дернизации экономики России. Появление современных математических методов и информационных технологий значительно расширяет возможности, повышает эффективность и обоснованность решения данных задач.

2. Задача схемно-параметрической оптимизации даже разветвленных ТСС, не говоря уже о многоконтурных, является сложной задачей невыпуклого программирования. Для ее решения дальнейшее развитие получили методы оптимизации и предложен новый алгоритм, реализация которого позволяет проводить расчеты ТСС любой сложности с любым множеством узлов, участков и контуров, учитывать иерархический характер построения систем, проводить параллельные расчеты нескольких подсистем.

3. Расширяемая архитектура программного комплекса обеспечивает организацию гибкой адаптивной модели управления вычислительным процессом, а представление его в виде программных компонентов придает ему универсальность и возможность многократного использования в различных программных реализациях при проектировании ТСС.

4. Применение разработанного программного комплекса СОСНА-М для принятия решений по управлению развитием ТСС повысит их эффективность и экономичность.

1.Стенников В.А., Сеннова Е.В., Ощепкова Т.Б. Методы комплексной оптимизации развития теплоснабжающих систем // Извести РАН. Энергетика. – 2006. – №3. – С.44-54.

2.Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения / А.П. Меренков, Е.В. Сеннова, С.В. Сумароков, В.Г. Сидлер, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников, В.Р. Чупин. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская изд. фирма, 1992. – 407 с.

3.Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

4.Левитин А. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. – М.: Вильямс, 2006. – 576 с.

Получено 10.11.2011

УДК 628.153 : 628.17

Н.В.ФЕДОРОВ, А.М.ХРЕНОВ, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ С ПЕРЕТОКОМ

Рассматривается алгоритм решения задачи построения и расчета математической модели функционирования тепловой сети в случае, когда между напорной и обратной сетями существует непосредственная связь.

Розглядається алгоритм рішення задачі побудови і розрахунку математичної моделі функціонування теплової мережі у випадку, коли між напірною і зворотною мережами існує безпосередній зв'язок.

The algorithm of solution the problem of construction and calculation mathematical model the operation a thermal network is esteemed in a case, when there is a direct connection between pressure head and return networks.

Ключевые слова: сеть, теплоснабжение, модель, граф, дуга, узел, поток, алгоритм, уравнение, функция, потокораспределение, давление, гидравлика, насос, управление, ограничение, минимум, эффективность.

Сети теплоснабжения представляют собой один из видов инженерных сетей. Для эффективной и надежной эксплуатации таких сетей важно уметь моделировать их режимы функционирования.

Вопросам применения системного подхода, а также построения эффективных моделей тепловых сетей посвящены работы [1-3].

Рассмотрим математическую модель системы теплоснабжения. Структуру сети можно описать в виде направленного графа. Дуги графа соответствуют участкам трубопроводов. Узлы соответствуют элементам трех типов: а) входам сети; б) выходам сети; в) соединениям отдельных участков труб.

Сеть теплоснабжения можно разделить на две части: сеть напорную и сеть обратного потока. По напорной сети теплоноситель поступает к потребителю, а по сети обратного потока он возвращается на ТЭЦ и на насосы котельной.

Входами сети будем считать выходы ТЭЦ и котельных (для напорной сети), а также выходы теплораспределительных станций (ТРС) в обратную сеть, и выходы потребителей, непосредственно подключенных к сети (тоже в обратную сеть). Выходами сети будем считать входы ТРС и потребителей непосредственно подключенных к сети для напорной сети, и входы на ТЭЦ и насосы котельных для обратной сети.

Если между напорной и обратной сетями нет связи, кроме как через ТРС и потребителей, то модель структуры такой сети будет представлять собой два несвязанных между собой графа. В этом случае расчет моделей процессов потокораспределения в прямой и обратной сетях может производится отдельно. Нас будет интересовать случай когда между напорной и обратной сетями существует непосредственная связь (такие ситуации в практике случаются). Тогда модель структуры сети системы теплоснабжени представляет собой один связный граф.

Дополним этот граф фиктивной «нулевой» точкой из которой направим фиктивные дуги во все входы, и в которую направим фиктивные дуги из всех выходов.

Расход воды по i-му реальному участку и давления в конце и начале участка связаны уравнением

$$P_{in} - P_{ik} - c_i q_i^{\alpha} |q_i| = 0, \qquad (1)$$

где P_{in}, P_{ik} – давления в конце и начале участка; c_i – коэффициент гидравлического сопротивления; q_i – расход воды по i-му участку; α – константа.

Исходными данными для моделирования потокораспределения кроме структуры сети являются также давления и расходы воды на входах и выходах ТЭЦ, насосов котельных и ТРС.

В дальнейшем будем рассматривать систему, имеющую один источник теплоснабжения.

Построим дерево графа сети таким образом, чтобы в него вошла фиктивная ветвь, соответствующая входу с заданным давлением (присвоим этой дуге номер 1), а остальные ветви были реальными.

Дуги не вощедшие в дерево называются хордами. Каждая хорда замыкает цикл, состоящий из ветвей дерева и соединяющих концы хорды (фундаментальный цикл). Если для каждого такого цикла просуммировать уравнения вида (1), то получим следующую систему уравнений:

$$c_r q_r^{\alpha} |q_r| + \sum_{i \in M_1} b_{ri} c_i q_i^{\alpha} |q_i| = 0 \qquad r \in M_2; \qquad (2)$$

$$P_{1k} - P_{rk} + \sum_{i \in M_1} b_{1ri} c_i q_i^{\alpha} |q_i| = 0 \qquad r \in L_1; \qquad (3)$$

$$-P_{1k} + P_{rk} + \sum_{i \in M_1} b_{1ri} c_i q_i^{\alpha} |q_i| = 0 \qquad r \in L_2, \qquad (4)$$

где M_1 – множество реальных ветвей дерева; M_2 – множество реальных хорд дерева; L_1 – множество хорд графа, соответствующих входам сети; L_2 – множество хорд графа, соответствующих выходам сети.

b_{ri}=
- 1, если i-я дуга входит в r-й фундаментальный цикл и ее направление совпадает с направлением хорды r в этом цикле;
- -1, если i-я дуга входит в r-й фундаментальный цикл и ее направление противоположно направлению хорды r в этом цикле;
- 0, если i-я дуга не входит в r-й фундаментальный цикл.

Значения в ветвях дерева выразим через расходы в хордах

$$q_i = \sum_{r \in M_2 \cup L_1 \cup L_2} b_{ri} q_r \qquad i \in M_1. \qquad (5)$$

Если задать значения $q_r (r \in L_1 \cup L_2)$, то можно решить систему

(2) относительно неизвестных $q_r(r \in M_2)$. Таким образом мы можем определить расходы по всем участкам сети. Затем по формулам (3) и (4) при заданном значении P_{1k} определяем $P_{rn}(r \in L_2)$ и $P_{rk}(r \in L_1)$, или иными словами давления на входах и выходах ТРС, потребителей непосредственно подключенных к сети и выходах из обратной сети.

Значения давлений на ТРС и выходе из обратной сети используются для проверки адекватности модели.

Из расходов нам известны общий расход на прямой и обратной сети и расходы на ТРС, но неизвестны расходы у потребителей непосредственно подключенных к сети. Будем полагать, что для каждого такого потребителя нам известен некоторый весовой коэффициент определяющий его долю в общем расходе Q потребителей данного типа. Задав значение Q, можно задать и все значения $q_r(r \in L_1 \bigcup L_2)$.

Рассчитав модель при произвольно выбранном Q, получим значение давления на входе ТЭЦ (или котельной), естественно, отличающееся от измеренного. Обозначим это расчетное давление $P_{sn}(Q)$ $(s \in L_2)$, а измеренное P^*_{sn}. Очевидно, что действительная величина Q может быть найдена в результате решения уравнения

$$P_{sn}(Q) = P^*_{sn}. \tag{6}$$

Это уравнение можно решить каким либо численным методом (например методом дихотомии), выбрав в качестве исходного диапазона значения $\left[Q^+, Q^{++}\right]$. При этом на каждом шаге итерации для текущего значения Q_i необходимо выполнять гидравлический расчет системы теплоснабжения.

Для того, чтобы в два раза сократить размерность решаемой системы уравнений, в случае когда прямая и обратная сеть имеют непосредственную связь, поступим следующим образом. Разорвем полученный граф сети на середине дуги, связывающей часть графа, соответствующую прямой сети, с частью графа соответствующей обратной сети. Будем рассматривать эти две части как два отдельных графа. В точке разрыва, в том графе, который соотвествует прямой сети, введем фиктивный выход, а в том графе, который соответствует обратной сети, введем фиктивный вход. Обозначим расход, который проходит по участку, связывающему прямую и обратную сети, q_f. Это означает, что этот же расход проходит по введенным фиктивным выходу и входу. Задав некоторое значение q_f, можно определить общий расход Q_{ps}, приходящийся на потребителей, подключенных непосредственно к сети, из формулы

$$Q_{ps} = Q_s^* - Q_{trs} - q_f , \tag{7}$$

где Q_s^* – общий расход по сети (измеренная величина); Q_{trs} – сумма расходов по ТРС (расходы на ТРС измеряются).

Зная Q_{ps}, задаем значения расходов у отдельных потребителей. Затем проводим отдельно расчет прямой и обратной сетей. Давление в точке разрыва, полученное при расчете прямой сети, обозначим $P_{f1}(q_f)$, а при расчете обратной сети – $P_{f2}(q_f)$. Эти давления, очевидно, должны быть равны. Поэтому неизвестное значение q_f определяется из уравнения

$$P_{f1}(q_f) = P_{f2}(q_f). \tag{8}$$

Это уравнение также может быть решено одним из численных методов, поиск q_f ведется в заранее определенном диапазоне $\left[q_f^+, q_f^{++}\right]$. На каждом шаге итерации для текущего значения q_{fi} необходимо выполнять гидравлический расчет как прямой, так и обратной сети.

Как правило, прямая и обратная сети имеют одну и ту же структуру и трубы с одинаковыми параметрами. Поэтому, если эти сети не имеют непосредственной связи, кроме как через потребителей, для их расчета можно использовать одну и ту же систему уравнений. Если для расчета прямой сети задается давление на выходе ТЭЦ и расходы у потребителей, то при расчете обратной сети нужно задавать давления на входе ТЭЦ и расходы у потребителей со знаком минус.

Проверка результатов расчетов подтвердила их адекватность измеренным на реальной сети параметрам. Поэтому предложенный алгоритм можно рекомендовать для моделирования режимов функционирования сетей, имеющих рассмотренную в работе структуру.

1.Спицнадель В.Н. Основы системного анализа — СПб.: Изд. дом «Бизнесс-пресса», 2000. – 326 с.

2.Чистович А.С., Харитонов В.Б. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления. – СПб., 2009. – 328 с.

3.Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – М., 2008. – 488 с.

Получено 07.11.2011