

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **029331**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2018.03.30**

(51) Int. Cl. **G01N 25/18 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201600008**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.11.27**

---

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ**


---

(43) **2017.05.31**(96) **2015/EA/0149 (BY) 2015.11.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(BY)**

(56) **BY-C1-16191**

**ХРУСТАЛЕВ Б.М.** и др. К вопросу диагностики сопротивлений теплопроводности наружных ограждающих конструкций зданий. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика, 2010, № 4, с. 36-43

RU-C1-2262686

RU-C1-2383008

(72) Изобретатель:  
**Хрусталёв Борис Михайлович, Сизов  
Валерий Дмитриевич, Нестеров Лев  
Валентинович (BY)**

(57) Изобретение относится к строительству и может быть использовано для измерительной диагностики зданий и сооружений на соответствие сопротивлений теплопередаче ограждающей конструкции нормативным требованиям. Задача, решаемая изобретением, заключается в более точном определении времени прекращения измерений  $\tau_4$ , упрощении решения задачи, снижении трудоемкости математических расчетов, сокращении продолжительности измерений, повышении вероятности получения более точного результата. Поставленная задача решается тем, что измеряют температуру внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_0)}$  в начальный период времени  $\tau_0$ , температуры внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_j)}$  и наружного воздуха  $t_{(\infty,\tau_j)}$  в различные моменты времени  $\tau_j$ , где  $j$  принимает значения от 1 до 4, причем  $\tau_4 - \tau_0 \leq 6$ , определяют суммарные коэффициенты теплоотдачи у внешней поверхности ограждающей конструкции  $\bar{\alpha}_j$ , для моментов времени  $\tau_j$ , среднюю массовую изобарную теплоемкость  $C_{эк}$  и среднюю плотность  $\rho_{эк}$  слоев ограждающей конструкции,  $j$  принимает значения, кратные долям часа (0,1...0,5...1) через равные промежутки времени в пределах  $\tau_0$  до максимального значения  $\tau_{max}$ , при котором температурный потенциал достигает противоположной поверхности ограждающей конструкции, т.е. когда  $t_{(x=\delta,\tau_{max})} \geq t_{(0,\tau_0)}$ , а сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{экj}$  в любой из моментов времени  $\tau_j$  определяют из выражения

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_j)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_j)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{\bar{\alpha}_j \cdot R_{экj} \cdot (1-\eta)}{\bar{\alpha}_j \cdot R_{экj} + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[v_n \cdot (1-\eta)] \times \exp\left(-v^2 \cdot \frac{\tau_j}{\delta_i \cdot C_{эк} \cdot \rho_{эк} \cdot R_{экj}}\right)$$

где  $\delta_i$  - толщина слоев ограждающей конструкции.

**B1****029331****029331****B1**

Изобретение относится к строительству и может быть использовано для измерительной диагностики зданий и сооружений на соответствие сопротивлению теплопередаче ограждающей конструкции нормативным требованиям.

Известен способ теплового неразрушающего контроля многослойных объектов [1], в котором определяют временной интервал, необходимый для получения достоверного результата. В течение этого времени периодически измеряют температуру и плотность теплового потока на наружной и внутренней поверхностях объекта. Задают значения теплопроводности наружного слоя. Используя модель, определяют возможную температуру и плотность для каждого заданного значения теплопроводности. Проводят тепловизионное обследование, измеряют температуры внутренних и наружных поверхностей. Сравнивают теоретические и полученные измерением результаты. Выбирают для дальнейших расчетов значение теплопроводности из числа заданных, которое может обеспечить условия сравнения.

Способ позволяет определить локальные сопротивления теплопередаче обследуемых участков и найти более рациональное решение по обеспечению требуемого сопротивления, если оно окажется не соответствующим нормативному.

Известное техническое решение обладает рядом недостатков. Согласно известному способу наружную поверхность ограждения разбивают на сетку с определенным шагом, при этом каждый квадрат сетки является обследуемым участком, относительно которого проводятся измерения, расчеты и сравнение данных. Сравнение результатов во всех квадратах может привести к недостоверному результату, так как возможно суммирование ошибок измерений в большую сторону, при этом возможен вариант, когда все выделенные участки неоднородны и произведенные измерения будут неточны. Нанесение сетки на исследуемый объект известными способами делает процесс продолжительным по времени. Недостатками данного способа являются трудоемкость, длительность по времени, большая вероятность получения неточного результата и необходимость определения плотности теплового потока.

Известен способ определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции [2] - прототип, при котором измеряют температуру внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_0)}$  в начальный момент времени  $\tau_0$ , температуры внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_j)}$  и наружного воздуха  $t_{(\infty,\tau_j)}$  в различные моменты времени  $\tau_j$ , где  $j$  принимает значения от 1 до 4, причем  $\tau_4 - \tau_0 \leq 6$  ч, определяют суммарные коэффициенты теплоотдачи у внешней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_j$ , для моментов времени  $\tau_j$ , среднюю массовую изобарную теплоемкость  $C_{эж}$  и среднюю плотность  $\rho_{эж}$  слоев ограждающей конструкции, а затем определяют сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{эжj}$  в любой из моментов времени  $\tau_j$  из выражения

$$\Theta = 1 - \exp\left(\frac{-2 \cdot R_{эжj} \cdot \tau_j}{\sum \delta_i \cdot C_{эж} \cdot \rho_{эж}}\right) \cdot \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{-2}{\infty_j} \cdot \sqrt{\frac{R_{эжj} \cdot \tau_j}{\sum \delta_i \cdot C_{эж} \cdot \rho_{эж}}}\right)\right], \quad (1)$$

Недостатками данного способа являются трудность определения времени  $\tau_4 - \tau_0 \leq 6$ , когда необходимо прекратить измерения, решение уравнения (1) в чистом виде относительно  $R_{эж}$  практически неосуществимо, из-за функции (erfc), необходимость проведения многих математических расчетов при использовании методов последовательных приближений для разных значений  $\alpha$ , которые необходимо рассчитывать во время каждого измерения.

Задача, решаемая изобретением, заключается в более точном определении времени прекращения измерений  $\tau_4$ , упрощении решения задачи, снижении трудоемкости математических расчетов, сокращении продолжительности измерений, повышении вероятности получения более точного результата.

Поставленная задача решается тем, что измеряют температуру внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_0)}$  в начальный период времени  $\tau_0$ , температуры внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0,\tau_j)}$  и наружного воздуха  $t_{(\infty,\tau_j)}$  в различные моменты времени  $\tau_j$ , где  $j$  принимает значения от 1 до 4, причем  $\tau_4 - \tau_0 \leq 6$ , определяют суммарные коэффициенты теплоотдачи у внешней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_j$ , для моментов времени  $\tau_j$ , среднюю массовую изобарную теплоемкость  $C_{эж}$  и среднюю плотность  $\rho_{эж}$  слоев ограждающей конструкции,  $j$  принимает значения, кратные долям часа (0,1...0,5...1), через равные промежутки времени в пределах  $\tau_0$  до максимального значения  $\tau_{\max}$ , при котором температурный потенциал достигает противоположной поверхности ограждающей конструкции, т.е. когда  $t_{(x=\delta,\tau_{\max})} \geq t_{(0,\tau_0)}$ , а сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{эжj}$  в любой из моментов времени  $\tau_j$  определяют из выражения

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_j)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_j)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{\alpha_j \cdot R_{эжj} \cdot (1 - \eta)}{\alpha_j \cdot R_{эжj} + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \operatorname{Sin}[v_n \cdot (1 - \eta)] \times \exp\left(-v^2 \cdot \frac{\tau_j}{\delta_i \cdot C_{эж} \cdot \rho_{эж} \cdot R_{эжj}}\right), \quad (2)$$

где  $\delta_i$  - толщина слоев ограждающей конструкции.

Способ определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций при тепловизионных методах измерения температур поверхностей основан на предположении, что ограждающая конструкция рассматривается как неограниченная пластина.

При нагревании и охлаждении ограждающей конструкции в виде неограниченной пластины при ГУ III рода для определения относительной избыточной температуры можно воспользоваться выражением [3]:

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{B_i \cdot (1-\eta)}{B_i + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[v_n \cdot (1-\eta)] \times \exp(-v_n^2 \cdot F_0), \quad (3)$$

$$B_i = \frac{\bar{\alpha}_{\text{эк}} \cdot \delta_i}{\lambda_{\text{эк}}}; F_0 = \frac{a \cdot \tau_j}{\delta_i^2},$$

где аргументы

$\bar{\alpha}_{\text{эк}}$  - коэффициент теплоотдачи у внешней поверхности, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\delta_i$  - толщина слоен ограждающей конструкции, м;

$\lambda_{\text{эк}}$  - коэффициент теплопроводности тела, Вт/м·°С;

$$a = \frac{\lambda_{\text{эк}}}{C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}}}$$

- коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/ч;

$C_{\text{эк}}$  - массовая изобарная теплоемкость, кДж/кг·°С;

$\rho_{\text{эк}}$  - средняя плотность конструкции, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  - параметр толщины;

$A_n$  - параметр амплитуды колебаний температуры.

Задача решается при начальных условиях:  $t_{(\tau=0)} = t_0$ ;

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha \cdot (t_{(\infty,\tau_i)} - t_{0,\tau_0});$$

граничных условиях:

$$t_{(\infty,\tau_i)} = \text{Const} \quad t_{(x=\delta)} = t_0.$$

Т.е. в итоге относительная температура является функцией теплофизических характеристик ограждения, коэффициента теплоотдачи у наружной поверхности и продолжительности измерений.

Для определения термического сопротивления теплопередаче  $R_{\text{эк}}$  воспользуемся следующими соотношениями:

$$\lambda_{\text{эк}} = \frac{\sum \delta_i}{R_{\text{эк}}}; \quad a = \sum \frac{\lambda_{\text{эк}}}{C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}}}; \quad R_{\text{эк}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{эк}}};$$

$$B_i = \alpha \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{эк}}} = \bar{\alpha} \cdot R_{\text{эк}}; \quad F_0 = \frac{a \cdot \tau}{\delta_i^2} = \frac{\tau}{C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}} \cdot \delta_i \cdot R_{\text{эк}}}.$$

Подставляя приведенные соотношения в (3), получим уравнение для определения сопротивления теплопередаче ограждения в виде:

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{\bar{\alpha} \cdot R \cdot (1-\eta)}{\alpha \cdot R + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[v_n \cdot (1-\eta)] \times \exp\left(-v_n^2 \cdot \frac{\tau_i}{\delta_i \cdot C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}} \cdot R_{\text{эк}}}\right), \quad (4)$$

где  $\bar{\alpha}_j$  - суммарный коэффициент теплоотдачи  $\bar{\alpha} = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}$ ,

$\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{л}}$  - конвективный и радиационный коэффициент теплоотдачи, определяемые по расчетным зависимостям.

Пример осуществления предлагаемого способа.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется следующим образом.

Используя физико-математическую модель ограждающей конструкции как неограниченную пластину подвергаемую охлаждению или нагреву при ГУ III рода для определения относительной температуры  $\Theta$  можно воспользоваться соотношением (3), где определяющие критерии:

$$B_i = \frac{\bar{\alpha}_{\text{эк}} \cdot \delta_i}{\lambda_{\text{эк}}}; F_0 = \frac{a \cdot \tau}{\delta_i^2}; \quad \eta = \frac{x}{\delta},$$

зависят от теплофизических характеристик многослойной конструкции, т.е. ( $\lambda_{\text{эк}}$ ,  $C_{\text{эк}}$ ,  $\rho_{\text{эк}}$ ), коэффициента теплоотдачи  $\bar{\alpha}_{\text{эк}}$ , времени  $\tau_j$  и определяющего размера  $\delta$ . Теплофизические характеристики входят

в коэффициент температуропроводности  $a = \frac{\lambda_{\text{эк}}}{C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}}}$ , который является определяющим при вычислении  $F_0$ .

Для определения сопротивления теплопередаче  $R_{\text{эк}} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{эк}}}$  или эффективного коэффициента теплопроводности  $\lambda_{\text{эк}}$  вначале задаются ориентировочные расчетные теплофизические характеристики, ориентировочные величины коэффициентов теплоотдачи у наружной поверхности  $\alpha_{\text{эк}} = \alpha_{\text{л}} - \alpha_{\text{к}}$ ; в пределах нормируемых. По этим значениям определяются критерии  $B_i$  и  $F_0$  при различных  $\lambda_{\text{эк}}$ ,  $C_{\text{эк}}$ ,  $\rho_{\text{эк}}$ , и в заданные кратные промежутки времени между  $\tau_0$  и  $\tau_{\text{max}}$ , за которые температурный потенциал не изменит температуру внутренней поверхности ограждения, т.е.  $t_{(x=\delta, \tau_{\text{max}})} \geq t_{(0, \tau_0)}$ .

По полученным расчетным величинам  $B_i$  и  $F_0$ , по соотношению (3) или построенным номограммам [3] вычисляются зависимости  $\Theta = f(F_0, B_i)$ , по которым можно опосредованно определить зависимость  $R = f(\Theta, \tau)$  в графическом виде при различных  $\alpha_{\text{эк}}$ .

Затем для определения фактической величины  $R_{\text{эк}}$  ограждающей конструкции замеряют в расчетные промежутки времени начальную температуру ограждающей конструкции, температуру ограждающей конструкции в заданный промежуток времени и изменившуюся температуру окружающей среды и в конечном итоге определяют  $\Theta_j$ .

По разности температур  $t_{(0, \tau_j)}$  и  $t_{(\infty, \tau_j)}$  определяют конкретную величину  $\bar{\alpha}$  по известным соотношениям.

Величину  $R_{\text{эк}}$  в зависимости от полученных  $\bar{\alpha}$  и заданного  $\tau_j$  можно определить по графику  $R = f(\Theta, \tau)$  в разные промежутки времени, определяя ее среднее значение  $R_{\text{ср}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$ , или используя преобразованное относительно  $R$  соотношение (1).

Все изложенное можно показать на примере.

По выражению (3) построен график зависимости  $\Theta = f(F_0, B_i)$ , по которому можно опосредованно определить зависимость  $R = f(\Theta, \tau)$ , подставив различные значения  $\Theta$  в разные промежутки времени.

Например, для  $\alpha = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Начальные условия:

$t_0$ , °C	$\vartheta$ , °C	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$h$ , м	$C$ , кДж/(кг·°C)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт			$\tau$ , ч		
0	-5	5	0,25	0,84	1000	0,6	1,0	1,4	1	2	5

Расчеты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета  $\Theta$  при  $\alpha = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ 

$R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	0,6			1,0			1,4		
$h$ , м	0,25								
$\lambda$ , Вт/(м·°C)	0,42			0,25			0,18		
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1000								
$C$ , кДж/(кг·°C)	0,84								
$a$ , м <sup>2</sup> /ч	0,0016			0,0010			0,0007		
$\tau$ , ч	1	2	5	1	2	5	1	2	5
$F_0$	0,026	0,052	0,130	0,016	0,031	0,078	0,011	0,022	0,056
$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	5,0								
$B_i$	3,0			5,0			7,0		
$\Theta$	0,36	0,46	0,58	0,44	0,53	0,66	0,51	0,57	0,72

Расчетные формулы:

$$1. \quad \lambda = \frac{h}{R}; \quad 2. \quad a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C};$$

3.  $\Theta$  - определяется по графикам [1].

По результатам таблицы 1 построен график зависимости  $R = f(\Theta, \tau)$  при  $\alpha = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  (фиг. 1).

Рассмотрим случай при  $\alpha = 10,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ . Начальные условия:

$t_0$ , °C	$\vartheta$ , °C	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$h$ , м	$C$ , кДж/(кг·°C)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт			$\tau$ , ч		
0	-5	10	0,25	0,84	1000	0,6	1,0	1,4	1	2	5

Расчеты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета  $\Theta$  при  $\alpha=10,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

$R, \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$	0,6			1,0			1,4		
$h, \text{ м}$	0,25								
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$	0,42			0,25			0,18		
$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	1000								
$C, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°C})$	0,84								
$a, \text{ м}^2/\text{ч}$	0,0016			0,0010			0,0007		
$\tau, \text{ ч}$	1	2	5	1	2	5	1	2	5
$F_0$	0,026	0,052	0,130	0,016	0,031	0,078	0,011	0,022	0,056
$\alpha, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$	10,0								
$B_i$	6,0			10,0			14,0		
$\Theta$	0,55	0,66	0,77	0,64	0,72	0,82	0,69	0,76	0,84

По результатам табл. 2 построен график зависимости  $R=f(\Theta, \tau)$  при  $\alpha=10,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) (фиг. 2).

Пример определения сопротивления теплопередаче по графическим зависимостям, построенным на основании расчетных величин (фиг. 1, 2) с использованием соотношений (1) и (2), по которым в [3] построены номограммы для определения опосредованно  $R=f(\Theta, \tau)$ .

В процессе исследований были определены следующие температуры в разные промежутки времени.

Время	$t_{(0, \tau_0)}$	$t_{(\infty, \tau_j)}$	$t_{(0, \tau_j)}$	$t_{(x=\delta, \tau_j)}$	$\Theta$	$R_{экj}$
$\tau_1 = 1$ час	-5,0	-10,0	-8,1	-5,0	0,62	0,9
$\tau_2 = 2$ часа	-5,0	-10,0	-8,65	-5,0	0,73	1,11
$\tau_3 = 5$ часов	-5,0	-10,0	-9,05	-5,1	0,81	0,93

По графику (фиг. 2) получены значения:

$R_{эк1}=0,9$ ;  $R_{эк2}=1,11$ ;  $R_{эк3}=0,93$ .

Средняя из измеренных величин:

$$R_{экp} = \frac{0,9 + 1,11 + 0,93}{3} = 0,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$$

определяет сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, при этом время окончания измерений составило 5 ч, когда  $t_{(x=\delta, \tau_j)} \geq t_{(0, \tau_0)}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что расчетное соотношение (1) показывает адекватность проведенным натурным измерениям, а построенными по нему графиками, т.е. можно пользоваться для контроля сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, если выбрать наиболее усредненную по характеристикам зону измерений, т.е. участков с однородным температурным полем и период времени температурной истории, где задача решается с заданной точностью при сокращении количества измерений.

Источники информации.

1. Патент РФ № 2219534, кл. G01N 25/72 от 12.09.2002 г.
2. Патент ВУ 16191 С1, МПК G01N 25/18 (2006.01).
3. Пехович А.И. Расчеты теплового режима твердых тел//А.И. Пехович, В.М. Житких// "Энергия", Л., 1968. - 304 с. с рис.

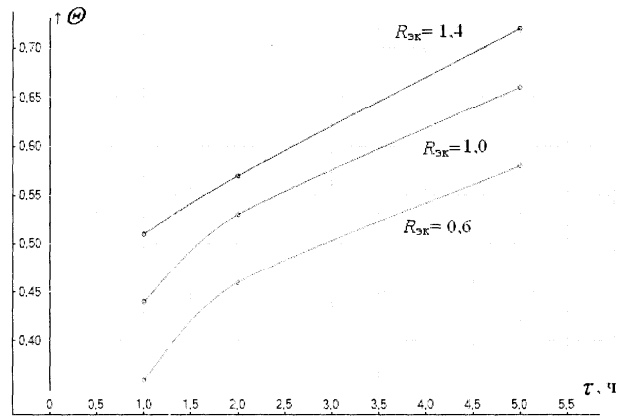
#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, при котором измеряют температуру внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0, \tau_0)}$  в начальный момент времени  $\tau_0$ , температуры внешней поверхности ограждающей конструкции  $t_{(0, \tau_j)}$  и наружного воздуха  $t_{(\infty, \tau_j)}$  в различные моменты времени  $\tau_j$ , где  $j$  принимает значения от 1 до 4, причем  $\tau_4 - \tau_0 \leq 6$ , определяют суммарные коэффициенты теплоотдачи у внешней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_j$ , для моментов времени  $\tau_j$ , среднюю массовую изобарную теплоемкость  $C_{эк}$  и среднюю плотность  $\rho_{эк}$  слоев ограждающей конструкции, отличающийся тем, что  $\tau_j$  принимает значения, кратные долям часа (0,1...0,5...1), через равные промежутки времени в пределах от  $\tau_0$  до максимального значения  $\tau_{max}$ , при котором температурный потенциал достигает противоположной поверхности ограждающей конструкции, т.е. когда  $t_{(x=\delta, \tau_{max})} \geq t_{(0, \tau_0)}$ , а сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{экj}$  в любой из моментов времени  $\tau_j$  определяют из выражения

$$\Theta = \frac{t_{(0, \tau_j)} - t_{(0, \tau_0)}}{t_{(\infty, \tau_j)} - t_{(0, \tau_0)}} = \frac{\alpha_j \cdot R_{экj} \cdot (1 - \eta)}{\alpha_j \cdot R_{экj} + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[\nu_n \cdot (1 - \eta)] \times \exp\left(-\nu^2 \cdot \frac{\tau_j}{\delta_i \cdot C_{эк} \cdot \rho_{эк} \cdot R_{экj}}\right), \quad (1)$$

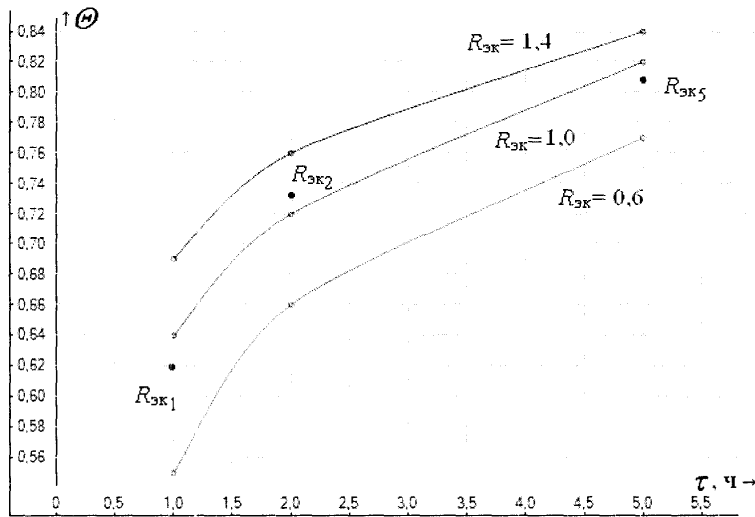
где  $\delta_i$  - толщина слоев ограждающей конструкции.

График зависимости  $R=f(\Theta, \tau)$  при  $\alpha=5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$   
 $\alpha = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ .



Фиг. 1

График зависимости  $R=f(\Theta, \tau)$  при  $\alpha=10,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$   
 $\alpha = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ .



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2