

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.592

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

К.В. Логинов
e-mail: kvl@univer.omsk.su

Омский государственный университет, г. Омск, Россия

Статья поступила 7 августа 2004 г.

Введение

В ОмГУ разработана система моделирования на ЭВМ тепловых сетей крупного города: расчет потокораспределения, давлений в узлах, расчет тепловых потерь на участках и температур теплоносителя. В качестве основы для модели принята принципиальная схема теплосети (рис. 1), что позволяет обеспечить необходимую гибкость моделирования как штатных так и аварийных ситуаций.

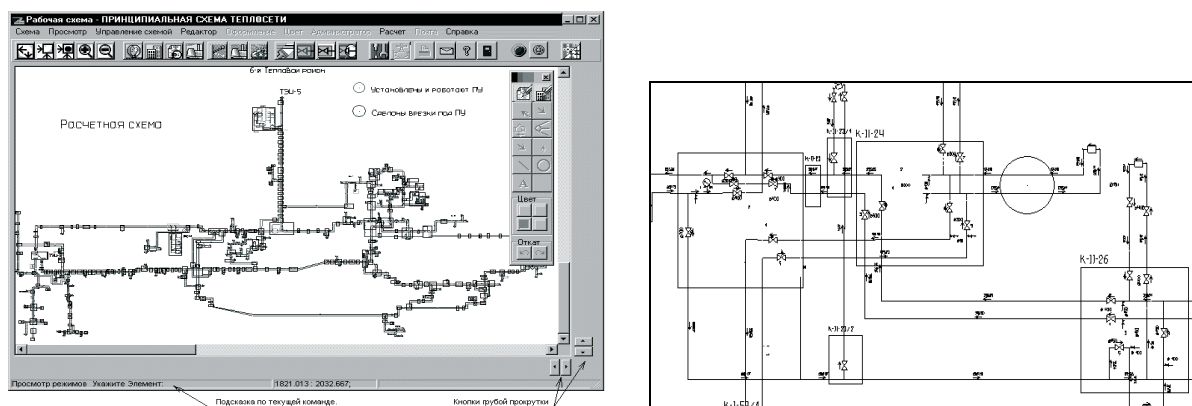


Рис. 1. Основное окно интерфейса оболочки и фрагмент принципиальной схемы теплосети

Графическое представление принципиальной схемы выполняется в 2-х трубном исполнении, то есть на схеме присутствует как прямой так и обратный трубопровод, что обеспечивает отображение любой возможной топологии сети; такой подход выгодно отличается от однолинейной схемы, применяемой во многих системах моделирования; однолинейная схема не позволяет отобразить любую возможную топологию, а лишь конечный набор вариантов связей, заложенных в систему.

В данной статье рассматривается решение задачи потокораспределения для сети, имеющей 5000—10000 тысяч участков и регуляторы расхода и напора.

1. Решение задачи потокораспределения

Рассмотрим схему с установившимся движением жидкости, состоящую из n участков, m узлов и k линейно независимых контуров ($k = n - m + 1$).

Одна из возможных математических моделей потокораспределения для тепловых сетей сводится к системе уравнений, состоящей $m-1$ линейных уравнений, соответствующих первому закону Кирхгофа, и k нелинейных уравнений, соответствующих второму закону Кирхгофа.

$$\begin{cases} \sum_j Q_j = Q_i, & j = 1, \dots, m-1; \\ \sum_c S_i X_i |X_i| = H_c, \end{cases} \quad (1)$$

где X_j — расходы в узле j , Q_j — утечки ($Q_j > 0$) или притоки ($Q_j < 0$) в узле j ; значения Q_j должны быть заданы таким образом, чтобы имел место их общий нулевой баланс по всем m узлам схемы; S_i, X_i — гидравлическое сопротивление и расходы на всех участках i контура c ; H_c — алгебраическая сумма действующих напоров на всех участках контура c .

Систему (1) уравнений обычно решают используя увязочные методы с определением «увязочных расходов» по формуле Андрияшева — Лобачева — Кросса или формуле, использующая модификацию Л. Выханду метода Ньютона — Рафсона [1], которые очень выгодны с точки зрения вычислительных затрат, но на реальных схемах со сложной топологией во многих случаях не обеспечивает сходимости итерационного процесса, особенно для сетей, на которых установлены регуляторы расхода или давления.

Как показала практика расчетов система уравнений (1) хорошо решается с помощью метода последовательных приближений, предложенного Р.Т. Файзуллиным, который обеспечивает сходимость на системах с числом неизвестных 5 000—10 000 при небольшом числе итераций [2].

В работе [2] показано, что такой метод решения обеспечивает сходимость на системах с числом неизвестных 5 000—10 000 при этом число итераций не превышает 50.

2. Процедуры для учета регуляторов расхода, давления и обратных клапанов

Для расчета потокораспределения в сетях, оснащенных регуляторами расхода, давления и обратными клапанами в процедуре решения уравнений потокораспределения (1) предусмотрены действия по изменению (вычислению) гидравлического сопротивления участков, соответствующих регуляторам. Эти действия выполняются при выполнении определенных условий, например при достижении невязки величины, которая меньше заранее установленной величины. После получения вектора решений (расходов) на итерации уточняется сопротивления регулирующих элементов. Основным цикл итераций завершается при условии, что признаки регулирования для всех регуляторов находятся в состоянии «завершено».

2.1. Вычисление сопротивлений обратных клапанов

Обратный клапан — это регулятор пропускающий расход жидкости только в одном направлении, если жидкость течет в обратном направлении, то обратный клапан закрывается.

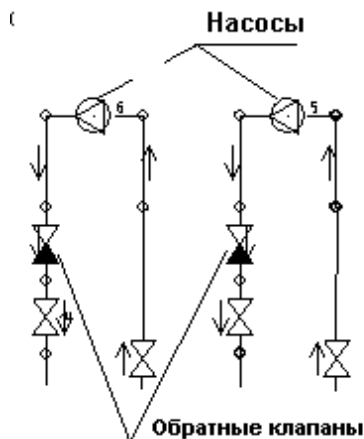


Рис. 2. Схема включения обратных клапанов

Закрытие обратного клапана имитируется увеличением его сопротивления до величины $S_{\max} = 1E + 06$. Однако следует иметь в виду, что скачкообразное изменение сопротивления регулятора с номинального сопротивления до максимального на больших схемах со сложной топологией приводит к нарушению сходимости вычислительного процесса. Поэтому в предлагаемом алгоритме сопротивление при закрытии обратного клапана увеличивается постепенно (в 100 раз на каждом шаге итерации). Регулирование заканчивается когда сопротивление достигает величины S_{\max} это соответствует полностью закрытому клапану. В случае если направление течения жидкости правильное, сопротивлению присваивается величина S_{\min} .

2. 2. Вычисление сопротивлений регуляторов расходов

Вычисление нового сопротивления регуляторов расхода проводится после получения решения (расходов) на каждой итерации, где значения невязки напоров меньше 10 м.

Пусть S_{\min} — сопротивление регулятора при полностью открытом клапане, S_{\max} — сопротивление регулятора при полностью закрытом клапане, S_{new} — новое вычисленное сопротивление, S_{cur} — текущее сопротивление с предыдущей итерации (первоначально равно S_{\min}), X — расход через регулятор, Q — расход, который должен поддерживать регулятор, $RegFlag$ — состояние процесса регулирования, Nr — заданная допустимая невязка по расходам.

Следующие действия проводятся на каждой итерации где значения невязки напоров меньше 10 м.

1. Подсчитывается новое сопротивление регулятора по формуле приведенной в [1]

$$S_{new} = \frac{S_{cur} X^2}{Q^2}. \quad (2)$$

2. В следствии того, что вычисление сопротивления регулятора по формуле (2) на больших схемах со сложной топологией приводит к нарушению сходимости вычислительного процесса новое сопротивление пересчитывается по формуле (3)

$$S_{new} = 0,5(S_{new} + S_{cur}). \quad (3)$$

Рациональность (3) подтверждена на практике.

Признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 1.

3. Если $S_{new} < S_{\min}$, то принимается $S_{new} = S_{\min}$, то есть регулятор полностью открыт.

Признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0.

4. Если $S_{new} > S_{\max}$, то принимается $S_{new} = S_{\max}$, то есть регулятор полностью закрыт.

Признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0.

5. При смене направления (опрокидывании потока)

для $|X| \geq Q$ принимается $S_{new} = 0,5(S_{\min} + S_{cur})$,

для $|X| < Q$ принимается $S_{new} = 0,5(S_{\max} + S_{cur})$.

6. Признак невязки по расходу фиксируется при выполнении неравенства

$$100 \frac{||X| - Q|}{Q} < Nr, \quad (4)$$

где Nr — заданная допустимая невязка по расходам.

При выполнении условия (4) признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0.

2.3. Вычисление сопротивлений регуляторов давления

Регуляторы давления должны обеспечить заданное давление в узле схемы, с которым они связаны линией обратной связи. Различают регуляторы давления «после себя» и «до себя» (рис. 3).

Регуляторы «после себя» для увеличения давления в регулируемом узле — открываются, а для уменьшения — закрываются.

Пусть S_{\min} — сопротивление регулятора при полностью открытом клапане, S_{\max} — сопротивление регулятора при полностью закрытом клапане, S_{new} — новое вычисленное сопротивление, S_{cur} — текущее сопротивление с предыдущей итерации (первоначально равно S_{\min}), X — расход через регулятор, HRD — пьезометрический напор в регулируемом узле, который необходимо обеспечить, H — текущий пьезометрический напор в регулируемом узле, $delta_rd$ — заданная допустимая невязка регулируемого, $RegFlag$ — состояние процесса регулирования.

При выполнении условий начала регулирования выполняются следующие действия.

1. Вычисляется H — текущий пьезометрический напор в регулируемом узле.

2. Если $(H - HRD) < delta_rd$, то есть выполнено условие регулирования, то

признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0,
конец процедуры.

3. Подсчитывается новое сопротивления регулятора по формуле приведенной в работе [1]

$$S_{new} = S_{cur} + DOLA \operatorname{sign} \frac{|HRD| - H}{X^2}; \quad (5)$$

где $\operatorname{sign} = +1$, если регулятор «после себя»; $\operatorname{sign} = -1$, если регулятор «до себя».

Величина DOLA в работе [1] равна 1.

Но так как при DOLA=1 часто не обеспечивается сходимость вычислений на схемах с большим числом участков и сложной топологией, мы предлагаем применять DOLA = 0,5.

4. Если $S_{new} < S_{\min}$, то принимается $S_{new} = S_{\min}$, то есть регулятор полностью открыт. Признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0.

5. Если $S_{new} > S_{\max}$, то принимается $S_{new} = S_{\max}$, то есть регулятор полностью закрыт.

Признак состояния процесса $RegFlag$ устанавливается 0.

Типичное поведение невязки на каждой итерации метода последовательных приближений для гидравлической сети, которая содержит регуляторы расхода, давления и обратные клапаны, показано на рис. 4.

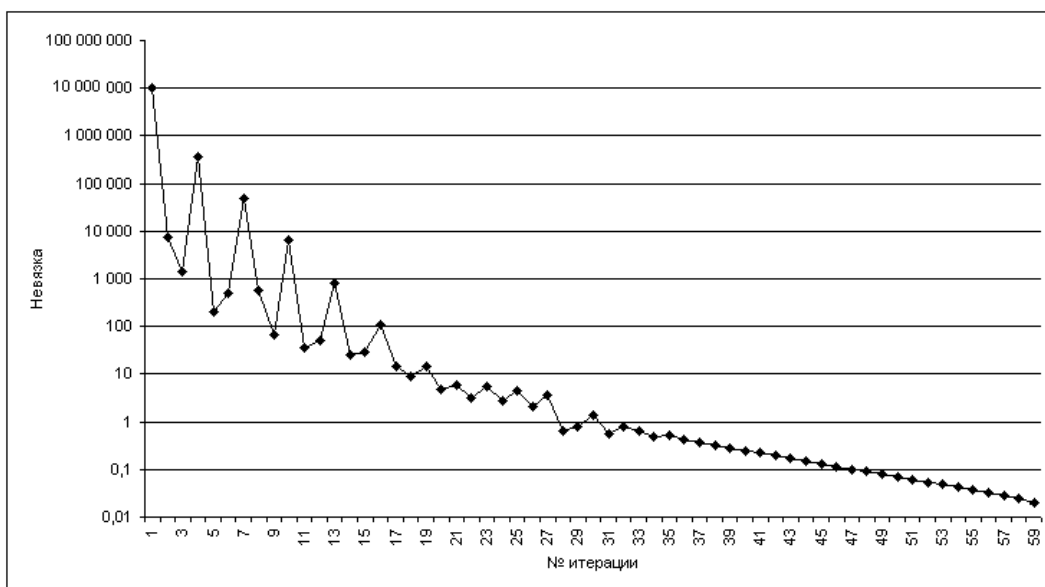


Рис. 4

Заключение

Система моделирования тепловых сетей крупного города разработана в Омском государственном университете и внедрена в АК «Омскэнерго». Разработанные алгоритмы решения задачи потокораспределения, основанные на методе последовательных приближений, обеспечивают сходимость на системах с числом неизвестных 5 000—10 000 при этом число итераций не превышает 50; число регуляторов, параллельно работающих в сети источников напора — не ограничено. Удобная интерактивная оболочка для работы с принципиальной схемой сети ориентированна на инженеров, эксплуатирующих тепловые сети.

Список литературы

1. Хасилев В.Я., Меренков А.П. и др. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. М.: Энергия, 1978. 174 с.
2. Жихалкина Н.Ф., Логинов К.В., Семин С.Л., Файзулин Р.Т. Поиск оптимальных режимов работы больших гидросетей и нефтепроводов. Омск: Омский государственный университет, 1999. 95 с.