

Активное участие в разработку отдельных узлов и блоков ускорителя принимали в разное время инженеры А.М.Слупский, Ю.В.Акимочкин, Ю.М.Акимов, Г.В.Милютин, В.Н.Бизенков, Ю.П.Суриков, Н.Е.Федосенко, А.Е.Ерзылев, Л.Т.Станислав и др.

Результаты исследований и разработок активно используются в учебном процессе Томского политехнического университета. В курсе общей физики включен раздел, посвященный электронным ускорителям, в лабораторном практикуме используется работа, моделирующая движение электронов в магнитном поле цилиндрического бетатрона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родимов Б.Н., Черданцев П.А., Медведева Т.А. // Известия вузов. Физика. – 1959. – №5. – С.6–13.
2. Москалев В.А., Гончаров В.Я., Окулов Б.В. и др. // Электронные ускорители. – М.: Энергия, 1968. – С.266–268.
3. Акулов Г.В., Богдашкин В.И., Москалев В.А. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Электрофизическая аппаратура. – 1987. – Вып.23. – С.19–21.
4. Азимов А., Бабаджанов Р.Д., Москалев В.А. и др. // Прикладная ядерная спектроскопия. – 1979. – Вып.9.
5. Акимочкин Ю.В., Гончаров В.Я., Москалев В.А. и др. // Атомная энергия. – 1993. – Т.75. – Вып.3. – С.200–205.
6. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. // ЖТФ. – 1993. – Т.63. – Вып.8. – С.172–176.
7. Москалев В.А., Шашов В.В. // Доклады 2-го Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. – Л.: 1975. – Т.2. – С.376–381.
8. Воробьев А.А., Москалев В.А. Сильноточный бетатрон и стереобетатрон. – М.: Атомиздат, 1969.
9. Москалев В.А. Бетатроны. – М.: Энергоатомиздат, 1981.
10. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 621.384.3

В. Г. ТОРГУНАКОВ

ЛИНЕЙНЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ ИК-СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Приведены результаты теоретико-экспериментального проектирования модульных индикационных сканирующих систем термографического контроля крупногабаритных промышленных теплоустановок.

Долговечность и безаварийность функционирования промышленных теплоустановок в значительной степени зависит от состояния защитного футеровочного слоя их оболочек. Дефекты, возникающие в теплозащитном слое, приводят к непроизводительным простоям, материальным и финансовым затратам на ремонт и последующий запуск технологического оборудования. В первую очередь это относится к объектам, подверженным кроме термического значительному механическому вибрационному воздействию (коксовые батареи, вращающиеся печи цементного и металлургического производств).

Отечественным приборостроением стационарные системы дистанционного непрерывного контроля корпусов промышленных теплоустановок серийно не выпускаются. Разработки, выполняемые в рамках НИР, основанные на использовании термпар, точечных пирометров с различного вида приводными механизмами сканирования, тепловизоров с охлаждаемыми приемниками излучения, по разным причинам (сложность в обслуживании, недостоверность, отсутствие наглядности, малый объем информации и т.д.) не нашли широкого применения.

Интерес представляют появившиеся в последние несколько лет опытные образцы стационарных сканирующих инфракрасных (ИК) систем для дефектоскопии корпуса и контроля состояния энергетических и геометрических параметров газового факела вращающихся печей обжига материалов в цементной промышленности. Например, "Пироскан" (Омск), "Термоскан-02" (Москва), "ИКСА-03Ц", "ИНТРОКОН-04" (Томск) [1], реализующие наглядные, графические, абстрактные и комбинированные модели исследуемых тепловых полей. Из зарубежных, для контроля динамических пространственных тепловых картин, наиболее широко известны линейные сканирующие системы ряда "Термопрофиль" шведской фирмы "AGEMA Infrared Systems".

В состав систем входят один ("Пироскан", "Термоскан-02", "Термопрофиль") или два ("ИКСА-03Ц", "ИНТРОКОН-04") линейных сканирующих пирометра, аппаратура связи, стандартные

("Пироскан", "Термоскан-02", "Термопрофиль") или оригинальные ("ИКСА-03Ц", "ИНТРОКОН-04") микропроцессорные блоки для обработки, отображения и архивирования информации. Все данные о терморельефе наблюдаемого объекта как текущие, так и архивные индицируются на экране видеомонитора. Для документирования результатов контроля системы снабжены принтером (рис.1).

Указанные аппаратно-программные средства способны решать серьезные задачи теплового контроля в реальных производственных условиях. Однако уровень диагностики, обеспечиваемый ими, на сегодняшний день является недостаточным. Во-первых, температурный рельеф объектов, отображаемый на мониторе, имея корреляцию с толщиной защитного слоя, не дает количественной информации о его остаточных размерах. Во-вторых, подобные системы автономно обслуживают одну теплоустановку, не имея возможности осуществлять комплексный многоуровневый контроль в масштабах цеха или завода.

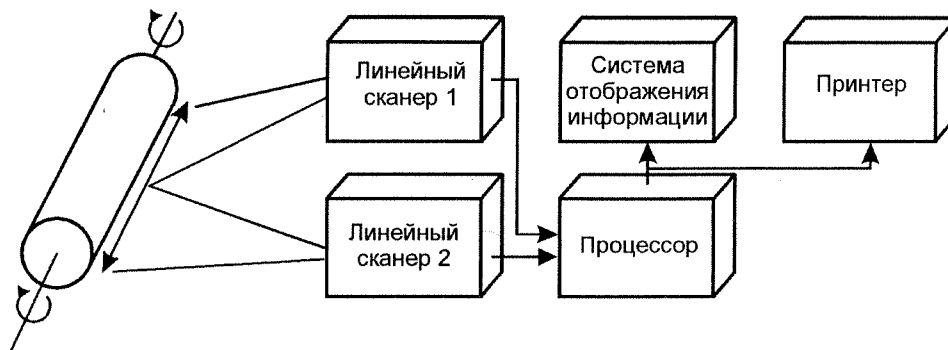


Рис.1. Структурная схема ИК-линейной сканирующей системы контроля

1. Решение первой задачи предложено выполнить посредством разработки математической и на ее основе компьютерной модели нестационарных процессов тепломассопереноса, протекающих в печи, и расчета на их основе обратной задачи теплопроводности. Локальные отклонения измерительной информации от данных, полученных расчетным путем, используются для оценки параметров дефектов корпуса печи [2].

Компьютерная модель тепловых процессов цементной печи позволяет рассчитывать поле температур как на поверхности, так и внутри корпуса. В модели проводится тепловой расчет многослойной кольцевой структуры корпуса с обжигаемой внутри него сыпучей смесью – клинкером (рис.2).

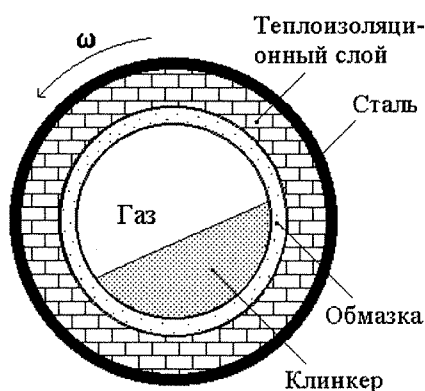


Рис.2. Цементная печь в разрезе

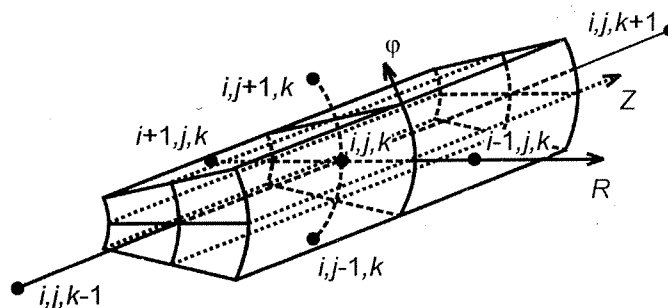


Рис.3. Ячейка Дирихле для узла i,j,k

При расчете учитываются следующие процессы:

- конвективный теплообмен с окружающей средой на внешней поверхности печи;
- теплообмен путем теплопроводности внутри материалов корпуса печи;
- конвективный теплообмен с газом, протекающим внутри корпуса печи;
- вращение печи вокруг оси;
- массоперенос материала клинкера.

Для моделирования весь объект представляется в виде совокупности ячеек Дирихле в трехмерных цилиндрических координатах [3] (R – φ – Z -геометрия) (рис.3).

- Совокупность протекающих в печи процессов расщепляется на следующую последовательность:
- процессы теплопередачи вдоль радиуса R ;
 - процессы теплопередачи по угловой координате φ ;
 - процессы теплопередачи по координате Z ;
 - процессы массопереноса при вращении печи.

Каждый из перечисленных процессов теплопереноса описывается совокупностью уравнений теплового баланса, записанных для каждой из ячеек Дирихле.

Приведем эти уравнения для процесса теплопередачи вдоль радиуса R . Другие процессы теплопередачи моделируются аналогично заменой формул для площади теплообмена и расстояния между центрами ячеек. Для ячеек Дирихле, не граничащих с газовой средой, уравнение теплового баланса записывается в виде

$$(C\rho_{i-1/2,j,k}V_{i-1/2,j,k} + C\rho_{i+1/2,j,k}V_{i+1/2,j,k}) \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\Delta t} = \lambda_{i-1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i-1,j,k}^{n+1}}{l_i} S_{i-1/2} + \lambda_{i+1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i+1,j,k}^{n+1}}{l_{i+1}} S_{i+1/2}, \quad (1)$$

где $C\rho_{i-1/2,j,k}$ – произведение плотности на теплоемкость для той половины ячейки Дирихле, которая расположена между радиусами R_i и $\frac{R_i + R_{i-1}}{2}$ (радиальное расстояние между узлами может изменяться от слоя к слою); $C\rho_{i+1/2,j,k}$ – произведение плотности на теплоемкость для той половины ячейки Дирихле, которая расположена между радиусами R_i и $\frac{R_i + R_{i+1}}{2}$; $V_{i-1/2,j,k}, V_{i+1/2,j,k}$ – объемы вышеописанных половин ячейки Дирихле; $\lambda_{i-1/2}, \lambda_{i+1/2}$ – коэффициенты теплопроводности для обеих половин ячейки; $S_{i-1/2}, S_{i+1/2}$ – площади теплообмена между ячейкой i,j,k и соседними ячейками $i-1,j,k$ и $i+1,j,k$ соответственно; $T_{i,j,k}^{n+1}, T_{i,j,k}^n$ – температуры в ячейке Дирихле в последующем и текущем временных слоях; $l_i = R_i - R_{i-1}$ – расстояние между центрами ячеек Дирихле по радиусу; Δt – промежуток времени между двумя соседними временными слоями.

Уравнение (1) выведено при следующих допущениях:

- границы между зонами с различными теплофизическими свойствами могут проходить только по линиям сетки;
- сетка равномерна по осям Z и φ , но может быть неравномерна по оси R .

В случае, когда в ячейке Дирихле граница между зонами с различными теплофизическими свойствами проходит по поверхностям сетки, параллельным оси поверхности R – φ или поверхности R – Z , левая и правая части уравнения (1) разбиваются на соответствующее число слагаемых.

Для ячейки, выходящей на внешнюю поверхность печи, уравнение теплового баланса записывается в виде

$$C\rho_{i+1/2,j,k}V_{i+1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\Delta t} = \lambda_{i+1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i+1,j,k}^{n+1}}{l_{i+1}} S_{i+1/2} + \alpha_0 (T_0 - T_{i,j,k}^{n+1}) S_i, \quad (2)$$

где α_0 – коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене с окружающей средой; T_0 – температура окружающей среды.

Для ячейки, выходящей на внутреннюю поверхность печи, свободную от клинкера, а также для ячейки, содержащей клинкер и входящей в соприкосновение с газом цементной печи, уравнение теплового баланса записывается в виде

$$C\rho_{i-1/2,j,k}V_{i-1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\Delta t} = \lambda_{i-1/2,j,k} \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i-1,j,k}^{n+1}}{l_{i-1}} S_{i-1/2} + \alpha_1 (T_\Gamma(Z) - T_{i,j,k}^{n+1}) S_i, \quad (3)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене с проходящим по печи газом; $T_\Gamma(Z)$ – температура газа, как функция переменной Z ; S_i – площадь цилиндрической поверхности, пересекающей ячейку Дирихле при $R = R_i$.

Процесс массопереноса клинкера моделируется следующим образом:

1. Все ячейки одного радиального сечения, содержащие клинкер, сдвигаются на один угловой шаг.
2. Вычисляется средняя температура ячеек, вышедших из зоны устойчивости (клинкер из этих ячеек скатывается вниз по линии наибольшего скатывания).
3. Ячейки, входящие в зону устойчивости, но освободившиеся от клинкера в результате механического перемещения, снова заполняются клинкером с усредненной температурой.
4. Зная угол между линией наибольшего скатывания и линией, ограничивающей клинкер в радиальном сечении, вычисляем величину перемещения клинкера по оси Z и выполняем соответствующее перемещение ячеек Дирихле клинкера (при этом допускается, что перемещение клинкера по оси не равно целому числу шагов - в этом случае клинкер размещивается по соседним ячейкам);
5. Процесс массопереноса повторяется необходимое число раз для синхронизации временных шагов, используемых при моделировании процесса теплопередачи и процесса массопереноса.

Несмотря на включение в алгоритм пункта 5, существенно ускорить процесс расчета квазистационарного распределения температур в печи не удастся из-за необходимости применения малого временного шага для моделирования процесса массопереноса (0,5–2,0 с), в то время как для моделирования процессов теплопередачи желательно применять временной шаг порядка 500–2000 с. Для ускорения процесса установления стационарной температуры применяются специальные режимы: счет без вращения печи с большими временными шагами и счет в двумерной R - φ -геометрии без учета теплопередачи и массопереноса вдоль оси.

Программа, реализующая описанные алгоритмы моделирования, позволяет рассчитывать температуру в ячейках, общее число которых не может превышать 130 тысяч. В кольцевой структуре печи может содержаться до трех слоев. На внутренней поверхности печи могут содержаться до шести пустых дефектных зон либо зон с теплофизическими характеристиками, отличающимися от характеристик материалов слоев. Исходные данные считываются из текстового файла, подготовленного любым редактором в формате MS-DOS. Полученные значения температур записываются в выходной файл в формате MS-DOS для последующей обработки программами визуализации.

На рис.4 показано сравнение рассчитанного распределения температур вдоль одной из образующих цилиндрического корпуса печи с распределением, полученным экспериментально.

Падение температур около краев цилиндра, наблюдаемое экспериментально, объясняется наличием в этих местах внешнего опорного бандажа печи и пока не может быть получено на модели, в которой этот бандаж не учитывается. Как видно из рисунка, совпадение кривых является достаточно хорошим. На расчетной кривой отчетливо различается дефект во внутренней обмазке печи, находящийся около её правого края.

Аналитическое выражение для определения толщины защитного слоя как функции от температуры внешней поверхности оболочки печи, других параметров объекта контроля и окружающей среды определяется при решении обратной задачи теплопроводности.

Вывод проведен при следующих допущениях:

- тепловые процессы принимаются стационарными;
- дефекты внутренней поверхности имеют большие размеры, и радиус внутренней поверхности в зоне дефекта определяется дефектом;
- температура в зоне определения толщины на достаточно большом расстоянии не зависит от угловой и осевой координат.

При этих допущениях температура внутри одного кольцевого слоя определяется выражением

$$T = \frac{T_1 \ln \frac{R}{R_2} - T_2 \ln \frac{R}{R_1}}{\ln R_1 - \ln R_2}, \quad (4)$$

где T – температура внутри кольцевого слоя как функция от радиуса R ; T_1, T_2 – температуры внешней и внутренней поверхностей кольца соответственно; R_1, R_2 – радиусы внешней и внутренней поверхно-

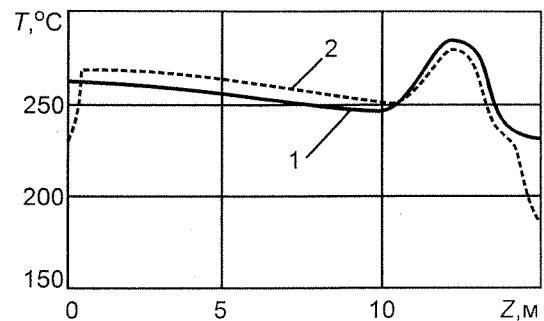


Рис.4. Расчетное (1) и экспериментальное (2) распределение температур вдоль оси Z

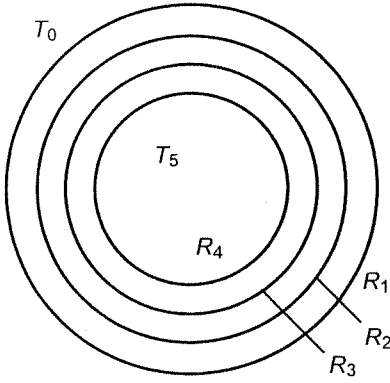


Рис. 5. Рассматриваемая структура

стей кольца соответственно. Теперь рассмотрим трехслойную теплопроводящую структуру с конвективным теплообменом на внешней и внутренней поверхностях (рис. 5).

Температуру газа внутри кольцевой структуры примем равной T_5 . Неизвестные пока температуры на границах слоев обозначаются как T_1, T_2, T_3, T_4 , при этом индексы возрастают при переходе от внешней поверхности колец к их внутренней поверхности. Для облегчения понимания, но без ущерба для общности будем полагать, что тепловой поток направлен изнутри наружу кольцевой структуры, а температуры слоев возрастают в обратном направлении.

На каждой из четырех границ запишем условие непрерывности теплового потока:

$$\alpha_0(T_0 - T_1) = \frac{\lambda_1(T_1 - T_2)}{R_1 \ln \frac{R_1}{R_2}}, \text{ для } R = R_1; \quad (5)$$

$$\frac{\lambda_1(T_1 - T_2)}{R_2 \ln \frac{R_1}{R_2}} = \frac{\lambda_2(T_2 - T_3)}{R_2 \ln \frac{R_2}{R_3}}, \text{ для } R = R_2; \quad (6)$$

$$\frac{\lambda_2(T_2 - T_3)}{R_3 \ln \frac{R_2}{R_3}} = \frac{\lambda_3(T_3 - T_4)}{R_3 \ln \frac{R_3}{R_4}}, \text{ для } R = R_3; \quad (7)$$

$$\alpha_4(T_4 - T_5) = \frac{\lambda_3(T_3 - T_4)}{R_4 \ln \frac{R_3}{R_4}}, \text{ для } R = R_4, \quad (8)$$

где α_0, α_4 – соответственно коэффициенты теплоотдачи внешней и внутренней поверхностей; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты теплопроводности первого, второго и третьего слоев соответственно.

Уравнения (5)–(8) составляют систему линейных уравнений относительно неизвестных T_1, T_2, T_3, T_4 . Остальные величины в этих уравнениях известны.

Последовательно разрешая эти уравнения относительно неизвестных, получим:

$$T_2 = T_1 + \alpha_0 R_1 C_1 (T_1 - T_0), \quad (9)$$

$$T_3 = T_1 + \alpha_0 R_1 (C_1 + C_2) (T_1 - T_0), \quad (10)$$

$$T_4 = T_1 + \alpha_0 R_1 (C_1 + C_2 + C_3) (T_1 - T_0), \quad (11)$$

$$T_5 = T_1 + \alpha_0 R_1 \left(C_1 + C_2 + C_3 + \frac{1}{\alpha_4 R_4} \right) (T_1 - T_0), \quad (12)$$

где

$$C_1 = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\lambda_1}, \quad C_2 = \frac{\ln \frac{R_2}{R_3}}{\lambda_2}, \quad C_3 = \frac{\ln \frac{R_3}{R_4}}{\lambda_3}.$$

Формулы (9)–(12) решают прямую задачу уравнений теплопереноса, а именно: по заданным размерам и свойствам среды и по заданным граничным условиям определяют распределение температур. Формула (12) является исходным пунктом решения одной из обратных задач: по известным значениям температур T_0, T_1, T_5 определить величину R_4 радиуса самой внутренней поверхности. После простых преобразований получим

$$\frac{1}{\alpha_4 R_4} + \frac{\ln \frac{R_3}{R_4}}{\lambda_3} = \frac{T_5 - T_1}{\alpha_0 R_1 (T_1 - T_0)} - C_1 - C_2. \quad (13)$$

Левая часть уравнения (13) является функцией от неизвестного радиуса, а правая – константой. Уравнение решается с помощью численных методов. Приведем два начальных приближения, которые можно использовать при численном решении уравнения. Для этого преобразуем его к виду

$$\frac{1}{\alpha_4 R_3} \left(1 + \frac{R_3 - R_4}{R_4} \right) + \frac{\ln \left(1 + \frac{R_3 - R_4}{R_4} \right)}{\lambda_3} = \frac{T_5 - T_1}{\alpha_0 R_1 (T_1 - T_0)} - C_1 - C_2. \quad (14)$$

Преобразуя уравнение (14) дальше, как

$$\frac{R_3 - R_4}{R_4} + \frac{\alpha_4 R_3}{\lambda_3} \ln \left(1 + \frac{R_3 - R_4}{R_4} \right) = \frac{\alpha_4 R_3 (T_5 - T_1)}{\alpha_0 R_1 (T_1 - T_0)} - \alpha_4 R_3 (C_1 + C_2) - 1, \quad (15)$$

получим

$$x + a \ln(1+x) = b, \quad (16)$$

где $x = \frac{R_3 - R_4}{R_4}$, $a = \frac{\alpha_4 R_3}{\lambda_3}$, $b = \frac{\alpha_4 R_3 (T_5 - T_1)}{\alpha_0 R_1 (T_1 - T_0)} - \alpha_4 R_3 (C_1 + C_2) - 1$.

Вспоминая разложение в ряд Тейлора функции $\ln(1+x)$ и ограничиваясь первым его членом, получим значение x с недостатком:

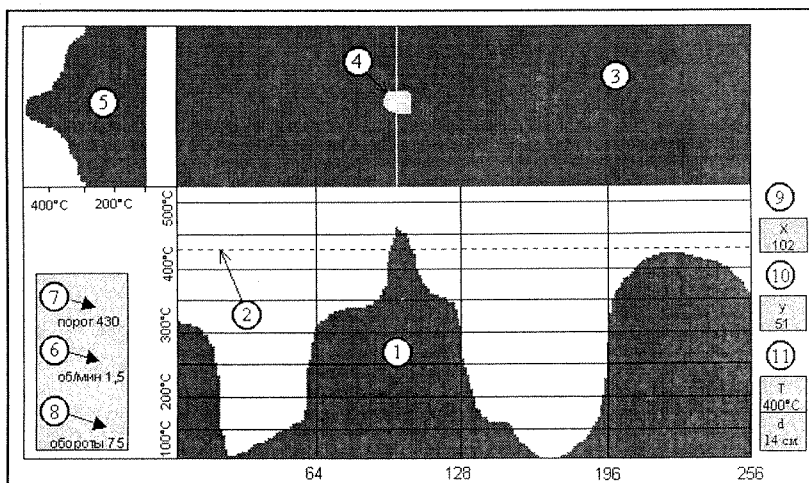
$$x_1 = \frac{b}{1+a}. \quad (17)$$

Значение x с избытком получим, заменяя в (16) первое слагаемое в левой части на несколько меньшую величину $\ln(1+x)$:

$$x_2 = e^{\frac{b}{1+a}} - 1. \quad (18)$$

Имея двустороннее приближение $x_1 < x < x_2$, можно для дальнейшего уточнения величины x применить метод дихотомии как наиболее простой в данном случае.

Рис.6. Отображение измерительной информации системы "ИКСА-03Ц": 1 – диаграмма горизонтального теплового реза; 2, 7 – обозначение аварийной температуры; 3 – карта дефектов; 4 – маркер вертикального реза; 5 – диаграмма вертикального теплового реза; 6 – угловая скорость вращения печи; 8 – число оборотов печи за отчётный период; 9 – горизонтальная координата; 10 – вертикальная координата; 11 – температура и толщина защитного слоя в точке с координатами $\{x, y\}$



На рис.6 приведен пример отображения измерительной информации системы "ИКСА-03Ц", иллюстрирующий практическое применение результатов компьютерного моделирования. В верхней части изображения индицируется карта дефектов – областей корпуса печи с толщиной защитного слоя меньше заданной величины.

II. Для решения второй проблемы с целью расширения функциональных возможностей автономных систем контроля была разработана двухуровневая автоматизированная система сбора и обработ-

ки данных (АСОД) с возможностью оперативного контроля состояния нескольких цеховых теплоустановок в динамике их функционирования (первый уровень), с архивированием и последующим анализом поведения объектов контроля за длительный промежуток времени (второй уровень) [4]. Структурная схема АСОД приведена на рис.7.

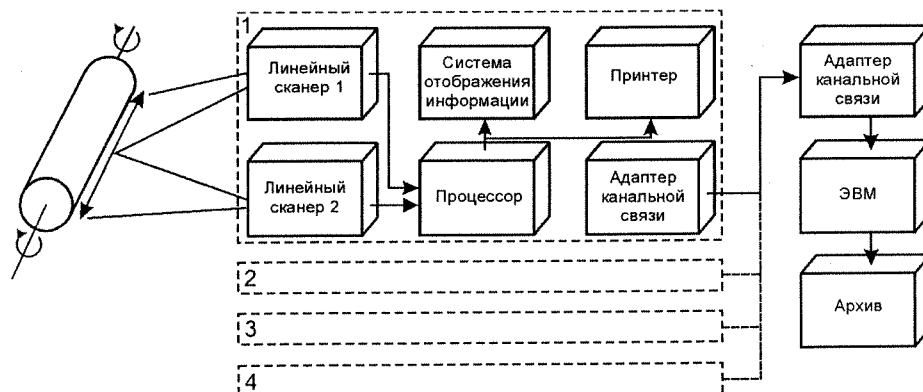


Рис.7. Структурная схема двухуровневой системы контроля

Система построена по линейному принципу и может обслуживать до четырех объектов одновременно. Периферийным устройством первого уровня, контролирующим отдельный объект, является программно-аппаратный комплекс "ИКСА – 03Ц" или "ИНТРОКОН-04". Физически связь между компьютером (второй уровень) и автономной системой контроля осуществляется по кабельной линии связи в стандарте RS232. Дальность действия 1500 м.

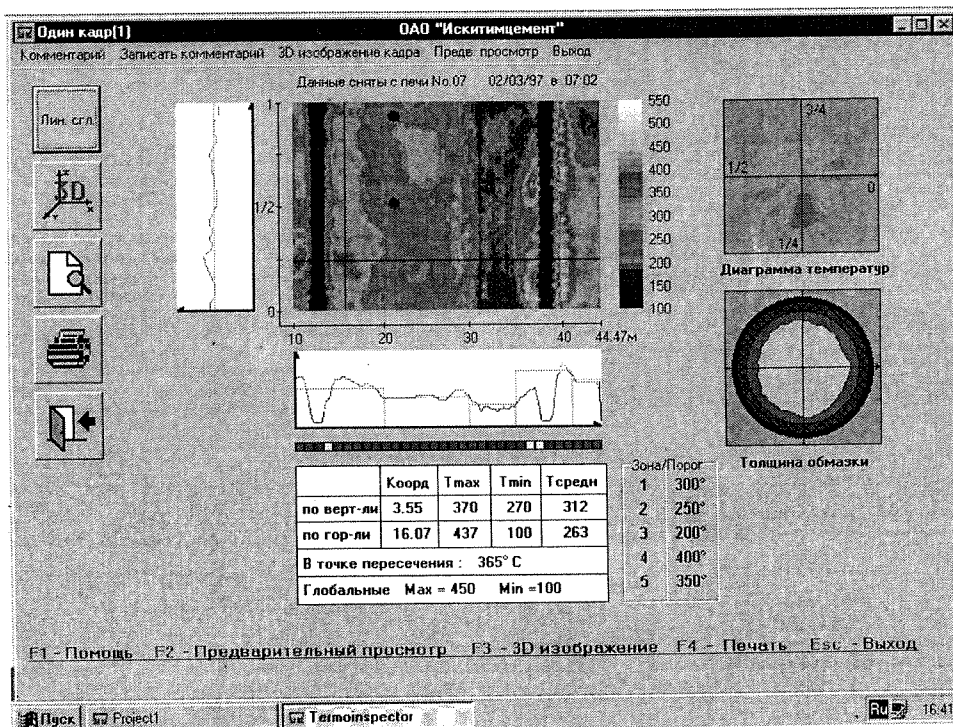


Рис.8

Для управления системой АСОД разработана программа "ТЕРМОИНСПЕКТОР", позволяющая записывать и принимать периферийные массивы данных, хранить, препарировать информацию и представлять в удобном для оператора виде результаты контроля.

На рис.8 приведено изображение рабочей ситуации на видеомониторе оператора второго уровня контроля.

На рис.9 представлен фрагмент аналитической ситуации с отображением двух тепловых портретов контролируемого участка печи в последовательные моменты времени. Анализ изображения позво-

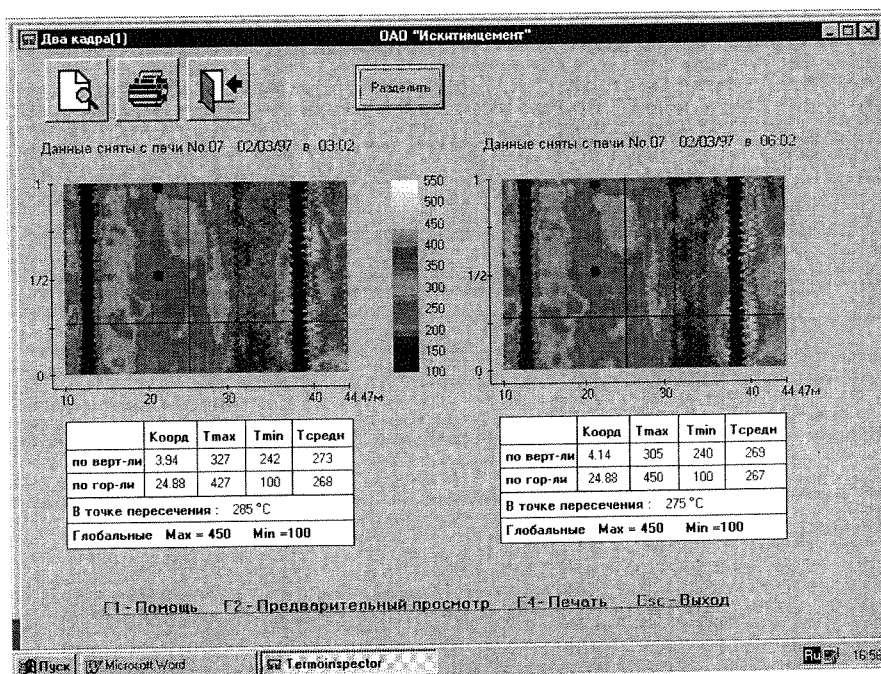


Рис. 9

ляет оценить общее изменение теплоотдачи печи, определить отклонение от заданного режима процесса обжига, принять меры к его стабилизации и одновременно выявить развивающиеся дефектные участки многослойной оболочки печи, оценить их параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торгунаков В.Г., Казимир И.П., Яманаев М.С., Чигарев С.Т. Контроль футеровки цементных печей с помощью сканирующего пирометра // Перспективы применения физических методов и средств контроля на предприятиях химического и машиностроительного комплексов: Тез. Российского н.-т. семинара. – Томск, 1994. – С.34.
2. Sukhanov M.S., Torgunakov V.G. Computer Model of Thermal Processes in a Cement Kiln // The 7th European Conference on Non-Destructive Testing. – Copenhagen: Denmark, 1998.
3. Соловьев А.В., Соловьева Е.В. и др. Метод ячеек Дирихле для решения газодинамических уравнений в цилиндрических координатах. – М., 1986. – 32 с. (Препринт/ИПМ АН СССР № 80).
4. Торгунаков В.Г., Чигарев С.Т., Яманаев М.С. Двухуровневая система термографического контроля промышленных теплоустановок // Оптические, радиоволновые, тепловые методы и средства контроля природной среды, материалов промышленной среды: Тез. VII Междунар. н.-т. конф., Череповец, Россия, 1997. – С.45-46.

УДК 621.398.694.4-533.3, 681.89:531.75, 621.398.694.3:531.787.2

А. И. ЧЕПРАСОВ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ

Представлен программно-аппаратный комплекс, включающий пульт управления, первичные датчики уровня, гидростатического давления, плотности, и программные средства, для обработки данных от первичных датчиков. Комплекс предназначен для коммерческого учета нефтепродуктов и автоматизации документооборота на предприятиях системы нефтепродуктообеспечения.

Положение в области автоматизации предприятий нефтепродуктообеспечения (НПО) в России сложилось таким образом, что фактически, отсутствуют отечественные производители оборудования