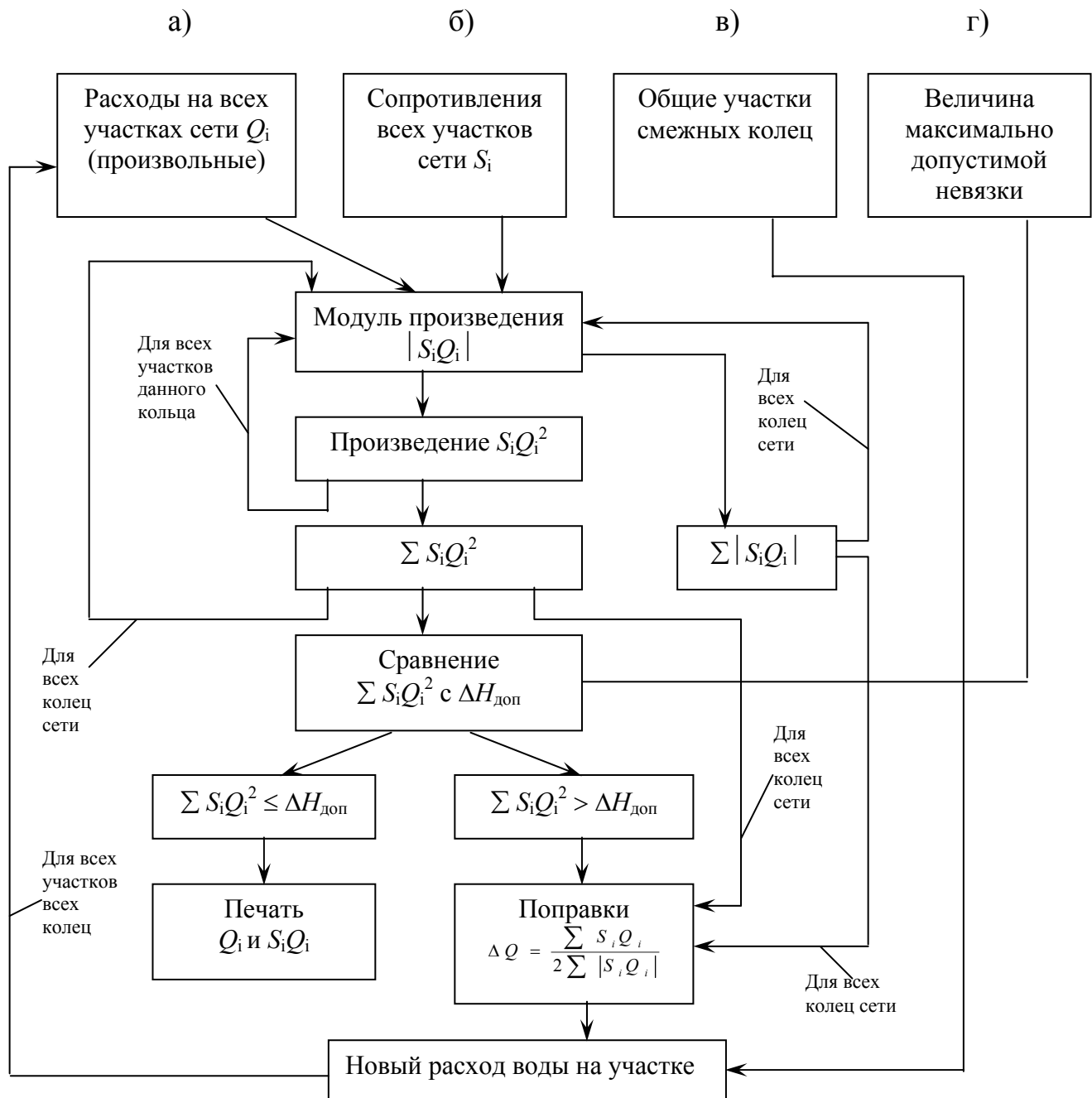


Рис. 1. Схема расчета потокораспределения в многокольцевых гидравлических сетях с постоянными расходами воды у абонентов

1. Задаются исходные данные:

а) расходы на всех участках сети для всех колец:

расходы задаются по величине и направлению; величины расходов, задаваемых произвольно, должны удовлетворять первому закону Кирхгофа; направление расхода по часовой стрелке в данном кольце обозначается знаком "+", против часовой стрелки – знаком "-";

б) сопротивления всех участков сети:

сопротивление участка определяется по известным диаметру, длине и местным сопротивлениям;

в) общие участки смежных колец:

эти участки имеют расходы, одинаковые по величине и противоположные по знаку;

г) величина максимально допустимой невязки потерь давления.

2. Находится модуль произведения $S_i Q_i$ для данного участка.

3. Находится произведение $S_i Q_i^2$ для данного участка.

4. Произведению $S_i Q_i^2$ придается знак расхода на данном участке.

Операции 2, 3 и 4 производятся последовательно для всех участков данного кольца.

5. Определяется сумма модулей $S_i Q_i$ для всех участков данного кольца, т. е. $\sum S_i Q_i$.

6. Определяется алгебраическая сумма потерь давления для всех участков данного кольца, т. е. находится $\sum S_i Q_i^2$ – невязка потерь давления данного кольца.

Операции 5 и 6 производятся последовательно для всех колец сети.

7. Найденные невязки для всех колец сети сравниваются с заданной максимально допустимой невязкой. При этом возможны два случая:

а) невязки во всех кольцах меньше максимально допустимой;

б) невязка в одном или нескольких кольцах больше допустимой.

В первом случае расчет заканчивается, и машина должна напечатать результат – расходы воды и падения давления во всех участках сети.

Во втором случае расчет продолжается, и определяются новые расходы воды.

8. Определяется увязочный расход для данного кольца ΔQ .

Операция 8 производится для всех колец сети.

9. Определяется расход на участке по формуле:

$$Q_i' = Q_i - \Delta Q$$

Операция 9 производится для всех участков всех колец.

10. Определяется расход на участке с учетом увязочного расхода в смежном кольце по формуле:

$$Q_i'' = Q_i' + \Delta Q_{см}$$

где $\Delta Q_{см}$ – увязочный расход в смежном для данного участка кольце.

Смежное кольцо (если оно имеется) для каждого участка данного кольца указывается в исходных данных.

Операция 10 производится для всех участков сети.

После нахождения расходов Q_i'' операции 2-10 повторяются до тех пор, пока после операции 7 машина не выдаст результаты расчетов на печать.

Таким образом, расчет сети по этому методу сводится к выполнению в определенной последовательности элементарных арифметических операций, которые повторяются для всех участков данного кольца и для всех колец данной сети, а также ряда логических операций, например, сравнение с заданной величиной невязки.

Основным требованием, предъявленным к программе расчета, является ее универсальность, т. е. одна и та же программа должна служить для расчета любой сети.

Каждая сеть характеризуется числом колец, числом участков в каждом кольце и номерами колец, которые являются смежными для каждого участка любого кольца.

Основной частью расчета является расчет кольца. Поэтому программа расчета одного кольца должна быть действительна для любого кольца данной сети. Поскольку,



как правило, кольца имеют различные числа участков, целесообразно применить следующий прием. Число участков во всех кольцах принимается одинаковым, равным максимальному числу участков в кольце, имеющем место в данной сети. Во всех остальных кольцах с меньшим числом участков недостающие участки считаются фиктивными. В них сопротивления и первоначальные расходы принимаются равными нулю. Благодаря этому машина для всех колец должна производить одинаковое число операций в одной и той же последовательности.

Вместе с тем введение фиктивных участков не скажется на величине увязочного расхода кольца, благодаря тому, что произведения SQ и SQ^2 для фиктивных участков тождественно равны нулю из-за равенства нулю значений S .

В результате на фиктивных участках будут определены расходы, равные алгебраической сумме всех увязочных расходов данного кольца, вычисленных в процессе расчета. Эти расходы также являются фиктивными и не должны приниматься во внимание.

Таким образом, составив программу для одного кольца и указав число участков в кольце и число колец в сети, можно одну программу использовать для расчета любой сети. Разумеется, для каждой сети должны быть заданы свои исходные данные, указанные выше в п. 1 схемы расчета.

По указанному алгоритму решается целый ряд оптимизационных задач в системе водоснабжения.

В автоматизированной системе управления работой водоснабжения (АСУВ) наиболее часто решаемой задачей о сети является, как выше отмечалось, ее гидравлическая увязка. Такая задача может возникать, например, при отключении какого-либо участка для ремонта, подключении новых потребителей, при реконструкции и т. п. То же самое касается и теплогазоснабжения.

При расчете сети возникают трудности, вызванные ее большими размерами. Для гидравлической увязки большой сети требуется значительное машинное время, а для хранения данных о ней – большая оперативная память микро-ЭВМ. Чтобы сократить требуемое машинное время, надо провести серьезные исследования по выбору и подготовке новых методов расчета, а также по определению необходимой точности расчета и степени учета деталей начертания. Для сокращения нужной оперативной памяти предстоит разработать способы членения сети на части при ее гидравлическом расчете, что автором работы выполнено.

Для АСУВ автором составлены также программы расчета совместной работы насосов, резервуаров и сети; расчета гидравлического удара; оптимизации работы насосно-силового оборудования по критерию энергозатрат; оптимизации распределения потока между точками питания и т.п., а также разработана программа подбора электродвигателей для насосов системы водоснабжения.

Литература

1. Григоровский Е.П. Исследование динамики сетевых систем современными методами. – К.: Вища школа, 1979. – 199с.
2. Григоровский Е.П., Кайда Н.У. Автоматизация расчета многоконтурных сетевых систем. – К.: Вища школа, 1977. – 195с.
3. Михайлов В.С. АСУ та САПР. – Вінниця: МНВП, ІТІ, 1994. – 150 с.