

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 функциониро-

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

на основании полученных данных. На данном направлении решаются задачи управления мощной силовой нагрузкой. В свете последних достижений в электротехнике и программно-аппаратного обеспечения АСУ ТП [5], означенная задача не вызывает принципиальных трудностей и решается в рабочем порядке.

Авторами разработан программно-аппаратный комплекс для оперативного сбора данных о состоянии температурного поля, с диапазоном температур в верхнем пределе до 1200 °С, в тяжелых промышленных условиях, рис. 1.

Первая часть задачи решается за счет применения в качестве датчиков – термопар К, R, S или В – типа (ANSI), имеющих расширенный диапазон до 1800 °С (В-тип). Например, хромелевой (Cr-Ni) – термопары К-типа (ANSI), что соответствует ТХА – типу согласно ГОСТР 50431-92.

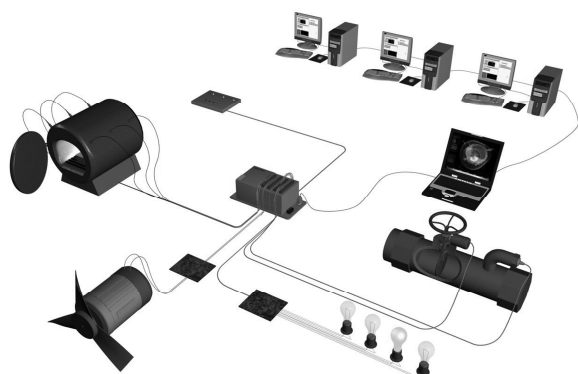


Рис. 1. Комплекс анализа температурного поля (на примере муфельной печи)

Измерение температуры объекта в контролируемых точках происходит при помощи термопар, объединенных в подгруппы по 8 штук и подключаемых к системе через клеммный соединитель. Для измерения температуры свободных контактов термопар на каждый соединитель установлен датчик температуры, который обеспечивает измерение температуры выходных контактов термопар.

Такой подход обусловлен большим количеством датчиков. При использовании промышленных усилителей и систем компенсации «холодного спая», стоимость проекта увеличивается на порядок, что негативно сказывается на целесообразности разработки.

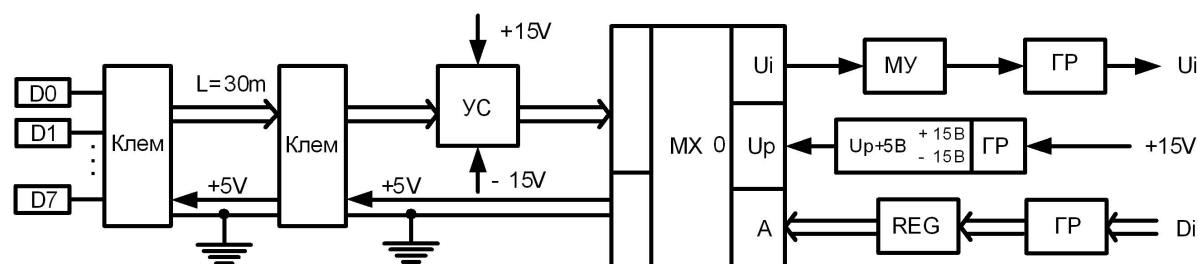


Рис. 2. Функциональная схема одной группы термопар: D0, D1, ..., D7 – датчики температуры выходных контактов термопар; Клем – разъемные соединители; УС – усилитель сигнала; MX₀ – коммутатор аналоговых сигналов; МУ – масштабный усилитель; ГП – элементы гальванической развязки; REG – регистр, хранящий адрес коммутируемого канала

При больших контролируемых объемах (до 100 м³) схема расположения термопар такова, что расстояние между выходами отдельных датчиков может превышать десятки метров, а расстояние до управляющего контроллера может составлять около 30 м. Более того, все термопары могут находиться под потенциалом, достигающим напряжения 500 В (электролизная ванна при производстве алюминия), а разность потенциалов между отдельными термопарами может быть до 10 В. Данные ограничения потребовали обязательного применения гальванической развязки, как термопар, так и цепей питания аппаратуры, рис. 2.

Для уменьшения уровня помех, возникающих в непосредственной близости от технологического оборудования, все аналоговые каналы (подгруппы термопар) разбиты на восемь групп, что позволяет уменьшить длину проводников аналогового тракта и значительно уменьшает уровень паразитных наводок и шумов. Модули МХ_г нормируют аналоговые сигналы и передают полученные сигналы на входы микропроцессорной системы.

В режиме калибровки аналогового тракта один из датчиков заменяется на источник эталонных сигналов, напряжение которого контролируется цифровым вольтметром.

Для определения коэффициента наклона передаточной характеристики и величины смещения, измерение выполняется в нескольких точках, по которым идет построение передаточной характеристики для каждого модуля МХ_г. Полученные результаты калибровки сохраняются в энергонезависимой памяти микропроцессорного устройства управления.

Температурная зависимость напряжения на выходе термопары является сильно нелинейной, рис. 3.

Для нахождения температуры по измеренному значению напряжения необходимо использовать таблицу или нелинейную функцию, аппроксимирующую табличные данные. Для аналитической аппроксимации табличных значений обычно используют полином вида:

$$T = a_0 + a_1V + a_2V^2 + \dots + a_nV^n,$$

где V – измеренное напряжение в мкВ; T – температура, °С; a₀, ..., a_n – коэффициенты полинома, индивидуальные для каждого типа термопары. Для ряда термопар эти коэффициенты установлены

стандартом NIST (National Institute of Standards and Technology) [6].

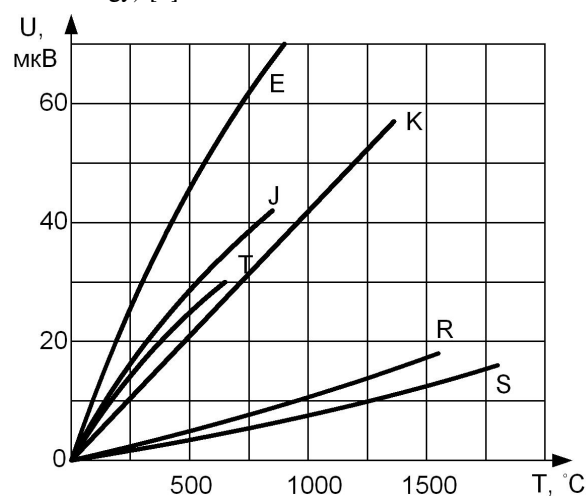


Рис. 3. Зависимости ЭДС от температуры для наиболее распространенных типов термопар

Для обратного перехода от температуры к напряжению используют аналогичную полиномиальную аппроксимацию:

$$V(T) = c_0 + c_1T + c_2T^2 + c_3T^3 + c_4T^4 + c_5T^5 + c_6T^6 + c_7T^7 + c_8T^8 + c_9T^9 + c_{10}T^{10}, \quad (*)$$

коэффициенты $c_0 - c_{10}$ которой приведены в [6]. Ур. (*) для термопары типа К имеет вид:

$$V(T) = c_0 + c_1T + c_2T^2 + c_3T^3 + c_4T^4 + c_5T^5 + c_6T^6 + c_7T^7 + c_8T^8 + c_9T^9 + 118,597 \exp[(-1,183432 \cdot 10^4)(T - 126,9686)^2].$$

Значение температуры вычисляется на программном уровне по таблице соответствия значений напряжения и температуры для термопар типа К, с учетом поправочных коэффициентов [6]. Так-

же учитываются калибровочные коэффициенты, полученные на этапе калибровки прибора и хранящиеся в энергонезависимом ПЗУ.

Разработанное микроконтроллерное устройство управления системой, рис. 4, представляет собой контроллер на основе микропроцессорного ядра – 8-RISC микроконтроллер Atmel AVR, функционирующего на тактовой частоте от 8 до 24 МГц.

Для оцифровки сигнала, поступающего с аналогового тракта и имеющего динамический диапазон 0...5 В, применяется встроенный в микроконтроллер 10-ти разрядный АЦП последовательного приближения, с временем преобразования 65...260 мкс, что обеспечивает точность выходных данных порядка 1 °С. Поступающие данные после оцифровки подвергаются дополнительной цифровой фильтрации: 2-16 выборок по 10-256 измерений. Полученные значения температуры сохраняются в энергонезависимой памяти устройства управления.

Настройка устройства на требуемый режим работы, а также задание частоты снятия параметров, выбор активных каналов, установка даты, времени и пр. системные настройки осуществляются при помощи высокопрочной промышленной клавиатуры. Для организации системы реального времени в устройстве применен энергонезависимый модуль часов/календаря реального времени. Модуль имеет функции таймера и будильника, что позволяет производить замер параметров в определенные часы (по расписанию или с фиксированным интервалом).

Информация о текущих режимах и функционировании устройства отображается на встроенном жидкокристаллическом индикаторе. Полученные или накопленные данные о состоянии температурного поля передаются через коммуникационный модуль, для окончательной обработки, в персональный компьютер.



Рис. 4. Микроконтроллерное устройство управления

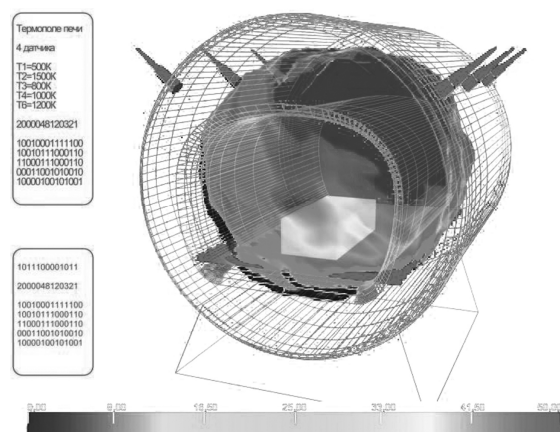


Рис. 5. Трехмерная модель температурного поля муфельной печи

Программное обеспечение системы можно условно разделить на две части. Первая часть – программное обеспечение начального уровня – микроконтроллерного узла сбора и предобработки данных, которое содержит драйвера устройств расширения, программы инициализации, настройки и пр.

Вторая часть – программное обеспечение более высокого уровня, посредством которого происходит построение модели температурного поля, ее

графическое отображение, осуществляется интерфейс с пользователем, управление микроконтроллерным узлом сбора и обработки данных. Пример графического отображения температурного поля представлен на рис. 5.

Разработанная система ввода информации использовалась для измерения температурного поля подины алюминиевого электролизера на Красноярском алюминиевом заводе в 2007–2008 гг. Измерения и сбор данных проводились в течение 48 ч в процессе предстартового обжига подины электролизера методом сжигания топочных газов. На основании полученных данных была построена модель температурного поля подины алюминиевого электролизера.

Таким образом, решена задача оперативного контроля распределения температурных потоков в замкнутом пространстве. Основанием для управления потоками является, создаваемая по оригинальным алгоритмам, трехмерная модель распределения температурного поля. Разработанная аппаратура позволяет получать оперативные данные в сложных производственных условиях при высокотемпературных процессах. Отличительной особенностью функционирования аппаратуры является режим реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герашенко О.А., Федоров В.Г. Температурные измерения. Справочное руководство. – Киев: Наукова думка, 1989. – 704 с.
2. Алексеев К.А., Антипин В.С., Ганашек А.А. Монтаж средств измерений и автоматизации. Справочник. 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Энергоатомиздат. 1988. – 488 с.
3. Ломакин В. Высокопроизводительные микропроцессы/микроконтроллеры класса «система на кристалле» // Электроника: НТБ. – 2005. – № 6. – С. 8–13.
4. Гуляев А.В. Восстановление и точность представления температурного поля при обжиге подины электролизера // Вестник

Красноярского государственного университета. – 2006. – № 2. – С. 143–149.

5. Современные технические и программные средства обеспечения АСУ и АСУ ТП: Тезисы докладов. – М.: ГАО ВВЦ, 2005. – 345 с.
6. Temperature-Electromotive Force Reference Functions and Tables for the Letter-Designated Thermocouple Types Based on the ITS-90. Natl. Inst. Stand. Technol. Monograph 175; 1993. – 630 p.

Поступила 20.02.2009 г.