

*А.Р. Хасанов, Т.А. Барбасова, О.В. Колесникова*

Предложен подход к расчету систем водоснабжения на основе построения макромоделей, позволяющих осуществлять моделирование динамических и статических режимов систем водоснабжения произвольной структуры, исходя из требуемого уровня детализации и наличия исходных данных по характеристикам сети.

Ключевые слова: моделирование; макромоделирование; система водоснабжения; подход; агрегирование.

Современные подходы к повышению энергетической эффективности систем снабжения энергоресурсами основаны на построении математических моделей сетей, позволяющих производить расчеты в статических и динамических режимах [1]. Данные расчеты связаны с составлением и решением системы дифференциальных и алгебраических уравнений. В связи со сложностью подобных систем уравнений, составляемых для крупных распределенных объектов, их решение целесообразно проводить численными методами с применением ЭВМ.

Подобное численное решение системы алгебраических уравнений может проводиться с использованием различных программных продуктов (например, ГИС Zulu, MS Excel, Matlab и т.д.). Однако в большинстве случаев это требует жёсткого задания уравнений рассматриваемой системы, в результате чего в процессе решения будет получено частное решение для одной конкретной конфигурации системы. При изменении конфигурации для перерасчёта требуется заново записать и ввести в программу уравнения изменённой системы, что значительно затрудняет расчёт.

Другой важной особенностью проведения расчетов крупных промышленных систем водоснабжения является ограниченный объем информации по детализации элементов распределительных сетей и потребителей, доступной для практического использования. Данная особенность требует использования специальных методов макромоделирования, не требующих чрезмерной детализации характеристик сети, с достаточной для практического применения точностью.

Для преодоления указанных недостатков предлагается подход к составлению и решению системы гидравлических уравнений на основе построения макромоделей системы водоснабжения предприятия, не требующей чрезмерной детализации характеристик сетей и позволяющей проводить расчет и анализ режимов водоснабжения с достаточной для практического применения точностью [2, 3].

Суть подхода к построению макромоделей гидравлических режимов системы водоснабжения состоит в представлении реальной водяной сети в

виде многоуровневой структуры с выделенными сетевыми районами, отдельными крупными потребителями и соединяющими их магистральными водопроводами (рис. 1).

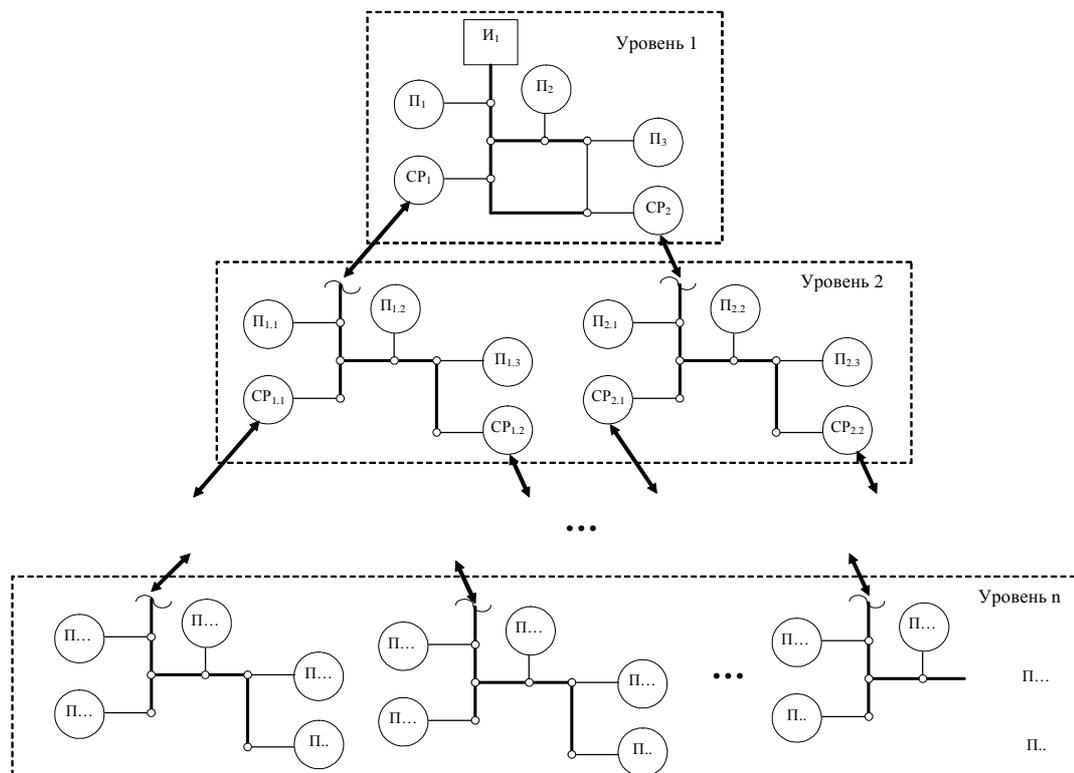


Рис. 1. Многоуровневая структура системы водоснабжения

В основу построения макромоделей системы водоснабжения положены следующие принципы:

1) сетевые районы ( $CP_i$ ) со сложной схемой сетевых соединений, содержащие большое количество относительно маломощных потребителей, рассматриваются как единый эквивалентный потребитель;

2) потребители ( $П_j$ ), подключенные непосредственно к магистральной сети, рассматриваются как таковые;

3) при необходимости более подробного рассмотрения параметров гидравлических режимов внутри отдельных сетевых районов может быть осуществлен переход на следующий уровень макромоделей, отражающий состояние потребителей ( $П_{i,k}$ ) и вновь выделенных сетевых районов ( $CP_{i,j}$ ) внутри сетевого района  $CP_i$ . При этом объект  $CP_i$ , являющийся потребителем на верхнем уровне макромоделей, выступает в роли источника для сетевого района  $CP_{i,j}$ .

Описанный подход дает возможность построить адекватную математическую макромодель сложной распределенной производственной системы водоснабжения предприятия в условиях ограниченного объема исходных данных.

Разработка программной математической макромоделей гидравлических режимов системы водоснабжения промплощадки предприятия должна основываться на результатах обследований, которые включают в себя данные

о параметрах и режимах работы оборудования насосных станций, а также данные о структуре, параметрах и режимах работы основных водопроводов и потребителей системы.

С учетом изложенного выше подхода составление и решение гидравлических уравнений предлагается осуществлять в среде моделирования и визуализации VisSim. Указанный программный продукт обладает целым рядом возможностей, позволяющих значительно упростить и ускорить процесс расчёта:

1) ввод уравнений путём выбора и соединения стандартных блоков (сумматоров, коэффициентов, интеграторов, нелинейных элементов и т.д.);

2) возможность объединения нескольких блоков в составной блок;

3) решение как дифференциальных, так и алгебраических уравнений в реальном или ускоренном времени;

4) возможность передавать по соединениям кроме скалярных сигналов также вектора и матрицы;

5) наличие в наборе стандартных блоков, а также блоков переключения сигналов и регистров-защёлок, позволяющих оперативно менять структуру уравнений;

6) возможность объединять в одной диаграмме и решать совместно уравнения, описывающие различные процессы, протекающие в системе.

При гидравлическом расчёте в большинстве случаев требуется рассчитать напоры и расходы воды в каждой точке системы. При расчёте режимов системы водоснабжения исходными данными для расчёта являются:

1) конфигурация гидравлической системы;

2) гидравлические сопротивления участков системы;

3) расходные характеристики и степени открытия регулирующих клапанов;

4) технические и нагрузочные характеристики насосов.

В среде моделирования VisSim все связи между блоками однонаправленные – от блока-источника сигнала к одному или нескольким блокам-потребителям сигнала. Таким образом, на верхнем уровне представления гидравлической схемы выделяются отдельные функциональные элементы в виде составных блоков (труба, задвижка, обратный клапан, насос и т.д.). Каждый такой элемент содержит в себе все уравнения, описывающие протекающие в нём процессы с заданным приближением. Направление соединения соответствует положительному направлению течения потока (расход  $G > 0$ ).

При таком представлении соединения между блоками ассоциируются с физическим подключением элементов друг к другу (т.е. с отрезком трубы). Для облегчения соединения элементов между собой и контроля возможных ошибок при наборе схемы по каждому из соединений передается вектор из двух параметров  $[H \ G]^T$ . Эти параметры представляют собой напор  $H$  [м] и расход  $G$  [м<sup>3</sup>/ч].

При этом принимаются следующие допущения:

1) вода является несжимаемой жидкостью;

2) гидравлические потери напора на участке между элементами системы отсутствуют.

Среда VisSim не может решать алгебраические уравнения, записанные в явном виде (с образованием алгебраических циклов). Это связано с особенностями расчёта схем средой VisSim. При обнаружении алгебраических циклов выдаётся сообщение об ошибке и моделирование прекращается. Поэтому для задания в диаграмме системы алгебраических уравнений она должна быть “разорвана” при помощи специальных блоков “unknown” и “constraint”.

Для решения алгебраических уравнений в среде VisSim они должны быть записаны в виде  $f(x)=0$ . При этом на каждом шаге моделирования VisSim будет находить такие значения элементов вектора  $x$ , которые обеспечивают равенство функции  $f(x)$  нулю с заданной точностью. Решение производится методом Ньютона-Рафсона.

При задании в диаграмме уравнений вида  $f(x)=0$  неизвестные параметры вектора  $x$  должны представляться в виде блока “unknown”. На вход этого блока подается начальное значение, с которого начинается решение алгебраических уравнений. Результат вычисленной по значениям выходов блоков “unknown” функции  $f(x)$  должен быть подан на вход одного (для скалярного случая) или нескольких блоков “constraint”. При этом процесс решения алгебраических уравнений средой VisSim можно представить как подбор на каждом шаге моделирования выходов блоков “unknown” до достижения всех входов блоков “constraint” нулевого значения (с заданной точностью).

Для того чтобы избежать алгебраических циклов в системе  $f(x)=0$  в качестве неизвестных величин выбираются значения расходов, а в качестве результата функции  $f(x)$  – ошибку вычисления давления в определенных точках схемы или ошибку вычисления расхода воды, поступающей на потребителя.

Пример построения системы водоснабжения в среде моделирования VisSim приведён на рисунке 2.

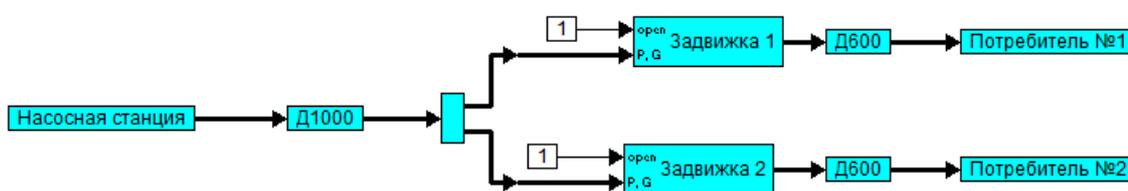


Рис. 2. Пример построения системы водоснабжения в среде VisSim

Представленная на рисунке 2 система водоснабжения состоит из двух ветвей (присутствует деление потока), поэтому система уравнений  $f(x)=0$  содержит два уравнения (1):

$$\begin{cases} G_{1p}^2 - G_1^2 = 0 \\ G_{2p}^2 - G_2^2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $G_{1p}=H_1/s_1$ ,  $G_{2p}=H_2/s_2$  – расчетные значения расходов воды, поступающей на потребители №1 и №2 соответственно;  $H_1, H_2$  – фактические значения напоров воды на входах потребителей №1 и №2 соответственно;  $s_1, s_2$  – гидравлические сопротивления потребителей №1 и №2 соответственно;  $G_1, G_2$  – фактические значения расхода воды, поступающей на потребители №1 и №2 соответственно.

Заметим, справедливость выражения (2):

$$G_2 = G - G_1, \quad (2)$$

где  $G$  – суммарный расход воды, поступающей на вход блока “деление потока”.

С учетом соотношения (2) система уравнений (1) принимает вид:

$$\begin{cases} G_{1p}^2 - G_1^2 = 0 \\ G_{2p}^2 - (G - G_1)^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

В качестве неизвестных величин в системе уравнений (1.3) являются расходы  $G_1$  и  $G$ , которые в среде Vissim задаются с помощью блока “unknown”.

Таким образом, получаем, что схема водоснабжения, представленная на рисунке 2, описывается системой (3) из двух алгебраических уравнений с двумя неизвестными  $G_1$  и  $G$ .

Одними из центральных задач создания макромоделей системы водоснабжения, являются:

- 1) информационная поддержка принятия решений по оперативному диспетчерскому управлению;
- 2) анализ эффективности гидравлических режимов функционирования системы водоснабжения;
- 3) планирование энергосберегающих мероприятий, направленных на совершенствование работы системы водоснабжения.

Для решения поставленных задач предложен подход к построению макромоделей гидравлических режимов системы водоснабжения промплощадки предприятия. Особенностью макромоделей, построенной на основе предложенного подхода, по сравнению с традиционными методами проведения гидравлических расчетов водяных сетей является отсутствие необходимости чрезмерной детализации характеристик сетей и потребителей при обеспечении достаточной для практического использования точности моделирования в условиях ограниченного объема исходных данных.

#### Библиографический список

1. Каганович, Б.М. Расчет сложных тепловых сетей / Б.М. Каганович, М.К. Такайшвили, С.В. Сумароков и др. // Водоснабжение и сан. техника. 1974. - № 4. - С. 18-19.

2. Гойтина, Е.В. Подход к автоматизированному анализу эффективности режимов теплоснабжения на основе макро моделирования / Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2007. - Вып. 5. - №7 (79). - С. 9 - 11.

3. Гойтина, Е.В. Методика идентификации параметров модели тепловой сети по данным эксплуатации / Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер// Автоматизация и современные технологии. 2007. - №9. - С. 20 - 22.

## Approach to modeling of systems of water supply of the enterprise

A.R. Khasanov, T.A. Barbasova, O. V. Kolesnikova

Approach to calculation of systems of water supply is offered on the basis of creation of the macromodels allowing to carry out modeling of the dynamic and static modes of systems of water supply of any structure proceeding from the demanded level of specification and existence of basic data according to characteristics of a network.

Keywords: modeling; macromodelling; system of water supply; approach; aggregation.

1. .Гойтина, Е.В. Методика идентификации параметров модели тепловой сети по данным эксплуатации / Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер// Автоматизация и современные технологии. 2007. - №9. - С. 20 - 22.

### References

1. B. M. Kaganovich, M. K. Takayshvili, S. V. Sumarokov and oth. [Calculation of Difficult Thermal Networks]. *Water Supply and Dignity Equipment*, 1974, No. 4, pp. 18–19. (in Russ.)
2. E.V. Goytina, D. A. Schnaider [Approach to the Automated Analysis of Efficiency of the Modes of Heat Supply on the Basis of Macromodelling]. *Bulletin of the South Uarl State University, Series "Computer Technologies, Control, Radio Electronics"*, 2007, vol. 5, No. 7 (79), pp. 9–11.
3. E.V. Goytina, D. A. Schnaider [Technique of Identification of Parameters of Model of a Thermal Network According to Data Exploitation]. *Automation and Modern Technologies*, 2007, No. 9, pp. 20–22.