

Если область L_3 располагается во внутренней части L_c , которая на рисунок, *a* выделена прямыми линиями, то этому соответствует один вид функций ОУ

$$U_i(T) = D_{i\beta} e^{\beta T} + D_{i\alpha} e^{\alpha T}, \quad i = 1, 2,$$

параметры для которого рассчитываются по формулам (7), (8), (9) и (10). В этом случае алгоритмическое обеспечение СЭУ является наиболее простым.

- 5.2. Часть области L_3 находится за пределами области существования L_c (рисунок, *b*). В этом случае для точек $l_k \notin L_c$ решение ЗОУ не существует и возникают проблемы, связанные с выработкой управления, которое не обеспечит выполнение условия $z(t_k) = z^*$.

Здесь возможно решение обратной задачи, заключающейся в том, чтобы определить насколько надо изменить интервалы Δz_i^0 , Δz_i^* , $i=1,2$ для обеспечения выполнения условия $L_3 \subseteq L_c$.

Выводы

Применение методики использования взаимного расположения области существования решения ЗОУ и множества полюсов в пространстве синтезирующих переменных позволяет оценить работоспособность алгоритмического обеспечения и повысить эффективность функционирования СЭУ. Особенно актуально это для систем, точки режимов эксплуатации которых могут выходить за пределы области существования решения задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муромцев Ю.Л. Методология полного анализа энергосберегающего управления многомерными объектами // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3 (32). – С. 364–369.
2. Муромцев Д.Ю. Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами. – Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена: Изд-во «Нобелистика», 2005. – 202 с.

Поступила 03.04.2009 г.

УДК 004.418

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

А.Н. Виноградов, С.А. Даниельян, Р.С. Кузнецов, В.П. Чипулис

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток
E-mail: chipulis@dvo.ru

Рассмотрены проблемы построения и перспективы развития информационно-аналитических систем в теплоэнергетике. Показаны примеры реализации и описаны функциональные возможности эксплуатируемых в настоящее время систем. Сделан акцент на аналитической обработке измерительной информации, накопленной в процессе функционирования систем.

Ключевые слова:

Информационно-аналитическая система, объект теплоэнергетики, автоматизированное рабочее место.

В последнее десятилетие отмечается интенсивный процесс внедрения информационно-измерительных систем в теплоэнергетике. Он обусловлен возможностями современной измерительной базы, позволяющей не только выполнять измерения в полном объеме и с высокой точностью, но и передавать их в компьютер с помощью разнообразных телекоммуникационных средств. Выполняемые в этом направлении разработки совместного коллектива сотрудников института автоматики и процессов управления ДВО РАН и инжиниринговой компании «ВИРА» отличаются тем, что в них существенный акцент делается на обработку результатов измерений с ориентацией на потребности технических специалистов, управленческого персонала, а также представителей административных и финансовых служб.

Одной из необходимых предпосылок для решения проблемы энергосбережения является внедрение на объектах теплоэнергетики (ОТЭ) систем технологического и коммерческого учета тепловой энергии. Выделим и далее будем рассматривать два класса ОТЭ – потребителей и источников тепловой энергии. В настоящий период, в отличие от последних десятилетий прошлого века, общепризнана экономическая целесообразность установки на объектах-потребителях приборов учета тепловой энергии. Эти приборы, как правило, позволяют существенно сократить расходы на оплату потребляемых ресурсов и тем самым создают стимулы для реализации мер по их экономии. Постепенно также приходит понимание необходимости пополнения и модернизации контрольно-измерительно-

го оборудования на источниках теплоты — ТЭЦ, котельных, бойлерных. В связи с этим в последние годы наблюдается прогрессирующий процесс установки современных средств измерений на объектах теплоэнергетики. Контрольно-измерительные приборы нового поколения обеспечивают возможность не только осуществлять измерения с высокой точностью, но и выполнять их первичную обработку, накопление в архивах с последующей передачей в компьютер. Стало реальностью формирование баз данных (БД) результатов измерений для большого числа объектов за значительные интервалы времени (месяцы и годы). Такого рода информация представляет безусловный интерес как для проведения научных исследований, так и для решения конкретных практических задач.

Появление новых возможностей, связанных с использованием информационных технологий в теплоэнергетике, послужило мощным стимулом к разработке информационно-измерительных систем. Общим для большинства из них является реализация таких функций, как сбор результатов измерений, передача их в компьютер и накопление базы данных, мониторинг, визуализация данных в виде графиков, таблиц, отчетов. Однако существуют другие, не менее интересные, важные и гораздо более сложные задачи. Решение их также опирается на использование БД результатов измерений, но не может быть получено с использованием информационно-измерительных систем и требует более глубокого и трудоемкого анализа информации. Выделим наиболее понятные и актуальные из этих задач.

1. Проверка соответствия режимов эксплуатации ОТЭ и установленных на них контрольно-измерительных приборов требованиям нормативной базы и, при необходимости, определение причин отклонения от этих требований. Поскольку нарушения требований нормативной базы могут привести к весьма негативным последствиям (аварийные ситуации, финансовые потери при коммерческом учете потребляемых ресурсов), эта проблема представляется первоочередной и ей необходимо уделять постоянное внимание.
2. Оценка степени соответствия фактических характеристик теплопотребления нормативным. Решение этой задачи требует предварительной выработки критериев, имеющих понятный пользователю физический смысл и позволяющих количественно оценить параметры теплопотребления.
3. Определение интегральных характеристик теплопотребления. Здесь имеется в виду получение сравнительных характеристик теплопотребления (нормативных и фактических) для групп объектов, выделяемых пользователем по ряду признаков — географическому, административной, ведомственной принадлежности, отапливаемому источнику тепловой энергии и т. д. Решение этой задачи требует накопления больших баз данных и развитых средств их обработки.

4. Выявление базовых зависимостей параметров функционирования ОТЭ с учетом их реального технического состояния. Необходимость определения зависимостей с учетом реального технического состояния объекта определяется тем обстоятельством, что модельные зависимости, закладываемые в процессе проектирования ОТЭ, с течением времени после ввода объекта в эксплуатацию (а нередко и сразу) перестают быть адекватными и поэтому не могут использоваться, по крайней мере эффективно, для управления объектом.

Системы, в которых существенный акцент делается на анализ результатов измерений, связанный с решением отмеченных выше задач, будем называть информационно-аналитическими системами (ИАС).

В качестве примера кратко остановимся на возможностях трех ИАС, разработанных в ИАПУ ДВО РАН и эксплуатируемых применительно к двум классам ОТЭ — потребителям и источникам тепловой энергии.

В [1] описана рабочая версия ИАС оперативного наблюдения и ретроспективного анализа режимов функционирования потребителей тепловой энергии (СОНА), применяемой с 2000 г. в г. Владивостоке. Система предназначена для широкого круга пользователей — технических специалистов, представителей администрации, финансовых служб, а также полезна при проведении научных исследований. Основное практическое применение системы связано с сервисным обслуживанием тепловых узлов и установленных на них приборов учета тепловой энергии.

Первоначальным источником информации для работы системы являются интеграторы (тепловычислители), хранящие результаты измерений, поступающие с датчиков расхода, температуры и давления и осуществляющие их первичную обработку (в частности, вычисление потребляемой тепловой энергии). Система предназначена для реализации следующих основных функций:

- считывание с интеграторов результатов измерений с последующей передачей в компьютер (с помощью оптической головки, непосредственной или модемной связи);
- своевременное обнаружение нештатных и критических ситуаций;
- мониторинг с отображением на карте текущего технического состояния наблюдаемых объектов;
- экспресс-анализ результатов измерений (с момента предыдущего считывания) и выработка рекомендаций для корректировки режимов функционирования объектов;
- визуализация результатов измерений на заданном пользователем интервале времени (графики, таблицы, отчеты);
- сравнительный анализ фактических и нормативных режимов эксплуатации объектов;

- получение и визуализация интегральных характеристик теплоснабжения для групп объектов-потребителей тепловой энергии, выделяемых пользователем по ведомственному, административному, географическому признакам, источнику теплоты и т. д.;
- фильтрация результатов измерений и формирование зависимостей между измеряемыми и вычисляемыми системой параметрами с учетом реального технического состояния объекта;
- выработка рекомендаций по корректировке эксплуатационных режимов объекта.

С 2004 г. новая версия ИАС СОНА, обладающая расширенными функциональными возможностями и ориентированная на работу с более широкой номенклатурой интеграторов, внедрена и используется при сервисном обслуживании объектов социальной сферы г. Артема. ИАС СОНА является основной интеллектуальной составляющей информационно-аналитического центра (ИАЦ) теплоэнергетического комплекса, развиваемого в ИАПУ ДВО РАН совместно с инжиниринго-внедренческой компанией «ВИРА».

ИАЦ базируется на использовании взаимосвязанного комплекса программных, технических средств и информационного обеспечения и включает:

- телекоммуникационные средства сбора и дистанционной передачи в компьютерную сеть результатов измерений основных параметров ОТЭ;
- компьютерную сеть автоматизированных рабочих мест с различным набором функциональных пользовательских возможностей;
- средства накопления и ведения базы данных – информационное обеспечение ИАЦ;
- программные средства мониторинга, оценки технического состояния, анализа ретроспективной информации, выработки управляющих решений.

На рис. 1 представлена архитектура системы сбора и обмена данными ИАЦ. К настоящему времени функционирует первая очередь локального ИАЦ г. Артема и основного ИАЦ г. Владивостока. При этом в ИАЦ г. Артема выполняется лишь экспресс-анализ результатов измерений с выработкой рекомендаций по нормализации режимов эксплуатации тепловых узлов, а более детальный анализ осуществляется в ИАЦ г. Владивостока.

Подобного рода задачи, связанные с информационно-аналитическим обеспечением теплоэнергетических объектов, но более масштабные, сложные и функционально разнообразные, возникают при техническом обслуживании источников теплоты – ТЭЦ, котельных, бойлерных. При этом не только в значительной степени возрастает и усложняется информационная база результатов измерений, обусловленная широким спектром и большим количеством измерительного оборудования, устанавливаемого (причем, как правило, на значительном расстоянии друг от друга) на источниках теплоты, но и возникает еще один существенный, усложняющий разработку информационно-измерительных и аналитических систем аспект. Он связан с необходимостью создания совокупности автоматизированных рабочих мест с различным набором пользовательских функций. Естественно, что все эти автоматизированные рабочие места должны быть объединены в локальную компьютерную сеть, источником обрабатываемых данных для которой являются архивы контрольно-измерительных приборов. Программное управление такого рода системным объектом, включающем совокупность разнотипных (в том числе и по форматам архивируемых данных) контрольно-измерительных приборов, коммуникационных средств передачи данных в базовый компьютер и распространения их по локальной сети, является, безусловно, нетривиальной задачей.



Рис. 1. Архитектура системы

В конце 2001 г. завершены работы по созданию рабочей версии информационной системы мониторинга и анализа источников теплоты – ИСМА-ОКЕАН [2]. Система внедрена и эксплуатируется в котельной Всероссийского детского центра «Океан» в пригороде г. Владивостока. Общая функциональная схема котельной приведена на рис. 2.

Задачи, решаемые системой, концентрируются в двух направлениях – мониторинг и ретроспективный анализ накапливаемых и хранимых системой результатов измерений.

На объекте установлены датчики расхода ультразвуковые Ultraflow II, SONO 2500, SKU (холодная и сетевая вода, горячее водоснабжение – ГВС, подпитка, мазут); датчики расхода вихревые V-BAR 700 (пар); датчики давления КРТ-СТ и КРТ-1 (сетевая вода, ГВС, мазут); датчики уровня (баки-аккумуляторы, резервуары с мазутом,); термометры сопротивления PT 500, 100 П (вода, пар, мазут, наружный воздух).

Сигналы с датчиков передаются на многоканальный термометр ТМ 5231 и на два интегратора ВКТ-5. База данных системы пополняется из почасовых архивов интеграторов каждый текущий час. Для тех температурных параметров, которые не отражены в архивах ВКТ-5, системой формируется свой почасовой архив.

Система установлена на трех компьютерах – главного инженера, начальника теплового цеха и оператора. Компьютеры объединены в локальную сеть. На каждом из компьютеров в реальном времени можно наблюдать динамику функционирования объекта по каждому из измеренных параметров. Кроме того, на дисплее отражаются другие, вычисляемые системой параметры – уровни мазута и воды в соответствующих резервуарах, а также объемы их заполнения. Общий вид отображаемой на дисплее информации в режиме мониторинга представлен на схеме рис. 3.

В 2004–2005 гг. была разработана система «АИСТ» для двух котельных г. Арсеньев [3]. При этом было решено, учитывая опыт предыдущей разработки, не идти по пути ее адаптации к новым объектам, а создать принципиально новую систему на базе современных технологий в области инструментального обеспечения и разработки программных средств.

Объектами автоматизации являлись котельная «Курс», работающая на твердом топливе и покрывающая потребности одной трети тепловой нагрузки города Арсеньев, и котельная «Интернат», работающая на жидком топливе (мазут) и отопляющая небольшой район на окраине города. Информационной базой для работы системы «АИСТ» являются результаты измерений контрольно-измерительного оборудования, установленного на объектах, с возможностями архивирования и/или передачи данных в компьютер. Выбор контрольно-измерительных приборов осуществлялся в соответствии с существующей схемой технологических процессов и с учетом получения требуемых технико-экономических показателей, а также последующей автоматизации локальных контуров. Система охватывает различные технологические процессы, такие как потребление холодной воды, деаэрация, выработка тепловой энергии, работа котлов, подогревателей, аккумулирование тепловой энергии для нужд горячего водоснабжения с последующим отпуском в теплосеть и др.

Программные средства для сбора информации с измерительных приборов и оперативного мониторинга технологических процессов разработаны, в соответствии с отечественным и мировым опытом построения подобных систем, с использованием SCADA-системы Trace Mode 5. Данные от измерительных датчиков с помощью соответствующих контроллеров и драйверов системы Trace Mode отображаются средствами Монитора Реального Времени и записываются в базу данных реального

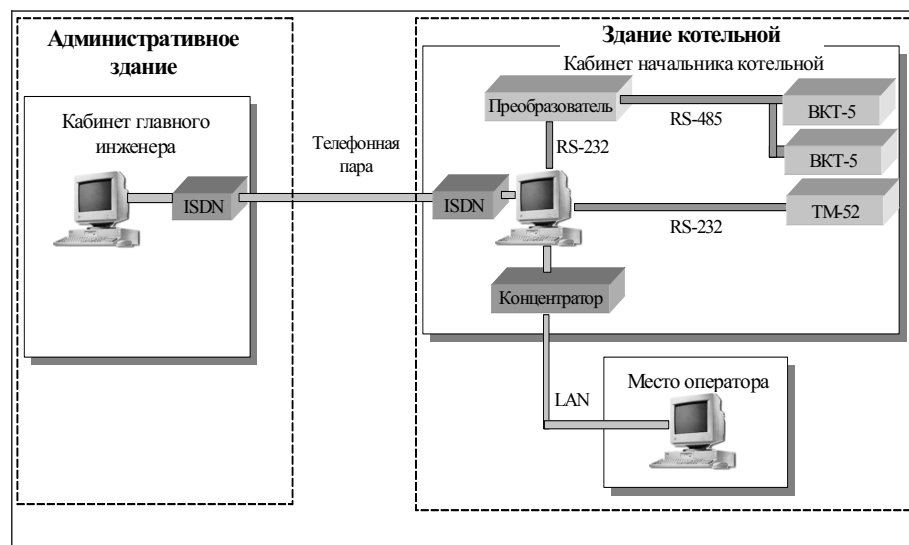


Рис. 2. Локальная компьютерная сеть системы ИСМА-ОКЕАН

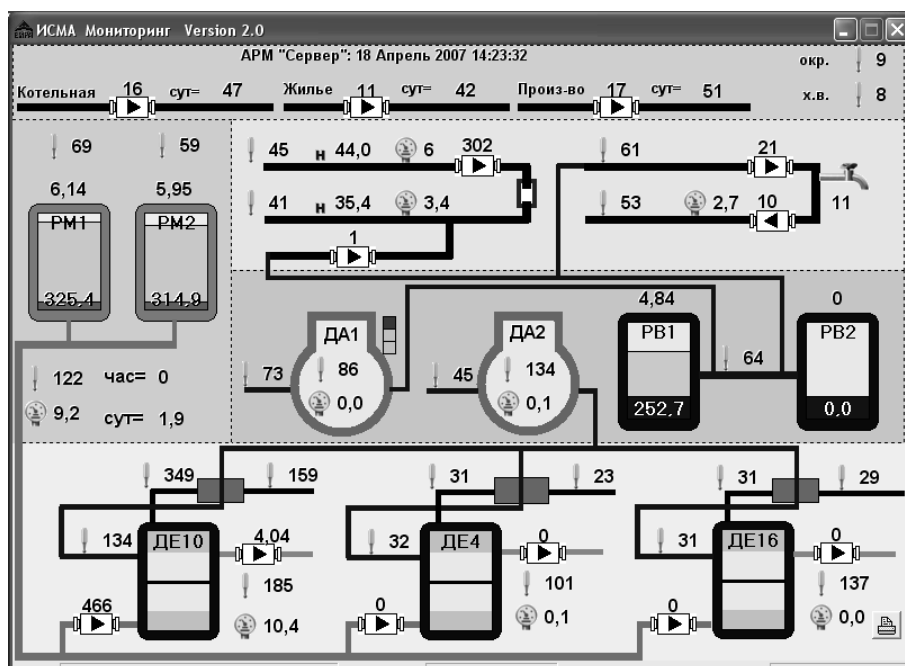


Рис. 3. Общий вид экрана дисплея в режиме мониторинга

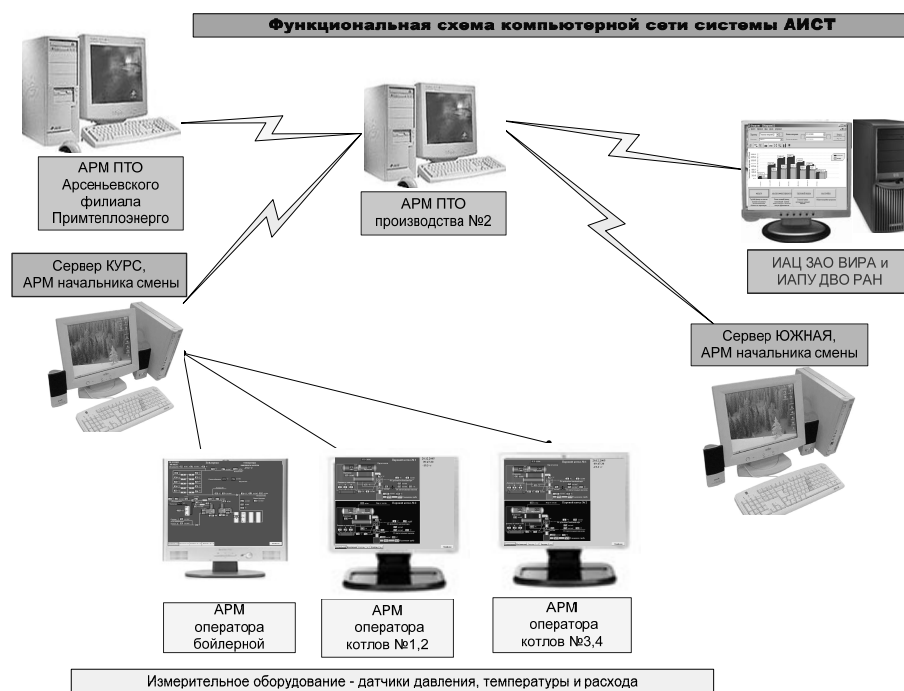


Рис. 4. Функциональная схема компьютерной сети системы «АИСТ»

времени. С использованием разработанных средств репликации полученные результаты измерений попадают в общую базу данных системы, реализованную на основе СУБД MySQL.

Согласно ТЗ создана сеть автоматизированных рабочих мест с требуемым для каждого АРМ набором функциональных возможностей. На рис. 4 приведена функциональная схема компьютерной сети системы «АИСТ». На рис. 5 в качестве примера представлена мнемосхема мониторинга котельной.

Система ретроспективного анализа включает в себя набор независимых программных модулей, ориентированных на решение требуемых прикладных задач и обладающих определенной функциональной направленностью. Ниже кратко описаны основные модули ретроспективного анализа.

Графики. Пользователю предоставляется широкий набор возможностей графического отображения значений измеряемых и вычисляемых на их основе параметров. Среди них выделим следующие:

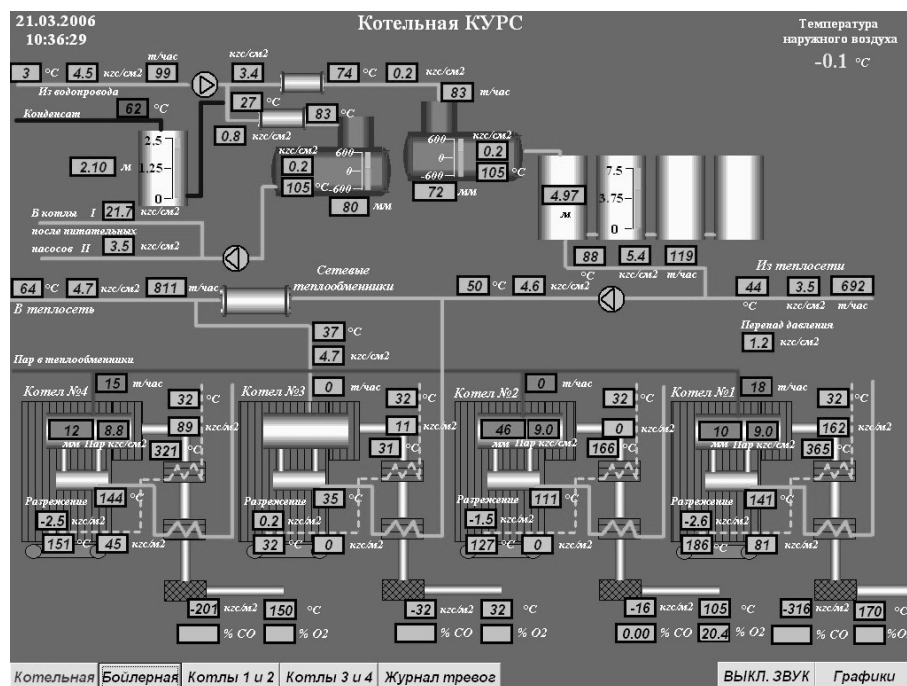


Рис. 5. Мониторинг котельной «Курс»

шие: до шести осей ординат (по три с каждой стороны), интерактивное масштабирование по каждой оси в отдельности с помощью мыши, усреднение по времени (среднечасовые, среднесуточные, среднемесячные и т. д.), групповое усреднение (по часам суток, по дням недели), показ-скрытие отдельных графиков с помощью мыши. Промежутки времени по оси абсцисс для удобства могут быть размечены цветными полосами (дни недели, недели, месяцы, годы). Области значений тех или иных графиков (динамический, критический и др. диапазоны) размечаются цветными горизонтальными полосами. Графики можно распечатать на принтере и сохранить в графический файл. Вид графиков (цвет, ось, которой он принадлежит, единицы измерения и др.) настраивается.

Отметим, что для систематизации хранимых в базе данных результатов измерений используется система трёхуровневой группировки: данные группируются в группы, группы – в наборы, а наборы – в конфигурации. Например, в конфигурации «Котельная Курс» имеются такие наборы, как «Котёл № 1», «Котёл № 2», «Теплосеть» и т. д. Далее в наборах по котлам имеются группы графиков и таблиц такие, как «Выработка тепла», «Параметры воды» или «Параметры пара» и т. д. А уже в группах находятся собственно соответствующие параметры (теплота, расходы, температуры и т. д.).

Таблицы. Таблицы достаточно просты, но эффективны для анализа числовых рядов данных. Группы параметров, отображаемых в таблицах, не совпадают с группами параметров графиков. В таблицу можно одновременно поместить гораздо больше параметров, чем одновременно отобража-

ются на графиках. Как уже было сказано выше, группы для таблиц (равно как и для графиков) настраиваются.

В таблицах предусмотрено усреднение по времени, как и на графиках. Таблицы можно распечатать на принтере и сохранить в текстовый файл специального формата, который можно открыть в любой электронной таблице.

Отчеты. Модуль формирования отчетов обладает определенной универсальностью: формы отчетов настраиваемы, механизм представления данных в этих формах позволяет выполнять их математическую обработку. Так можно, например, создавать отчеты в виде сводных данных за отчетный период, в виде ряда усреднённых данных (посуточные, почасовые отчеты) и т. д. Отчеты формируются за такие отчетные периоды, как сутки и месяц либо с начала суток и с начала месяца (по текущий час или дату).

Температурный график. Модуль предназначен для построения фактического температурного графика источника теплоты по результатам измерения температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети. Модуль позволяет производить сравнительный анализ утвержденного для источника теплоты температурного графика и рассчитанного на основе измеренных данных за выбранный период времени.

Тепловой режим. Модуль предназначен для объективного анализа эффективности отпуска тепловой энергии в тепловую сеть посредством сравнения нормативных (расчетных) значений показателей функционирования источника теплоты, как

производителя тепловой энергии в системе теплоснабжения с фактическими данными, полученными в результате измерений. Сравнивая фактические и расчетные параметры работы системы теплоснабжения, выявляют основные причины некачественного теплоснабжения.

Основной эффект от внедрения системы «АИСТ» заключается в том, что ее использование позволяет обеспечить качественно новый уровень управления технологическими процессами котель-

ных с использованием измерительного оборудования нового поколения и современных информационных технологий. Возможности системы ориентированы на обеспечение бесперебойного и качественного теплоснабжения, поддержание оптимальных (энергоэффективных) эксплуатационных режимов котельных, а так же получение реального экономического эффекта и, как следствие, сдерживание роста тарифов на тепловую энергию и горячую воду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенко В.Р., Кузнецов Р.С., Орлов С.И., Чипулис В.П. Система мониторинга и анализа режимов функционирования потребителей тепловой энергии // Информатизация и системы управления в промышленности. — 2005. — № 7. — С. 23–28.
2. Бабенко В.Н., Виноградов А.Н., Малышко А.В., Михальцов А.С., Орлов С.И., Чипулис В.П. Автоматизация процессов мониторинга, регулирования и анализа режимов функционирования источников теплоты // Информатизация и системы управления в промышленности. — 2004. — № 1. — С. 5–8.
3. Виноградов А.Н., Гербек Ф.Э., Раздобудько В.В., Кузнецов Р.С., Чипулис В.П. Учет и анализ параметров технологических процессов выработки тепловой энергии // Информатизация и системы управления в промышленности. — 2006. — № 7. — С. 4–9.

Поступила после переработки 19.12.2008 г.

УДК 681.51

АППАРАТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОТОКОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

О.В. Непомнящий, Г.А. Скотников, В.А. Хабаров

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
E-mail: haba@inbox.ru

Рассмотрены основные проблемы получения оперативной информации для построения трехмерной модели распределения температурного поля при высокотемпературных производственных процессах. Предложен аппаратный метод построения модели высокотемпературного поля, основанный на регистрации состояния термодатчиков в режиме реального времени. Приведено описание вычислительной аппаратуры и принципов функционирования программного обеспечения исследовательского комплекса. Приведены результаты внедрения и апробации.

Ключевые слова:

Микропроцессорная система, модель температурного поля, алюминиевый электролизер, измерение температуры, автоматизированный контроль.

Среди задач, решаемых при контроле высокотемпературных полей, например, алюминиевых электролизеров, печей обжига и сушки кирпича, камер сгорания топлива и пр., следует выделить три основных направления:

Первое — это непосредственное измерение температурного поля объекта с помощью температурных датчиков [1]. Здесь основными проблемами являются: высокая температура и технологическая труднодоступность точек замера. Решение означенных проблем возможно за счет применения датчиков повышенной надежности с расширенным температурным диапазоном. Датчики монтируются непосредственно в теле контролируемого объекта, например в технологические полости, которые создаются на этапе его производства (монтажа) [2].

Вторым направлением следует считать визуализацию процесса, которая происходит посредством

построения модели температурного поля. Разумеется, что наиболее показательной будет трехмерная модель. Здесь важна скорость обработки информации, поскольку речь идет о манипуляции данными в режиме реального времени. Решить означенную проблему, т. е. увеличить скорость ввода и обработки данных, можно только за счет применения современной, высокопроизводительной аппаратуры, например, микропроцессорных средств автоматизации [3]. Так же, необходимо применение оригинальных алгоритмов и перспективных численных методов для решения математической задачи моделирования поля [4].

Третье направление в решении задач управления высокотемпературным производственным процессом заключается в непосредственной реакции системы на результат моделирования — контроль и стабилизация температурного поля объекта