

зоны на две и более зоны (с меньшей протяженностью трубопроводов) путем ввода новых существенных задвижек. Функциональную надежность сети относительно потребителей АРЗ, которая не стыкуются с источником ЦП, можно повысить за счет увеличения технической надежности этой зоны или за счет увеличения функциональной надежности сети относительно этой же зоны. Для зон, в которые ЦП от источника попадает, минуя другие зоны, повышение надежности может быть достигнуто и за счет дробления АРЗ, а также за счет структурных изменений сети, а именно: закольцовывания сети, увеличения числа альтернативных путей доставки ЦП от источника в зону.

1. Надежность систем энергетики и их оборудования. В 4-х т. Т.4. Надежность систем теплоснабжения / Под общ. ред. Ю.Н.Руденко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 351 с.

2. Самойленко Н.И. Компьютерные интегрированные информационно-графические технологии рациональной эксплуатации и развития инженерных сетей: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Харьков. гос. техн. ун-т радиоэлектроники. – Харьков, 1996. – 45 с.

3. Рудь И.А. Методы, критерии и алгоритмы принятия решений по эксплуатации и развитию инженерных сетей с учетом их надежности: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Харьков, 2001. – 153 с.

Получено 24.03.2008

УДК 697.33 : 621.8.06 : 697.34

Н.А.ШУЛЬГА, А.А.БОБУХ, С.Ю.АНДРЕЕВ, кандидаты техн. наук,
Д.А.КОВАЛЕВ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются некоторые вопросы оптимального распределения тепловой энергии в закрытой системе централизованного теплоснабжения (СЦТ) на примере центрального теплового пункта (ЦТП).

В настоящее время количество объектов жилищно-коммунального хозяйства, оборудованных теплосчетчиками, непрерывно увеличивается ввиду учета фактически потребляемой тепловой энергии и оплаты за нее. Поэтому актуальным является решение задач оптимального распределения тепловой энергии между всеми ступенями [1] закрытой СЦТ. Одним из вариантов этих решений может быть перераспределение тепловой энергии распределяемой ЦТП между индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП). При формальной постановке задачи оптимального распределения тепловой энергии между всеми ступенями закрытой СЦТ и управления отдельными технологическими

процессами этих ступеней первостепенным является определение функциональной схемы решения приведенных задач (рис.1).

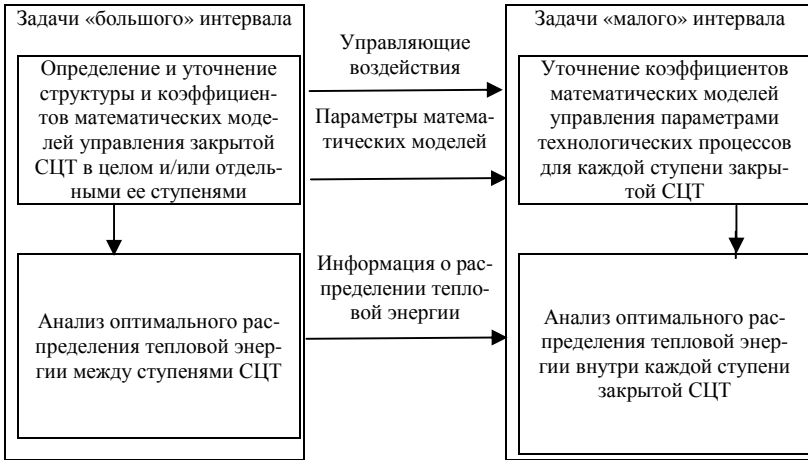


Рис.1 – Функциональная схема решения задач управления и оптимального распределения тепловой энергии закрытой СЦТ

Практическое выполнение предлагаемой стратегии оптимального распределения тепловой энергии между всеми ступенями закрытой СЦТ и управления отдельными технологическими процессами этих ступеней может быть успешно решена, если эту стратегию условно разделить на два интервала. Первый из них назовем «большим» и определим продолжительностью в 8 ч (продолжительность рабочей смены непрерывного производства). Второй – «малый», он функционирует в пределах «большого» интервала. Для «большого» интервала характерными могут быть задачи определения и уточнения структуры и коэффициентов математических моделей управления закрытой СЦТ в целом и/или отдельными ее ступенями, а также анализ оптимального распределения тепловой энергии в этой системе. Характерными задачами «малого» интервала могут быть: уточнение коэффициентов математических моделей управления параметрами технологических процессов для каждой ступени закрытой СЦТ, а также определение оптимального распределения тепловой энергии каждой ступени закрытой СЦТ (например, жилых домов, оборудованных теплосчетчиками) и уточнение коэффициентов математических моделей управления отдельными параметрами технологического процесса.

С учетом вышесказанного рассмотрим формальную постановку задачи оптимального распределения тепловой энергии одного из ЦТП между ИТП на примере Московского района тепловых сетей г.Харькова.

Для реального объекта управления ЦТП (ТРС 604/2) тепловая энергия распределяется между i ИТП, где $i = \overline{1, 28}$, расположенными в жилых домах и общественных зданиях, оснащенных теплосчетчиками. В результате проведения пассивного эксперимента были получены следующие данные параметров теплоносителя: температура наружного воздуха ($T_{н.в}$), °С; температура теплоносителя в подающем ($T_{под}$) и обратном ($T_{обр}$), °С трубопроводах отдельных разводящих тепловых сетей; давление теплоносителя в подающем ($P_{под}$) и обратном ($P_{обр}$), МПа трубопроводах отдельных разводящих тепловых сетей; расход теплоносителя в подающем трубопроводе отдельных разводящих тепловых сетей ($F_{под}$), м³/ч; и количество теплоты, поступающее в ЦТП ($Q_{под}$), Гкал/ч. По этим данным, используя метод наименьших квадратов, были получены математические модели для трех ИТП и систем отопления (СО), расположенных в жилых домах, что для решения рассматриваемой задачи в первом приближении в общем виде вполне достаточно.

Рассмотрим формальную постановку задачи управления количеством распределяемой на ЦТП тепловой энергии ($Q(t)$), Гкал/ч) между i ИТП, на «большом» интервале времени:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^{28} Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i), \quad (1)$$

где x_{1i} – входной параметр – расход теплоносителя, поступающего из ЦТП в подающие трубопроводы отдельных разводящих тепловых сетей ($F_{под}$); x_{ji} – контролируемые входные параметры ($T_{н.в}$, $T_{обр}$, $P_{под}$, $P_{обр}$), $j = \overline{2, 5}$; y_i – управляемый (выходной) параметр – температура теплоносителя в подающем трубопроводе отдельных разводящих тепловых сетей ($T_{под}$);

с учетом линейности моделей и ограничений:

$$y_i(t) = \sum a_{1i}x_{1i} + a_{ji}x_{ji} + a_{oi} + \xi_i, \quad (2)$$

где a_{1i}, a_{ji}, a_{oi} – коэффициенты при входных параметрах и свободный член соответственно; ξ_i – погрешность вычислений,

при этом:

$$y_i^{\min} \leq y_i(t) \leq y_i^{\max}; \quad (3)$$

$$x_{1i}^{\min} \leq x_{1i}(t) \leq x_{1i}^{\max}. \quad (4)$$

В общем виде среднее количество потребляемой тепловой энергии ($\overline{Q}(t)$, Гкал) за дискретное время (t) определяется:

$$\overline{Q}(t) = \frac{\overline{G}(t) \cdot \Delta T \cdot k_\phi \cdot k_T}{1000}, \quad (5)$$

где $\overline{G}(t)$ – средний объем теплоносителя проходящего через СЦТ за дискретное время (t), определяемый по формуле

$$\overline{G}(t) = \overline{F} \cdot t \quad \text{или} \quad \overline{G}(t) = \overline{x_{1i}} \cdot t, \quad (6)$$

где \overline{F} – расход теплоносителя, м³/ч; ΔT – разница средних значений температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, °С; k_ϕ – коэффициент, величина которого определяется по физическим свойствам теплоносителя; k_T – коэффициент, значение которого зависит от единицы измерения потребляемой тепловой энергии.

Поэтому в частном случае, используя (1), получаем:

$$Q(t) = \max_{x_{1i}} \sum_{i=1}^n \max_{\substack{x_{ji} \\ j \neq 1}} Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i). \quad (7)$$

Рассмотрим предлагаемый способ оптимизации $Q(t)$. При формальной постановке задачи управления, задача оптимизации, с учетом (7), распадается на n задачи оптимизации пониженной размерности и задачу определения оптимума по x_{ji} . Рассмотренную задачу можно интерпретировать так, как это приведено на рис.2, т.е. для конкретного ЦТП, который (путем выдачи координирующих воздействий – расхода теплоносителя заданной температуры, связанных ограничениями (7), определяет режим поиска оптимумов распределения количества тепловой энергии, по каждому из 28 ИТП. В результате найденных оптимумов в ЦТП формируется полная функция распределения количества тепловой энергии при заданных координирующих воздействиях, и формируются новые координирующие воздействия с целью поиска оптимума полной функции распределения количества тепловой энергии. Для системы управления i ИТП дополнительной информацией является погрешность вычислений распределения количества тепловой

энергии по формуле (1), которая в предположении, что величины управляющих воздействий задаются точно, определяется точностью идентификации моделей (2). При заданной точности моделей (2) погрешность формулы (1) можно определить в виде:

$$\Delta Q(t) = \sum_{i=1}^{28} \sum_{j=2}^5 \left| \frac{\partial Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)}{\partial y_i} \right| \Delta y_i, \quad (8)$$

где $\Delta Q(t)$ – погрешность вычисления количества тепловой энергии; Δy_i – погрешности моделей.

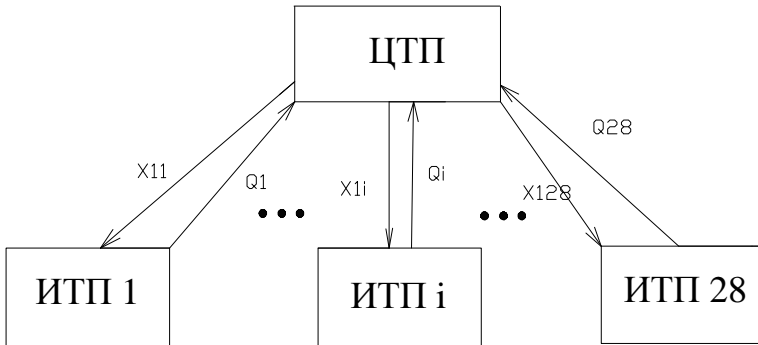


Рис.2 – Структурная схема декомпозиции задачи оптимального распределения тепловой энергии в ЦТП между ИТП

Отметим, что если погрешность вычисления распределения количества тепловой энергии превосходит некоторый предел, то на основе (8) путем анализа можно определить, в каких контурах идентификации и в какой степени необходимо повысить точность идентификации. Кроме того, выражение (8) можно интерпретировать как функцию чувствительности оценки распределения количества тепловой энергии к изменению точности идентификации.

Важность определения погрешности оценки распределения количества тепловой энергии обусловлена тем, что эта оценка позволяет определить интервал изменения вычисленной величины распределения количества тепловой энергии и интервал изменения управляющих воздействий, для которых разница между истинным распределением количества тепловой энергии и оцененным – не превосходит величины рассмотренной погрешности. Тем самым, указанный интервал изменения управляющих воздействий приближенно определяет величину

возможной (допустимой) дискретизации управляющих воздействий.

Формально определим величину дискретизации управляющих воздействий x_{1i} в предположении, что эта величина одинакова для всех ИТП. Введем функцию чувствительности в виде:

$$\Delta Q(t) = \sum_{j=2}^5 \left| \frac{\partial Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)}{\partial x_{1i}} \right| \Delta x_{1i}. \quad (9)$$

Здесь Δx_{1i} представляют собой искомые величины дискретизации x_{1i} . Положив Δx_{1i} равными и воспользовавшись (8), получаем:

$$\Delta x_{1i} = \frac{\sum_{i=1}^{28} \sum_{j=2}^5 \left| \frac{\partial Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)}{\partial y_i} \right| \Delta y_i}{\sum_{j=2}^5 \left| \frac{\partial Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)}{\partial x_{1i}} \right|}. \quad (10)$$

Таким образом, задачу поиска координирующих воздействий в непрерывной области можно заменить задачей оптимизации в дискретной области с "разумной" оценкой погрешности в смысле (8)-(10). Следует подчеркнуть, что, для решения задач оптимизации распределения количества тепловой энергии по каждому из i ИТП при фиксированных значениях координирующих воздействий, дискретизация управляющих воздействий с последующей оптимизацией и оптимизация в непрерывном варианте существенно отличаются.

Определение оптимума (7) при ограничениях (2)-(4), известных максимумах $Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)$ и фиксированных значениях x_{1i} (определенных с интервалом дискретизации Δx_{1i}) сводится к задаче поиска пути максимальной длины на сети, а связи – величины распределения количества тепловой энергии при переходе от одной ступени СЦТ к другой.

Задачи приведенного класса решаются с применением метода динамического программирования [2-4]. Сформируем рекуррентные функциональные уравнения Беллмана и ограничения, имеющие непосредственное отношение к рассматриваемой задаче:

$$f_i(x_{1i}, Q(t)) = \max_{x_{ji}} (Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i) + f_{i-1}(x_{1i-1}, Q(t)_{i-1})), \quad (11)$$

где $Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i) = \max_{x_{ji}} Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)$.

Для решения задач, подобных задаче (1) при ограничениях (2)-(4), используется метод штрафных функций [2-4]. В этом случае выражения для определения распределения количества тепловой энергии между ИТП представляются в модифицированную функцию цели

$$Q(t) = Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i) + \sum_j \frac{\alpha_j}{h_j} + \sum_k \alpha_k g_k^2, \quad (12)$$

где h_j – левая часть ограничений вида неравенств, приведенных к форме $h_j > 0$; g_k – ограничения вида равенств; α_j, α_k – параметры, подбираемые при вычислении оптимума ($\alpha_j, \alpha_k > 0$).

Решение задачи определения оптимума (12) методами нелинейного программирования ведет к определению локального оптимума $Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)$ при определенных выше ограничениях. Поиск глобального оптимума (12) при сложном виде $Q_i(x_{1i}, x_{ji}, y_i)$ может оказаться существенно более трудоемким [2-4].

Выше приведен алгоритм вычисления управляющих воздействий для ЦТП на «больших» интервалах времени. Он позволяет определить оптимальные значения управляющих воздействий, а следовательно, и зависящих от них качественных показателей ведения технологического процесса во все моменты времени, для которых будет решаться задача стабилизации. То есть, учитывая качественные показатели технологического процесса, определяется плановая траектория (программа), относительно которой решается задача стабилизации на «малых» интервалах времени.

1.Шульга Н.А., Бобух А.А., Ковалев Д.А. Исследование закрытой системы централизованного теплоснабжения как сложного объекта управления // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.72. – К: Техніка, 2006. – С.164-169.

2.Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: ИЛ, 1960. – 351с.

3.Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. – М.: Мир, 1969. – 118 с.

4.Хвостенко Е.С. Динамическое программирование. – Днепропетровск: ДГУ, 1980. – 92 с.

Получено 18.12.2007