

U.D.C. 697.34 [51-74: 624.04]

УДК 697.34 [51-74:624.04]

MATHEMATICAL MODELLING AND OPTIMIZATION OF THERMAL REGIMES CONTROL IN LARGE DISTRICT HEATING SYSTEMS

D.V. Zhukov, Applicant
Omsk State Transport University, Russia

The article describes mathematical model of a thermal modes of heated buildings and main principles of optimum control by thermal and hydraulic modes in systems of the centralized heat supply. The technique of development of the dispatching schedule of thermal loadings is offered.

Keyword: heat supply, heat supply networks, thermal regime, regime regulation.

Conference participant


МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ В КРУПНЫХ СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Жуков Д.В., соискатель
Омский государственный университет путей сообщений,
Россия

В статье рассматривается математическая модель теплового режима отапливаемых зданий. Показаны основные принципы оптимального управления тепловыми и гидравлическими режимами в системах централизованного теплоснабжения. Предложена методика разработки диспетчерского графика тепловых нагрузок.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловая сеть, тепловой режим, регулирование режимов.

Участник конференции

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:tsc.v0i9.1433>

Система централизованного теплоснабжения (ЦТ) представляет собой комплекс различных сооружений, установок и устройств, технологически связанных и взаимодействующих между собой в общем процессе производства, транспорта, распределения и потребления тепловой энергии. Каждый элемент этой сложной системы является подсистемой со своими закономерностями функционирования и внутренними взаимодействиями. Действующие крупные ЦТ характеризуются стохастичностью практически всех элементов, значительной рассредоточенностью теплотребляющих установок, разнородностью структуры тепловой нагрузки, различной степенью автоматизации, переменностью и неопределенностью внешних и внутренних возмущающих воздействий, сложностью гидравлических режимов и т.д. [1, 2, 3], а также возможностью регулирования на разных уровнях. По месту регулирования различаются: центральное, групповое, местное, позонное, индивидуальное. В большинстве городов в настоящее время основным, а зачастую и единственным видом, является центральное регулирование. В настоящее время отсутствуют четкие методики или рекомендации определения требуемых параметров теплоносителя (температура, давление) и разработки диспетчерского графика центрального регулирования отпуска тепловой

энергии, поэтому регулирование осуществляется в основном опытом и интуицией диспетчера.

В соответствии с основными направлениями развития тепло- и электроэнергетики подключение новых и существующих теплотребляющих систем предполагается только с помощью автоматизированных тепловых пунктов с использованием автоматики, предусматривающей количественно-качественное регулирование [5]. Действующие ЦТ крупных городов, формируемые как системы с качественным регулированием, к сожалению, в условиях повышения степени автоматизации не готовы к переходу на количественное регулирование в полной мере. Повышение уровня автоматизации систем теплотребления, которые работают по температуре наружного воздуха, ужесточает требования к оперативному регулированию тепловой нагрузки. Поэтому задача оптимизации управления тепловыми режимами и центрального регулирования отпуска тепловой энергии в системах теплоснабжения является весьма актуальной.

Основной задачей регулирования в системах теплоснабжения является поддержание температуры воздуха внутри помещений в заданных допустимых пределах $\pm(1\div 2)^\circ\text{C}$ при непрерывном изменении внешних и внутренних возмущающих факторов, а также температуры воды, поступа-

ющей в систему горячего водоснабжения в заданных допустимых пределах $60\div 75^\circ\text{C}$ при переменном в течение суток расходе.

В качестве целевой функции оптимизации выбирается наименьшее значение по абсолютному значению отклонения от текущих температурных режимов (сутки X):

$$| (T_i(X+1) - T_i(X)) | \rightarrow \min \quad (1)$$

Предполагается, что работающие автоматизированные системы теплотребления обеспечивают системы теплотребления необходимым количеством тепловой энергии и теплоносителя.

Тепловой режим зданий формируется как результат совокупного влияния непрерывно изменяющихся внешних возмущающих воздействий (изменения температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности солнечной радиации, влажности воздуха) и внутренних возмущающих воздействий (изменение подачи тепла от системы отопления, выделение тепла при приготовлении пищи, работа электроосветительных приборов, действие солнечной радиации сквозь остекление, тепло, выделяемое людьми) [1].

Математическую модель более просто можно построить на основе уравнений тепловых балансов, сохраняя при этом общность полученных моделей и их адекватность моделируемым про-

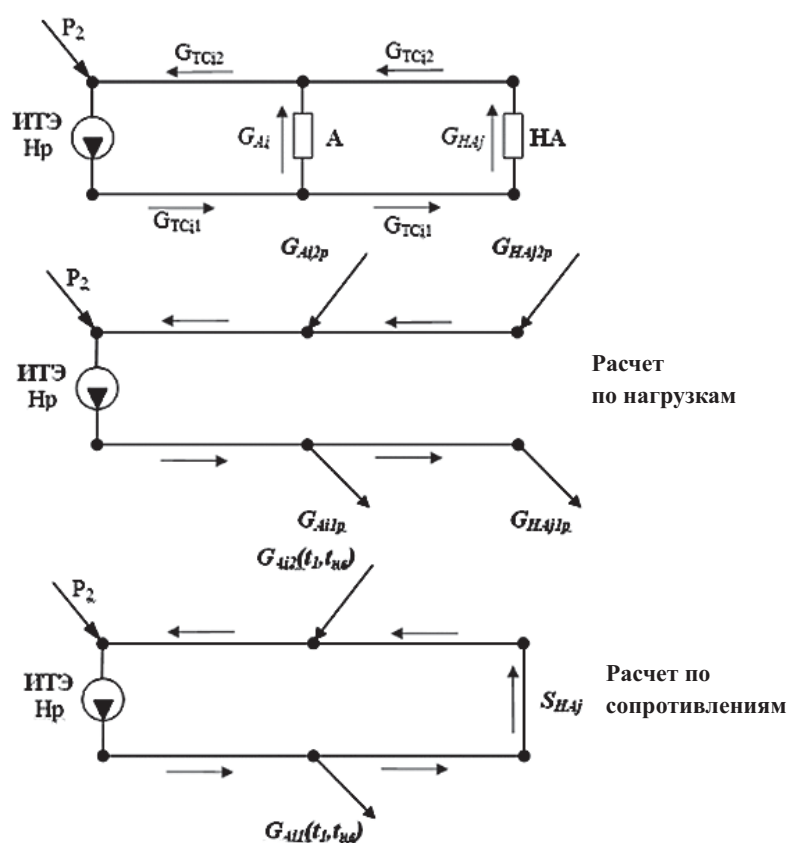


Рис. 1. Пример преобразования схемы теплосети.

Обозначения: ИТЭ – источник тепловой энергии, А – автоматизированный потребитель, НА – неавтоматизированный потребитель

цессам. Основными элементами здания, влияющими на тепловое состояние здания, являются наружное ограждение, внутреннее ограждение, светопрозрачные ограждения, внутренний воздух, вентиляция, внутренние предметы и т.д.

Баланс тепловой энергии i -го элемента определяется уравнением:

$$c_i m_i \frac{dt_i}{d\tau} = \sum_j Q_{ij}, \quad (2)$$

где c_i – теплоемкость элемента, Дж/(кг·°C); m_i – масса элемента, кг; t_i – средняя температура по объему или

поверхности, °C; τ – время, с; $\sum_j Q_j$

– суммарная тепловая энергия i -го элемента за период времени dt , Вт.

Общий тепловой баланс здания, учитывающий изменение температурных состояний основных элементов, определяется системой независимых уравнений. Присваивая индексы i от 1 до 5 соответственно теплоносителю,

отопительным приборам системы отопления, внутреннему воздуху, внутренним и ограждающим конструкциям здания, получим:

$$\begin{aligned} c_1 m_1 \frac{dt_1}{d\tau} &= c_1 G_1 (t_{11} - t_{12}) - \alpha_{12} F_{12} (t_1 - t_{21}); \\ c_2 m_2 \frac{dt_2}{d\tau} &= \alpha_{21} F_{21} (t_1 - t_{21}) - \alpha_{23} F_{23} (t_{22} - t_3) - \\ &\quad - \alpha_{24} F_{24} (t_{22} - t_4) - \alpha_{25} F_{25} (t_{22} - t_5); \\ c_3 m_3 \frac{dt_3}{d\tau} &= \alpha_{23} F_{23} (t_{22} - t_3) \pm \\ &\quad \alpha_{34} F_{34} (t_3 - t_4) \pm \alpha_{35} F_{35} (t_3 - t_{51}) + \\ &\quad + c_3 L \rho_3 (t_H - t_3) + Q_{J3} + Q_B; \\ c_4 m_4 \frac{dt_4}{d\tau} &= \alpha_{23} F_{23} (t_{22} - t_4) \mp \\ &\quad \mp \alpha_{34} F_{34} (t_3 - t_4) \pm \alpha_{45} F_{45} (t_4 - t_{51}); \\ c_5 m_5 \frac{dt_5}{d\tau} &= \alpha_{23} F_{23} (t_{22} - t_{51}) \mp \\ &\quad \mp \alpha_{35} F_{35} (t_3 - t_{51}) \mp \alpha_{45} F_{45} (t_4 - t_{51}) + \\ &\quad + \alpha_{52} F_{52} (t_H - t_{52}) + Q_{J5} \end{aligned} \quad (3)$$

где α_{ij} – эквивалентные коэффициенты теплообмена между основными элементами i и j ($i \neq j$), учитывающие теплообмен теплопередачей, конвекцией и излучением, Дж/м²·ч; F – площадь поверхности элемента, м²; L – расход инфильтрующегося воздуха, м³/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; Q_{J3} и Q_{J5} – инсоляционная тепловая энергия, передаваемая через светопрозрачные ограждения и ограждающим конструкциям соответственно, Вт; Q_B – бытовые тепловыделения, Вт.

В целях упрощения в данной системе уравнений не отражены процессы массопереноса и изменения состояния влаги в ограждающих конструкциях.

Решение системы при заданных входных возмущающих воздействиях $V(\tau) = [t_{1P}, L, J, Q_B]$ позволяет получать температурные параметры в элементах $T(\tau) = [t_p, t_y, t_f, t_s]$ и найти оптимальное сочетание компонентов вектора управляющих параметров $U(\tau) = [t_{1P}, G_1]$ в любой период времени.

Задача может быть значительно упрощена при переходе на модель с сосредоточенными параметрами и при приведении внешних возмущающих воздействий к эквивалентной температуре наружного воздуха при помощи соответствующих поправок [1], а в качестве управляющего параметра принять только температуру теплоносителя на выходе теплового источника t_{1P} .

Гидравлические режимы моделируются с применением теории гидравлических цепей. Для любой произвольной схемы с установившимся течением жидкости состоящей из n участков, m узлов и k линейно независимых контуров выполняется условие $k = n - m + 1$. В системе теплоснабжения с автоматическими регуляторами тепловой нагрузки допускаем, что режим движения установившийся, так как при работе систем автоматического регулирования переходный тепловой процесс намного инерционнее, чем гидравлический. Для определенной гидравлической схемы строится система уравнений, полученная из двух сетевых законов Кирхгофа, которая сводится к системе уравнений в векторно-матричной форме [4]:

$$\begin{aligned} A g_x &= G; \\ B S G_x g_x &= B H \end{aligned} \quad (4)$$

где A – матрица соединений размерностью $(m-1, n)$, однозначно отображающая структуру сети и ориентацию ее участков;

B – матрица связей размерностью (k, n) , отображающая совпадение участков и выбранной системы линейно независимых контуров;

S – диагональная матрица сопротивлений участков размерностью (n, n) ;

G – вектор узловых расходов размерностью $(m-1)$;

H – вектор действующих напоров размерностью (n) ;

G_x – диагональная матрица абсолютных значений неизвестных расходов размерностью (n, n) ;

g_x – диагональная матрица неизвестных расходов размерностью (n, n) .

В результате проведения расчета по тепловым нагрузкам помимо определения расходов теплоносителя на каждом участке и напоров в каждом узле, также определяются сопротивления всех элементов схемы, включая сопротивления неавтоматизированных систем теплоснабжения. Эти сопротивления в дальнейшем используются в расчете по сопротивлениям, в результате которого определяются расходы и напоры при любых отличающихся от расчетных параметрах. Расход теплоносителя через неавтоматизированные системы отопления, полученный в результате решения, является определяющим теплого баланса и входит в первое уравнение системы (3).

Пример преобразования схем в разных расчетах приведен на рис. 1.

По результатам проведения исследований численными методами предложена методика изменения диспетчерского графика тепловых нагрузок, исходя из минимизации амплитуды изменения температуры t_{ii} :

1. Определение начального состояния $T(0)$ на основании данных о значениях U и V на предыдущих интервалах Δt_{i-1} и Δt_{i-2} .

2. Определение состояния $T(i)$ по прогнозируемым параметрам $V(i)$ и $V(i+1)$.

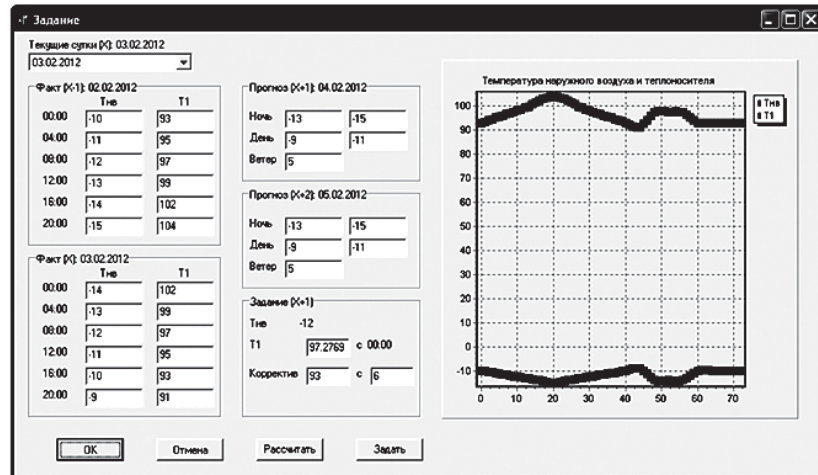


Рис.2. Примерная форма задания функций температур наружного воздуха и теплоносителя

3. Определение отклонения температуры внутреннего воздуха t_3 от заданного значения.

4. Если данное отклонение в конце интервала Δt_i меньше допустимого, то изменение $U(i)$ не производится, в противном случае параметры $U(i)$ изменяются $t_{ii} \pm \Delta t_{ii}$ и определяется новое состояние $T(i)$.

5. При отклонении фактических параметров от прогнозируемых V производится корректировка $U(i)$.

6. Повторение шагов 1-5 с использованием состояния $T(i-1)=T(i)$.

Данная методика реализована в разработанной автором программе. Примерная форма задания приведена на рис.2.

Расчет диспетчерского графика центрального регулирования тепловых режимов по методике позволяет значительно повысить эффективность СЦТ:

– во-первых, снижаются риски повреждаемости трубопроводов тепловых сетей за счет уменьшения амплитуды изменения температуры теплоносителя в подающих трубопроводах, что повышает надежность теплоснабжения;

– во-вторых, повышается экономичность при производстве энергии на ТЭЦ за счет разности проростов расхода топлива на выработку энергии при различных температурах теплоносителя и снижения количества пусков-остановов основного теплогенерирующего оборудования.

References:

1. Avtomatizirovannye sistemy teplosnabzhenija i otoplenija [Automated heat supply and heating systems]., S.A. Chistovich, V.K. Aver'janov, Ju.Ja. Tempel', S.I. Bykov. – Leningrad., Strojizdat, Leningr. otd-nie, 1987. – 248 p.

2. Mihajlenko I.M. Optimal'noe upravlenie sistemami centralizovannogo teplosnabzhenija [Optimal control of the district heating systems]. – St. Petersburg., Strojizdat., 2003. – 240 p.

3. Monahov G.V., Vojtinskaja Ju.A. Modelirovanie upravlenija rezhimami teplovyh setej [Simulation of managing the regimes of heat supply networks]. – Moskva., Jenergoatomizdat, 1995. – 224 p.

4. Hasilev V.Ja., Merenkov A.P., Kaganovich B.M. i dr. Metody i algoritmy rascheta teplovyh setej [Methods and algorithms of designing the heating networks]. – Moscow., Jenergija, 1978. – 176 p.

5. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda [Energy Strategy of Russia for the period up to 2030] (utv. rasporjazheniem Pravitel'stva RF ot 13 nojabrja 2009 g. №1715-r.), Access mode: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/645999> (data obrashhenija: 02.04.2012).

Литература:

1. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.К. Аверьянов,

Ю.А. Темпель, С.И. Быков. - Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 248 с.

2. Михайленко И.М. Оптимальное управление системами централизованного теплоснабжения. – СПб.: Стройиздат, СПб, 2003. – 240 с.

3. Монахов Г.В., Войтинская Ю.А. Моделирование управления режимами тепловых сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 224 с.

4. Хасилев В.Я., Меренков А.П., Каганович Б.М. и др. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715-р) [Элек-

тронный ресурс] URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/645999> (дата обращения: 02.04.2012).

Information about author:

1. Denis Zhukov - Applicant, Omsk State Transport University; address: Russia, Omsk city; e-mail: zhukovdenvl@mail.ru



- Promotion of international consolidation and cooperation of business structures
- Promotion of development of commercial businesses of various kinds
- Assistance in settlement of relations and businessmen with each other and with social partners in business environment
- Assistance in development of optimal industrial, financial, commercial and scientific policies in different countries
- Promotion of favorable conditions for business in various countries
- Assistance in every kind of development of all types of commercial, scientific and technical ties of businessmen of different countries with foreign colleagues
- Promotion of international trade turnover widening
- Initiation and development of scientific researches, which support the effective development of businesses and satisfy the economic needs of the society
- Expert evaluation of activities in the field of settlement of commercial disputes, establishment of quality standards and defining of factual qualitative parameters of goods and services
- Legal and consulting promotion of business
- Establishment and development of activities of the international commercial arbitration
- Exhibition activities
- Holding of business and economic forums