

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТЬЮ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер

OPERATIONAL MANAGEMENT OF EFFICIENT WATER HEATING NETWORKS BASED ON MACROMODELLING

E.V. Goytina, D.A. Shnayder

В работе рассматривается актуальная задача разработки методов оперативного анализа экономичности систем теплоснабжения, основанных на построении упрощенных макромоделей тепловых сетей по данным эксплуатации, позволяющих производить расчеты с достаточной для практического использования точностью в режиме реального времени.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, экономичность, модели тепловых сетей.

We consider the urgent task of developing of the methods for rapid analysis of the cost of heat supply systems based on building a simplified macro model of district heating networks for real data, allowing to perform calculations with sufficient accuracy for practical use in a real time.

Keywords: heating systems, economy, models of heating networks.

Введение

Базовым подходом к теплоснабжению на крупных промышленных предприятиях и в жилищно-коммунальном хозяйстве Российской Федерации является централизованное теплоснабжение, позволяющее снизить затраты на производство тепла за счет совместной выработки электрической и тепловой энергии. Важную роль в эффективном функционировании централизованных систем теплоснабжения играет согласованная работа источников и потребителей при регулировании подачи тепла. Однако одной из основных проблем систем централизованного теплоснабжения в настоящее время является низкая надежность и недостаточная экономичность водяных тепловых сетей. В этой связи актуальным является решение задач оперативного управления, позволяющего осуществлять контроль и управление процессом теплоснабжения в различных режимах, а также своевременно выявлять потери и нерациональное использование тепла, проводить оценку экономичности теплоснабжения.

В настоящее время управление режимами теплоснабжения потребителей промышленных предприятий осуществляется, как правило, с помощью автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ), которые выполняют функции сбора, накопления и представления на ЭВМ информации о параметрах теплоносителя на источниках, в магистральных трубопроводах и у крупных потребителей. Для повышения надежности и экономичности теплоснабжения целесообразным является также проведение оперативного анализа текущих режимов функционирования тепловых сетей на основе математического моделирования процесса теплоснабжения. Целью такого анализа является выявление потребителей и участков сети, характеризующихся повышенными потерями (утечками) теплоносителя и нерациональным использованием тепла (пониженным теплосъемом).

Современные системы теплоснабжения крупных промышленных предприятий являются сложными системами и содержат большое количество разнородных потребителей, распределенных на

Гойтина Екатерина Владимировна - младший научный сотрудник кафедры автоматизации и управления ЮУрГУ; goytina@list.ru

Шнайдер Дмитрий Александрович - канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления ЮУрГУ; shnayder@ait.susu.ac.ru

Goytina Ekaterina Vladimirovna - associate research fellow of automation and control department of SUSU; goytina@list.ru

Shnayder Dmitry Alexandrovich - PhD, associate professor of automation and control department of SUSU; shnayder@ait.susu.ac.ru

большой территории. Известные подходы к анализу режимов подобных сложных систем основаны на разработке математической модели реальной системы с помощью специализированного программного обеспечения. Сложность построения такой модели на практике для крупных сетей состоит в необходимости получения большого объема данных, включающих детальные характеристики трубопроводов тепловых сетей (длины, диаметры, коэффициенты шероховатости и т.д.) и потребителей, что требует значительных затрат времени и средств, а в ряде случаев практически не реализуемо.

Для оперативного анализа модель должна учитывать текущие фактические параметры теплоносителя в различных точках системы теплоснабжения и позволять оперативно рассчитывать режимы в случае переключений в тепловых сетях, что накладывает дополнительные требования к сходимости используемых математических методов, объему данных и скорости вычислений, и может быть достигнуто за счет сокращения объема информации, используемой при расчетах, а также повышения эффективности вычислительных алгоритмов.

С учетом сказанного актуальной является задача разработки методов оперативного анализа экономичности системы теплоснабжения, основанных на построении упрощенных макромоделей тепловых сетей по данным эксплуатации, позволяющих производить расчеты с достаточной для

практического использования точностью в режиме реального времени.

При этом с учетом масштабности систем теплоснабжения крупных промышленных предприятий, является актуальной задача разработки подсистемы автоматизированного анализа режимов теплоснабжения (САР-Т).

1. Подсистема автоматизированного анализа режимов теплоснабжения

Обобщенная структурная схема САР-Т приведена на рис. 1.

Система теплоснабжения крупного промышленного предприятия, как правило, состоит из нескольких источников теплоснабжения (ТЭЦ, котельные), потребителей и соединяющих их трубопроводов тепловых сетей. Как видно из рис. 1, на нижнем (полевом) уровне САР-Т находятся приборы учета (ПУ) тепла на источниках и у потребителей системы теплоснабжения, включающие в общем случае датчики расхода, температуры и давления теплоносителя. Данные о параметрах источников и крупных потребителей с приборов учета нижнего уровня поступают на сервер базы данных существующей АСДУ. Далее необходимые данные из базы данных АСДУ поступают на сервер базы данных САР-Т.

Данные с теплосчетчиков мелких потребителей, не подключенных к АСДУ, поступают на рабочую станцию оператора, в функции которого

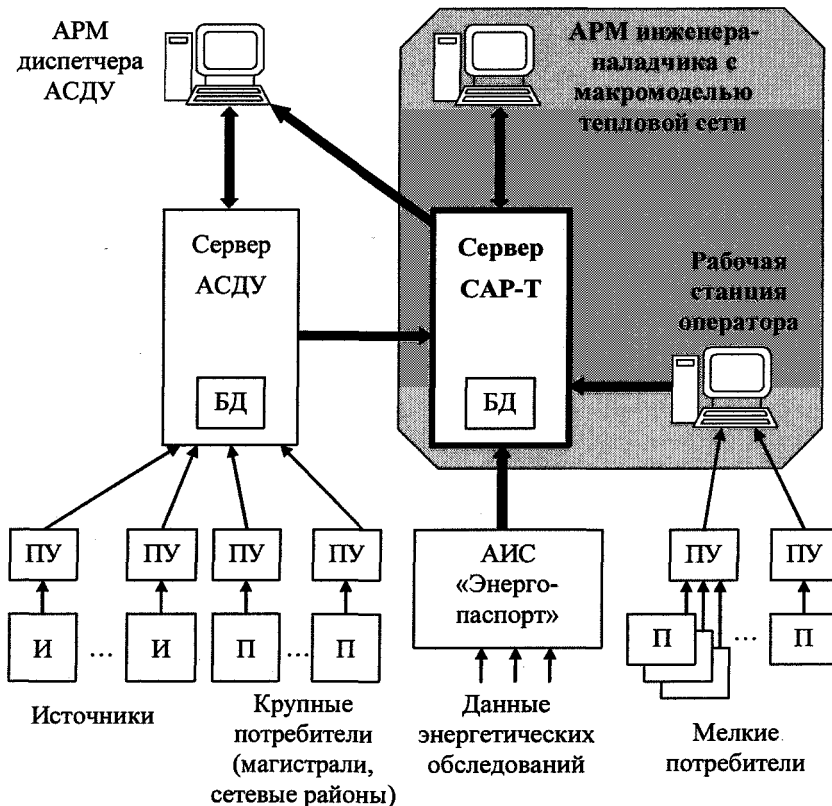


Рис. 1. Структура автоматизированной системы анализа режимов теплоснабжения

входит автоматизированный ввод в базу данных САР-Т суточных архивов теплопотребления, считываемых с теплосчетчиков один раз. за отчетный период (обычно месяц).

Кроме того, в базу данных сервера САР-Т поступают данные из автоматизированной информационной системы (АИС) «Энергопаспорт» [1], представляющей собой систему ведения энергопаспортов промышленных потребителей, содержащих технико-эксплуатационные показатели и проектные нагрузки.

Далее все необходимые данные из базы данных САР-Т поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ) инженера-наладчика и диспетчера АСДУ. На АРМ инженера-наладчика функционирует специализированное программное обеспечение для оперативного моделирования и анализа режимов функционирования тепловых сетей. Программное обеспечение включает в себя математическую макро модель тепловых сетей, позволяющую проводить анализ режимов при различных вариантах структурных переключений в тепловых сетях в период подготовки проведения плановых ремонтных работ и ликвидации аварийных ситуаций. На основе предварительного моделирования режимов теплоснабжения с учетом фактических параметров теплоносителя и структуры тепловых сетей анализируются различные режимы теплоснабжения с точки зрения безопасности и экономичности, после чего инженер-наладчик принимает решение о реальном использовании того или иного режима. Для настройки параметров модели по запросу инженера-наладчика периодически повторяется процедура идентификации макро моделей на основе текущих и архивных данных эксплуатации, а также экспертных оценок. Необходимость проведения идентификации параметров математической модели (а именно, фактических гидравлических сопротивлений участков тепловой сети по данным о расходах и напорах теплоносителя на абонентских вводах потребителей тепла) определяется тем, что рассчитываемые на основании паспортных характеристик значения гидравлических сопротивлений участков тепловых сетей в процессе эксплуатации претерпевают изменения вследствие зарастания внутренней поверхности трубопроводов, существенно отклоняются от проектных данных и фактически являются неизвестными величинами. В связи с этим необходимо периодически повторять процедуру идентификации параметров математических моделей тепловых сетей по данным эксплуатации с целью уточнения значений гидравлических сопротивлений участков трубопроводов, используемых далее для теплогидравлических расчетов тепловых сетей. Результаты идентификации и моделирования режимов хранятся в базе данных САР-Т.

Программное обеспечение инженера-наладчика также позволяет проводить оценку экономичности использования теплоносителя у потребителей.

Экономичность режимов теплоснабжения оценивается с помощью показателей, которые характеризуют использование теплового потенциала сетевой воды.

В качестве показателей экономичности целесообразно использовать следующие характеристики:

1) температурный напор, представляющий собой разность температур теплофикационной воды между подающим (T_1) и обратным (T_2) трубопроводами:

$$dT = (T_1 - T_2), \text{ } ^\circ\text{C};$$

2) процент утечек (разность расходов в подающем (G_1) и обратном (G_2) трубопроводах), который с учетом погрешности измерительных приборов δ может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\Delta = (G_1(1-\delta) - G_2)/G_1 \cdot 100, \%$$

Анализ режимов тепловых сетей может быть проведен на основе приведенных выше показателей экономичности по следующим критериям:

1. Температурный напор.

Если система отопления обеспечивает перепад температур на тепловом вводе потребителей, предусмотренный температурным графиком регулирования теплоснабжения, то это свидетельствует об эффективном использовании тепловой энергии, т.е.

$$dT_{\text{факт}} \geq dT_{\text{норм.}}$$

2. Процент утечек теплоносителя.

Если фактические значения утечек теплоносителя на тепловых вводах потребителей не превышают нормативные утечки, то это свидетельствует о нормальном состоянии тепловых систем потребителей, т.е.

$$\Delta_{\text{факт}} \leq \Delta_{\text{норм.}}$$

Если приведенные выше критерии не выполняются, то необходимо проведение детального энергетического обследования тепловых систем потребителей.

Таким образом, сопоставление фактических значений показателей функционирования тепловых сетей с их нормативными значениями на основе выбранного критерия эффективности позволяет проводить оценку эффективности функционирования тепловых сетей, определять наиболее проблемные участки сетей и потребителей, требующих проведения наладочных работ, и тем самым оперативно влиять на улучшение режимов теплоснабжения.

2. Методика анализа режимов тепловых сетей на основе макро моделирования

Решение задачи оперативного анализа экономичности режимов функционирования тепловых сетей осуществляется на основе математического моделирования процесса теплоснабжения. Для эффективного моделирования системы теплоснабжения в реальном времени требуется разработка упрощенной макро модели тепловой сети, не требующей чрезмерной детализации характери-

стик сети и позволяющей проводить расчет и анализ режимов теплоснабжения с достаточной для практического применения точностью.

Суть предлагаемого подхода состоит в представлении реальной тепловой сети в виде многоуровневой структуры с выделенными сетевыми районами, отдельными крупными потребителями и соединяющими их магистральными тепловыми сетями (рис. 2). В отличие от полной модели, отражающей состояния всех имеющихся межэлементных связей, в макромоделе отображаются состояния значительно меньшего числа межэлементных связей, что соответствует описанию объекта при укрупненном выделении элементов.

В основу построения макромоделе для расчета тепловых сетей могут быть положены следующие принципы:

1. Сетевые районы (СР_{ij}) 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 макромоделе, отражающий состояние потребителей (П_{ik}) и вновь выделенных сетевых районов (СР_{ij}) внутри сетевого района СР_i. При этом объект СР_i являющийся потребителем на верхнем уровне

макромоделе, выступает в роли источника для сетевого района СР_{ij}.

На основе указанных выше принципов реализуется возможность использования при анализе одной и той же тепловой сети нескольких моделей, различающихся сложностью, точностью и полнотой отображения свойств. Таким образом, в зависимости от целей моделирования может изменяться степень детализации представления и описания модели тепловой сети. При этом следует отметить, что результаты однократно выполненного трудоемкого моделирования отдельного сетевого района могут многократно применяться далее в укрупненной общей макромоделе, что обуславливает общее снижение объема вычислений.

Применение на практике математической макромоделе тепловой сети, описанной выше, в составе автоматизированной системы диспетчерского управления позволяет оперативно анализировать функционирование систем теплоснабжения в различных режимах и повысить надежность и экономичность процесса теплоснабжения.

3. Программное обеспечение анализа режимов тепловых сетей на основе макромоделе

Обобщенная структура разработанного программного обеспечения подсистемы автоматизированного анализа режимов теплоснабжения (ПО САР-Т), отражающая потоки информации между программными модулями и базой данных сервера САР-Т, представлена на рис. 3.

ПО САР-Т включает в себя автоматизирован-

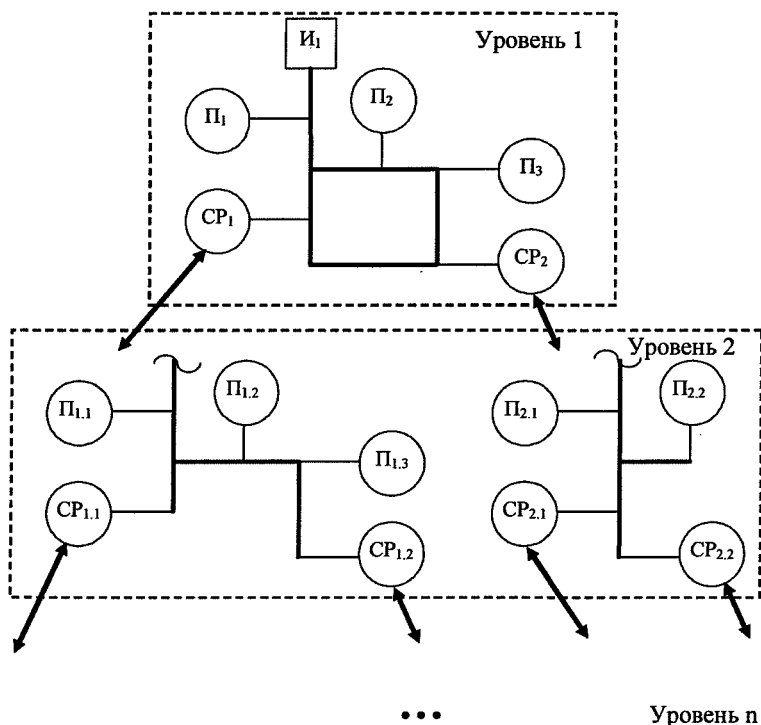


Рис. 2. Многоуровневая структура тепловой сети



Рис. 3. Структура программного обеспечения SCADA-T

ную базу данных, и следующие программные модули:

1. Модуль взаимодействия сервера базы данных SCADA-T с АСДУ теплоснабжения, позволяющий получать данные о параметрах источников и крупных потребителей с приборов учета тепла.

2. Модуль взаимодействия с АИС «Энергопаспорт» для автоматического ввода данных о технико-эксплуатационных показателях, проектных нагрузках потребителей, параметрах и структуре тепловых сетей.

3. Модуль ввода данных экспертных оценок параметров теплоносителя у потребителей, не оборудованных приборами учета.

4. Модуль автоматизированного ввода данных оператором рабочей станции SCADA-T суточных архивов теплопотребления с теплосчетчиков мелких потребителей, не подключенных к АСДУ.

5. Модуль идентификации параметров макромоделей тепловых сетей по данным эксплуатации в различных режимах работы тепловой сети [2].

6. Модуль теплогидравлических расчетов тепловых сетей на основе макро моделирования [3]. ПО SCADA-T включает в себя макро модель системы теплоснабжения и предусматривает возможность моделирования различных режимов теплоснабжения путем изменения параметров модели (напоры источников, сопротивления потребителей), а также изменением структуры модели тепловой сети при помощи открытия/закрытия задвижек на магистральных трубопроводах и внесением дополнительных элементов в структуру тепловой сети.

7. Модуль анализа данных и расчета характеристик энергоэффективности потребления тепловой энергии. На основании параметров, которые хранятся в базе данных на сервере SCADA-T, проводится расчет характеристик энергоэффективности

теплоснабжения, результаты которого сохраняются модулем в базе данных SCADA-T.

8. Модуль визуализации результатов моделирования и анализа, формирования отчетов отображает данные эксплуатации, технологические параметры, результаты моделирования и показатели эффективности функционирования, т.е. позволяет осуществлять визуальный контроль качества теплопотребления, отклонений технологических параметров от требуемых значений.

На основе использования разработанного программного обеспечения SCADA-T был проведен автоматизированный анализ режимов теплоснабжения потребителей промплощадки ОАО «ММК».

В качестве исходных данных для анализа использовались фактические данные приборного учета тепла ЦЭСТ ОАО «ММК» за январь 2007 г. Согласно данным диспетчерской УГЭ ОАО «ММК» средняя температура наружного воздуха в январе 2007 г. составляла $-3,6^{\circ}\text{C}$. Согласно утвержденному температурному графику на промплощадке разность температур между подающим и обратным теплоносителем при указанной температуре наружного воздуха должна составлять 15°C . В таблице приведен фрагмент данных по потребителям с температурным напором в январе 2007 г. менее 15°C , полученные автоматизированным способом с помощью разработанного программного обеспечения. Общее число проанализированных потребителей (с установленными приборами учета тепла) составляло 229. Было выявлено 109 потребителей с недостаточным температурным напором.

В результате анализа с помощью разработанного программного обеспечения было выявлено 80 потребителей, у которых фактическая утечка теплоносителя превышает нормативную. В качестве фактических данных в расчетах использовались

значения разности расходов подаваемого и обратного теплоносителя с приборов учета тепла. Нормативные значения утечек рассчитывались по методике, принятой на ОАО «ММК». Было выявлено, что для отдельных потребителей фактическая утечка теплоносителя превышает нормативные значения более чем на 100 %.

Перечень потребителей с недостаточным температурным напором

№ п/п	Потребители	$dT, ^\circ\text{C}$
1	ЦЭСиП. Подстанция № 63	1,2
2	ЖДТ. Ст. «Гранитная». ЦТП	3,0
3	Сортовой цех. Стан 450	3,3
4	ПСЦ. Котельная № 2	4,0
5	ЦЭСиП. Подстанция № 80	4,3
6	ЦЭС. УМИС	4,3
...

Полученные данные свидетельствуют о существующих резервах энергосбережения в системе теплоснабжения промплощадки ОАО «ММК» и необходимости проведения наладочных и регулировочных работ с использованием разработанного ПО САР-Т. Расчетный экономический эффект от проведения наладочных работ на объектах промплощадки ОАО «ММК» с повышенной циркуляцией и утечками теплоносителя, выявленных с использованием разработанной программы анализа режимов тепловых сетей на основе макро моделирования по данным за январь 2007 г., составляет 470 000 руб. в месяц.

Заключение

Таким образом, подсистема автоматизированного анализа режимов теплоснабжения САР-Т обеспечивает выполнение следующих функций:

- ведение информационной базы данных технологических параметров и показателей функционирования системы теплоснабжения;
- идентификация и уточнение параметров макромоделей тепловых сетей;
- макро моделирование режимов теплоснабжения с учетом структурных переключений;
- расчет и графическое отображение результатов моделирования режимов и показателей экономичности теплоснабжения.

Практическое использование подсистемы автоматизированного анализа режимов теплоснабжения, построенной на основе макро моделирования, позволяет оперативно выявлять и устранять нерациональное использование теплоносителя и тем самым повысить надежность и экономичность теплоснабжения потребителей промышленных предприятий.

Литература

1. Казаринова, В.Л. Проведение энергетической паспортизации объектов ОАО «ММК» с использованием средств автоматизации / В.Л. Казаринова, Д.А. Шнайдер // Информационные технологии в управлении промышленностью и экономикой субъектов РФ: сб. науч. тр. / под ред. О.В. Логиновского. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ: ЦНТИ, 2003. - С. 50-54.
2. Гойтина, Е.В. Методика идентификации параметров модели тепловой сети по данным эксплуатации / Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер // Автоматизация и современные технологии. - 2007. - М 9. - С. 20-22.
3. Гойтина, Е.В. Автоматизация расчета гидравлических режимов многоконтурных тепловых сетей / Е.В. Гойтина // XXVI Российская школа по проблеме науки и технологий: краткие сообщения. - Екатеринбург: УрО РАН, 2006. - С. 124-126.

Поступила в редакцию 19 мая 2008 г.