



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **A4** (11) **26932**
(51) **G01K 13/00** (2006.01)

КОМИТЕТ ПО ПРАВАМ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ИННОВАЦИОННОМУ ПАТЕНТУ

(21) 2012/0891.1

(22) 06.08.2012

(45) 15.05.2013, бюл. №5

(76) Приходько Евгений Валентинович; Никифоров Александр Степанович; Кинжибекова Акмарал Кабиденовна; Кучер Евгений Олегович; Никонов Георгий Николаевич

(56) Патент РК №16934, кл. B22D 2/00, 2006

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛООВОГО АГРЕГАТА**

(57) Изобретение относится к измерительной технике, в частности, к измерению температуры в тепловых агрегатах.

Техническим результатом является получение данных о температурных полях в футеровке теплового агрегата при нестационарной теплопроводности и использование этих величин для управления технологическим процессом.

Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата включает измерение

температуры с помощью датчиков температуры, выполненных без огнеупорного блока и помещённых в футеровку теплового агрегата, при этом в футеровке располагают несколько датчиков температуры, расположенных на различных заданных расстояниях от её внутренней поверхности таким образом, что точки замера температур датчиками температуры попадают на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате.

Значения температур по сечению футеровки рассчитывают по предварительно заданным значениям температур греющей среды и температур по сечению футеровки до нагрева по любой разностной схеме, а рассчитанные значения температур по сечению футеровки сравнивают с эмпирически полученными температурами.

Новым в способе является получение данных о температурах футеровки при нестационарной теплопроводности и решение задачи теплопроводности с помощью нового алгоритма.

(19) KZ (13) A4 (11) 26932

Изобретение относится к измерительной технике, в частности, к измерению температуры в тепловых агрегатах.

Известен способ теплового неразрушающего контроля теплотехнических характеристик материалов и конструкций, включающий периодическое измерение температуры и плотности теплового потока на наружной и внутренней поверхностях объекта, фиксацию тех временных интервалов и измеренных средних значений температуры и теплового потока, в которых данные величины отличаются на величину, не превышающую величину заранее заданной погрешности, и определение сопротивления теплопередачи контролируемого участка [Патент 2383008 РФ, МКИ G01N 25/18. Способ теплового неразрушающего контроля теплотехнических характеристик материалов и конструкций].

Недостатком этого способа является сложность, а порой и невозможность измерения температуры на внутренней поверхности теплового агрегата вследствие того, что внутренняя поверхность промышленного агрегата может граничить с агрессивной или высокотемпературной средой. Кроме того, на датчик может оказывать воздействие излучение, что может вызвать погрешность измерений.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа является способ определения температуры внутренней поверхности футеровки промышленной печи с помощью термозонда, в котором термозонд выполняется без огнеупорного блока, помещается в футеровку печи и температура внутренней поверхности футеровки определяется по формуле:

$$T_{n+1} = T_n + q \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} \right),$$

где λ_n - коэффициент теплопроводности огнеупорного слоя n при средней температуре $T_{cp,i}$ с учётом пропитки материала металлом, Вт/(м·К);

δ_n - толщина огнеупорного слоя, м;

q - тепловой поток через слой огнеупора, Вт/м²;

T_n - температура футеровки между огнеупорным и теплоизоляционным слоем, °С [Патент 16934 РК, МКИ B22D 2/00, G01K 13/00. Способ определения температуры внутренней поверхности футеровки промышленной печи].

Недостатком этого способа является: отсутствие возможности определять температуру внутренней поверхности футеровки с достаточной точностью при нестационарной теплопроводности.

Технический результат предлагаемого изобретения - получение данных о температурных полях в футеровке теплового агрегата при нестационарной теплопроводности и использование этих величин для управления технологическим процессом.

Это достигается тем, что в способе определения теплового состояния футеровки теплового агрегата, включающем измерение температуры с помощью датчиков температуры, выполненных без огнеупорного блока и помещённых в футеровку теплового агрегата, в футеровке располагают

несколько датчиков температуры, расположенных на различных заданных расстояниях от её внутренней поверхности таким образом, что точки замера температур датчиками температуры попадают на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате, а значения температур по сечению футеровки рассчитывают по предварительно заданным значениям температур греющей среды и температур по сечению футеровки до нагрева по любой разностной схеме, при этом рассчитанные значения температур по сечению футеровки сравнивают с эмпирически полученными температурами.

Способ поясняется чертежом.

Футеровка теплового агрегата представляет собой стенку, состоящую из кожуха 1 и слоя теплоизоляционного (или огнеупорного) материала 2. В футеровке размещены датчик температуры 3 на расстоянии L_1 от её внутренней поверхности и датчик температуры 4 на расстоянии L_2 от её внутренней поверхности. Внутри теплового агрегата находится греющая среда с температурой T_0 . Снаружи температура окружающей среды составляет значение T_{oc} .

Работа способа заключается в следующем.

В процессе кладки футеровки тепловых агрегатов в футеровку устанавливают датчики температуры на заданные расстояния от её внутренней поверхности. Количество датчиков и расстояние от внутренней поверхности выбирают исходя из эксплуатационных ограничений, связанных с возможностью аварийных ситуаций (нарушением герметичности, протечкой металла и др.).

С момента начала разогрева теплового агрегата (τ_0) ведут отсчёт времени разогрева. Для расчётов определяют шаг по координате Δu , то есть расстояние между двумя ближайшими точками футеровки теплового агрегата, в которых будут определять температуры. Для чего геометрически делят футеровку стены по толщине на такое количество равных участков, чтобы точки замера температур датчиками 3 и 4 попадали на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате.

Затем определяют шаг по времени Δt , то есть промежуток времени, через который будут определять температуры по сечению футеровки в выбранных точках.

Для определения температурных полей футеровки промышленного агрегата в момент времени τ_1 в процессе нестационарной теплопроводности снимают показания температуры датчиками температуры 3 и 4 (T_3 и T_4 соответственно).

Для дальнейших расчётов принимают, что температура по сечению футеровки перед процессом нагрева одинакова во всех точках и равна температуре окружающей среды.

Далее задаются первоначально температурой греющей среды T_0 . Первоначальное значение этой температуры принимают минимальным из возможных (при данных условиях нагрева). Затем производят расчёт значений температур по сечению футеровки теплового агрегата для момента времени τ_1 по любой разностной схеме.

Для явной четырёхточечной схемы методика расчёта будет выглядеть следующим образом. Задаются значением шага по времени $\Delta\tau$ и шага по координате Δy .

Вычисляют коэффициенты b и f по формулам:

$$b = \frac{\alpha \Delta y}{\lambda}, \quad f = \frac{a \Delta \tau}{\Delta y^2},$$

где a - коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

Δy - шаг по координате, м;

$\Delta \tau$ - шаг по времени, м;

λ - коэффициент теплопроводности $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Коэффициенты температуропроводности, теплоотдачи и теплопроводности являются справочными данными, которые находят по таблицам и диаграммам в зависимости от свойств материала и условий нагрева.

Затем проверяют явную четырёхточечную схему по условию сходимости:

$$f \leq 1/[2 \cdot (1 + b)].$$

Если условие не выполняется изменяют шаг по координате или времени; если, условие выполняется, то рассчитывают температуры по сечению в процессе разогрева от момента времени τ_0 до момента времени τ_1 с шагом по времени $\Delta\tau$: k ; $k+1$; $k+2$.

При этом температуру точки, соприкасающейся с греющей средой в момент времени $k+1$ определяют по формуле:

$$T_{n+1}^{k+1} = 2fT_n^k + [1 - 2f(1 + b)]T_{n+1}^k + 2fbT_0.$$

А температуру остальных точек по сечению в момент времени $k+1$ вычисляют по формуле:

$$T_i^{k+1} = fT_{i-1}^k + (1 - 2f)T_i^k + fT_{i+1}^k$$

Если в рассматриваемый момент времени рассчитываемая температура в точке на расстоянии L_1 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_3 и температура в точке на расстоянии L_2 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_4 то расчёт прекращают. При этом полученное распределение температур по сечению футеровки будет искомым.

Если же это условие не будет выполнено, задаются другой температурой T_0 и вновь повторяют расчёт.

Чем больше датчиков температуры располагают по толщине футеровки, тем меньше погрешность при определении температурного поля. Минимальное количество датчиков температуры обуславливается эксплуатационными ограничениями, связанными с возможностью аварийных ситуаций.

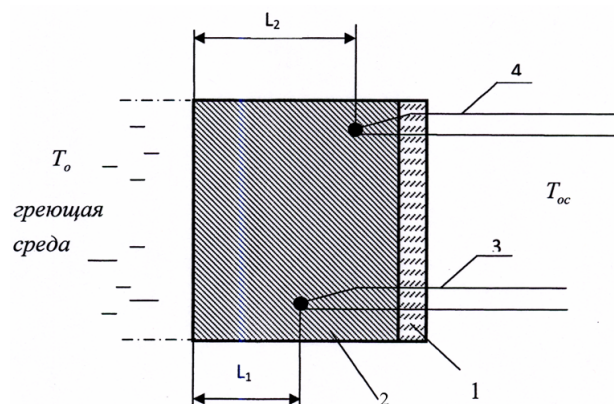
Технико-экономическая эффективность внедрения предлагаемого технического решения позволит получать данные о температурных полях футеровки в процессе нестационарной теплопроводности и использовать эти величины для управления технологическим процессом.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата, включающий измерение температуры с помощью датчиков температуры, выполненных без огнеупорного блока и помещённых в футеровку теплового агрегата, **отличающийся** тем, что в футеровке располагают несколько датчиков температуры, расположенных на различных заданных расстояниях от её внутренней поверхности.

2. Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата по п.1, **отличающийся** тем, что при расчётах шаг по координате выбирают таким образом, чтобы точки замера температур датчиками температуры попадали на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате.

3. Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата по п.1, **отличающийся** тем, что значения температур по сечению футеровки рассчитывают по предварительно заданным значениям температур греющей среды и температур по сечению футеровки до нагрева по любой разностной схеме, а рассчитанные значения температур по сечению футеровки сравнивают с эмпирически полученными температурами.



Фиг. 1