

УДК 691-4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ ДАТЧИКОВ С КОЛЬЦЕВЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

БЕЛИКОВ А. С.¹, д. т. н., проф.,КОЛЕСНИК И. А.^{2*}, соиск.

¹ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Аннотация. Постановка проблемы. Анализ показал, что все теплозащитные материалы можно условно разделить на однородные – с низкой теплопроводностью (пенобетон, пенопласты и прочее) и композиционные, многослойные – с наличием минеральной среды, имеющие различные теплофизические характеристики, но в сумме дающие положительный эффект термоизоляции при наличии преобладающей доли лучистого тела. Исследования показали, что при наличии равномерно распределенного объема воздушной массы имеет место в значительной степени контактный и конвективный теплообмен. Проведенный анализ методов определения теплотехнических характеристик материалов и используемых средств измерения показал, что большинство их основано на решении задач нестационарной теплопроводности с тепловыми источниками, геометрия которых не отражена в расчетных формулах. Следовательно, необходим метод измерения, который позволит определять теплотехнические характеристики строительных материалов ограждающих конструкций по данным опыта непосредственно в производственных условиях. **Цель статьи** – выполнить теоретические исследования по разработке и применению датчиков с кольцевым нагревателем для определения теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций, что позволит оценивать изменения микроклимата помещений с учетом изменений внешней среды. **Вывод.** Метод решения задачи с кольцевым источником тепла приводит к получению аналитических зависимостей, описывающих изменение температурного поля массива с учетом начальных и граничных условий, геометрии и мощности тепловых источников. Он может быть естественно обобщен для задач с тепловыми источниками переменной мощности, а также для неоднородных и не изотропных тел, имеющих различные теплотехнические характеристики. В конечном итоге в результате проведенных исследований получены зависимости для определения теплотехнических характеристик исследуемых материалов. На базе расчетных зависимостей нами предложен датчик, с помощью которого, помимо определения теплотехнических характеристик материалов, представляется возможным исследовать теплообмен строительных конструкций с окружающей средой в замкнутых помещениях. При этом нами была принята функциональная схема работы датчика с кольцевым нагревателем, что позволяет оценивать изменения теплотехнических свойств строительных материалов в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: строительные материалы, ограждающие конструкции, теплотехнические характеристики, датчик контроля теплообмена, микроклимат.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБЛЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ ІЗ КІЛЬЦЕВИМ НАГРІВАЧЕМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

БЕЛІКОВ А. С.¹, д. т. н., проф.,КОЛЕСНИК І. А.^{2*}, здобувач.

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Анотація. Постановка проблеми. Аналіз показав, що всі теплозахисні матеріали можна умовно поділити на однорідні – з низькою теплопровідністю (пінобетон, пінопласти та ін.) і композиційні, багат шарові – з наявністю мінерального середовища, що мають різні теплофізичні характеристики, але в сумі дають

позитивний ефект термоізоляції за наявності переважної частки променистого тіла. Дослідження показали, що за наявності рівнорозподіленого обсягу повітряної маси має місце значною мірою контактний і конвективний теплообмін. Проведений аналіз методів визначення теплотехнічних характеристик матеріалів і застосовуваних засобів вимірювання показав, що більшість їх засновано на розв'язанні задач нестационарної теплопровідності з тепловими джерелами, геометрія яких не відображена в розрахункових формулах. Отже, необхідний метод вимірювання, який дозволить визначати теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій за даними дослідів безпосередньо у виробничих умовах. **Мета статті** – виконати теоретичне дослідження з розроблення та застосування датчиків із кільцевим нагрівачем для визначення теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій, що дозволить оцінювати зміни мікроклімату приміщень з урахуванням змін зовнішнього середовища. **Висновок.** Метод розв'язання задачі з кільцевим джерелом тепла дозволяє отримати аналітичні залежності, що описують зміну температурного поля масиву з урахуванням початкових і граничних умов, геометрії та потужності теплових джерел. Він може бути природно узагальнений для завдань із тепловими джерелами змінної потужності, а також для неоднорідних і неізотропних тіл, що мають різні теплотехнічні характеристики. Зрештою, в результаті проведених досліджень нами отримані залежності для визначення теплотехнічних характеристик досліджуваних матеріалів. На базі розрахункових залежностей нами запропоновано датчик, за допомогою якого, крім визначення теплотехнічних характеристик матеріалів, уявляється можливим досліджувати теплообмін будівельних конструкцій з навколишнім середовищем замкнутих приміщень. При цьому нами прийнято функціональну схему роботи датчика з кільцевим нагрівачем, що дозволяє оцінювати зміни теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів у процесі експлуатації.

Ключові слова: будівельні матеріали, огорожувальні конструкції, теплотехнічні характеристики, датчик контролю теплообміну, мікроклімат.

THEORETICAL STUDIES ON THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SENSORS WITH CIRCULAR HEATER TO DETERMINE THERMAL PROPERTIES FENCING STRUCTURES

BELIKOV A. S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

KOLESNIK I. A.^{2*}, *Competitor.*

¹ Department of life safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of life safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Abstract. Problem statement. All heat-proof materials can be divided into homogenous – low thermal conductivity (foam, foams, etc.), and composite, laminated – with the presence of mineral media having different thermal characteristics showed the analysis, but in an amount giving a beneficial effect in the presence of thermal insulation of the predominant proportion of radiant body. Studies have shown that in the presence of an equal distribution of the volume of air mass takes place largely pin and convective heat transfer. The analysis methods for determining the thermal properties of materials and their means of measurements showed that the majority of them based on solving the problems of transient heat conduction with heat sources, the geometry of which is not reflected in the calculation formulas. Therefore, a measurement method that allows to determine the thermal performance of building materials walling according to experience directly in a production environment. **Purpose** – to perform theoretically study the development and application of sensors with ring heater for the determination of thermal properties of building materials walling, which will assess the indoor climate changes, taking into account changes in the environment. **Conclusion.** The method of solving the problem with the annular heat source results in analytical functions describing the change of the temperature field of the array with the initial and boundary conditions, geometry and thermal power sources. It may naturally be generalized to problems with variable power heat sources, as well as inhomogeneous and isotropic bodies having different thermal performance. Ultimately, as a result of the research we have obtained to determine the dependence of thermal characteristics of the materials studied. On the basis of the calculated dependences we have proposed a sensor, with which, in addition to determining the thermal properties of materials, it is possible to investigate the heat transfer of building structures with the environment in a confined space. At the same time we adopted a functional block diagram of the sensor with a ring heater that allows to evaluate the changes of thermal properties of building materials during the operation.

Key words: building materials, building envelope thermal performance, heat sensor control, climate.

Постановка проблеми. Анализ показал, что все теплозащитные материалы можно условно разделить на однородные – с низкой теплопроводностью (пенобетон, пе-

нопласты и проч.) и композиционные, многослойные – с наличием минеральной среды, имеющие различные теплофизические характеристики, но в сумме дающие положительный эффект термоизоляции при наличии преобладающей доли лучистого тела. Исследования показали, что при наличии равномерно распределенного объема воздушной массы имеет место в значительной степени контактный и конвективный теплообмен. Проведенный анализ методов определения теплотехнических характеристик материалов и используемых средств измерения показал, что большинство их основано на решении задач нестационарной теплопроводности с тепловыми источниками, геометрия которых не отражена в расчетных формулах. Следовательно, необходим метод измерения, который позволит определять теплотехнические характеристики строительных материалов ограждающих конструкций по данным опыта непосредственно в производственных условиях.

Цель – выполнить теоретические исследования по разработке и применению датчиков с кольцевым нагревателем для определения теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций, что позволит оценивать изменения микроклимата помещений с учетом изменений внешней среды.

Основной материал. Согласно проведенному нами анализу установлено, что обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении зависит от теплообмена ограждающих строительных конструкций с воздушной средой замкнутого пространства – температурно-влажностным его состоянием, которые определяются режимом теплоснабжения или охлаждения [1; 2]. Из-за дефицитности энергоресурсов в Украине, возникла необходимость в теоретическом и практическом обосновании контроля над температурным режимом помещений с учетом потерь тепла через ограждающие конструкции. При проведении теоретических исследований мы рассматривали общую задачу определения теплотехнических характеристик строительных материалов и конструкций.

Проведенный анализ методов определения теплотехнических характеристик мате-

риалов и используемых средств измерения показал, что большинство их основано на решении задач нестационарной теплопроводности с тепловыми источниками, геометрия которых не отражена в расчетных формулах [5; 8; 10; 12].

Одним из достоинств предлагаемого метода является то, что они позволяют определять теплотехнические характеристики по данным опыта непосредственно в производственных условиях. Это обусловлено тем, что в датчиках указанного типа применена несимметричная схема укладки эталона только с одной стороны исследуемого материала, что является отличительным признаком в работе (метод определения теплотехнических характеристик с использованием кольцевого нагревателя). Данный метод позволяет: с одной стороны учитывая геометрическую правильность задачи (осевую симметрию), получить более точные аналитические зависимости, связывающие геометрические параметры, теплотехнические характеристики и градиенты температурного поля; с другой стороны – находить полуэмпирические формулы для определения теплотехнических характеристик широкого диапазона исследуемых материалов с варьированием в широком интервале размеров источника и мощности самого нагревателя.

Предложенный нами датчик прибора представляет собой цилиндр, изготовленный из “идеального” изолятора (фторопласт-4), в рабочей плоскости которого запрессовано термосопротивление ММТ-13, позволяющее производить более точные измерения температуры на месте соприкосновения датчика и исследуемого материала (погрешность не превышает 5 %, что позволяет использовать данный метод в инженерной практике). При работе прибора выделяется постоянный по мощности удельный тепловой поток $q_0(x_0, y_0, z_0, t_0)$ от кольцевого нагревателя (рис. 1) с пространственно-временными координатами вида:

$$R_1^2 \leq x_0^2 + y_0^2 \leq R_2^2, \quad z = 0, \\ 0 \leq t_0 \leq T$$

В начальный момент времени ($Z = 0$) исследуемая среда и датчик прибора нахо-

дятся в равновесном тепловом состоянии с температурой $U(x, y, z, 0) = U_0 = const.$

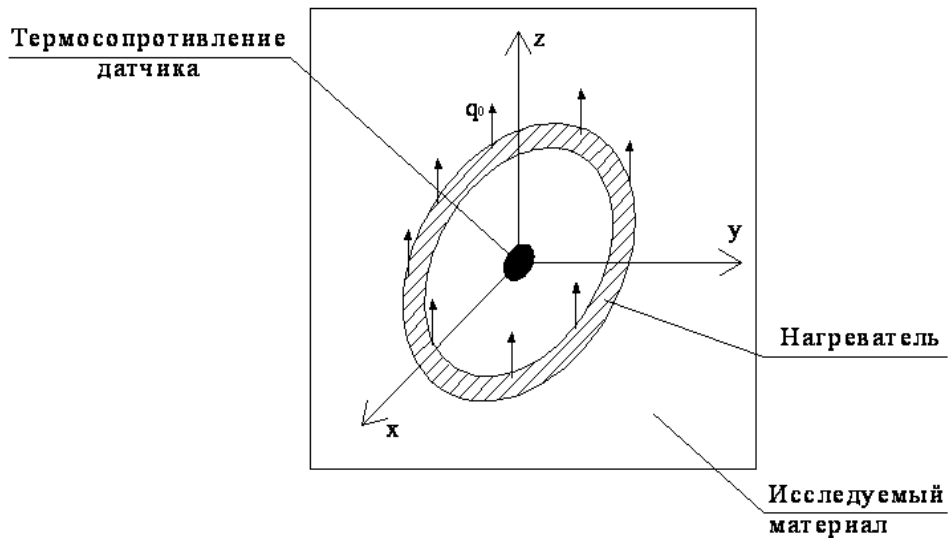


Рис. 1. Расположение датчика в пространственных координатах

При этом функция Грина [8] – уравнения теплопроводности для всего исследуемого полупространства имеет вид:

$$U(x, Z, x_0, Z_0) = \frac{2\theta(Z - Z_0)}{[4a^2\pi(Z - Z_0)]^{3/2}} \cdot \frac{q_0}{c\gamma} \cdot e^{-\frac{\bar{x}-\bar{x}_0}{4a^2(Z-Z_0)}} \quad (1)$$

Эта функция удовлетворяет уравнению (2) и определяет влияние элемента кольцевого источника тепла датчика мощностью

q_0 , локализованного в точке (x_0, Z_0) , на исследуемую точку полупространства (x, Z) :

$$\left(\frac{\partial}{\partial Z} - a^2\Delta\right)U(\bar{x}, Z, \bar{x}_0, Z_0) = \frac{q_0}{c\gamma} \cdot \delta(\bar{x} - \bar{x}_0) \cdot \delta(Z - Z_0) \quad (2)$$

где $\theta(z)$ – функция включения источника, отражающая необратимость теплового процесса (функция Хевисайда),

$\delta(x)$ – трехмерная функция Дирака,

$\delta(Z)$ – одномерная функция Дирака.

Соотношение 1 и 2 целесообразно, следуя принципу симметрии задачи, можно записать в цилиндрических координатах [12; 14] (рис. 2).

Эта функция характеризует температурное поле, создаваемое в точке массива $(r, \varphi, \theta, Z_0)$.

После ряда математических преобразований получено уравнение (4), описывающее изменение температурного поля в глубине исследуемого массива, в точках, лежащих на оси z , за счет влияния теплового источника.

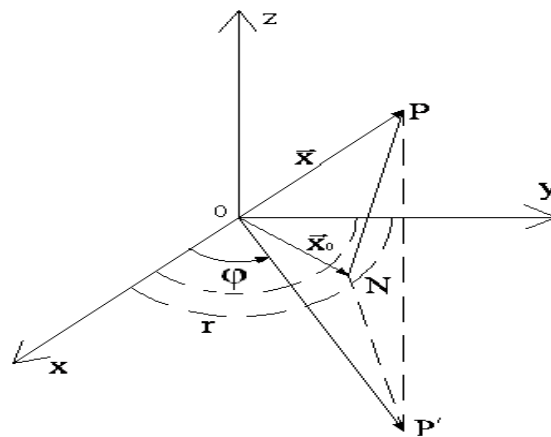


Рис. 2. Изображение точки в цилиндрической системе координат

$$U(r, \phi, Z, z, r_0, \phi_0, Z_0, 0) = \frac{2q_0(r_0, \phi_0, Z_0, 0)}{c \cdot \phi [4a^2 \pi (Z - Z_0)]^{3/2}} \cdot \theta(Z - Z_0) \times e^{(r^2 + r_0^2 - 2r \cdot r_0 \cdot \cos(\phi - \phi_0) + z^2) \left(\frac{\bar{x} - \bar{x}_0}{4a^2(Z - Z_0)} \right)}$$

$$U(z, Z) = \frac{4 \cdot q_0 \cdot \pi}{c \cdot \gamma (4a^2 \cdot \pi)^{3/2}} \int_0^T \frac{\theta(Z - Z_0)}{(Z - Z_0)^{3/2}} \cdot e^{\frac{z^2}{4a^2(Z - Z_0)} \cdot \int_{R_1}^{R_2} \frac{r_0^2}{4a^2(Z - Z_0)} \cdot dr_0} \cdot dZ_0$$

где q_0 – мощность удельного теплового потока кольцевого нагревателя датчика;

c – теплоемкость исследуемого материала;

γ – удельный вес исследуемого материала;

a – коэффициент температуропроводности датчика;

Z – текущий момент времени;

Z_0 – начальный момент времени;

T – конечный момент времени;

R_2, R_1 – внутренний и внешний радиусы кольцевого нагревателя;

r – радиус кольцевого нагревателя;

θ – функция Хевисайда.

Из соотношения (4) и анализа начальных условий следует, что изменение температуры по глубине массива (ось z) с течением времени при включении кольцевого источника, сосредоточенного в области, характеризуемой пространственными координатами (рис. 1), в пределах $0 \leq Z \leq T$ описывается закономерностью при граничных условиях:

$$R_1 \leq r_0 \leq R_2, 0 \leq \phi_0 \leq 2\pi, 0 \leq Z_0 \leq T \tag{5}$$

$$U(z, Z) = U_0 + \frac{4\pi \cdot q_0}{c \gamma (4\pi \cdot a^2)^{3/2}} \int_0^T \frac{1}{Z_0^{3/2}} \cdot dZ_0 \cdot e^{-\frac{z^2}{4a^2 Z_0}} \cdot \int_{R_1}^{R_2} e^{-\frac{r_0^2}{4a^2 Z_0}} \cdot dr_0$$

где U_0 – начальная температура.

В месте соприкосновения датчика прибора с исследуемым материалом закон из-

менения температуры может быть записан в виде: [14]:

$$U(0, Z) = U_0 + \frac{q_0}{2c \cdot \gamma \cdot a^2} \int_{0, Z-T}^{z, Z} \frac{1}{Z_0} \left[\Phi \left(\frac{R_2}{2a\sqrt{Z_0}} \right) - \Phi \left(\frac{R_1}{2a\sqrt{Z_0}} \right) \right] \cdot dZ_0$$

Таким образом, метод решения задачи с кольцевым источником тепла приводит к получению аналитических зависимостей, описывающих изменение температурного поля массива с учетом начальных и граничных условий, геометрии и мощности тепловых источников. Он может быть естественно обобщен для задач с тепловыми источниками переменной мощности, а также для неоднородных и неизотропных тел, имеющих различные теплотехнические характеристики.

В конечном итоге в результате проведенных исследований нами были получены зависимости для определения теплотехни-

ческих характеристик исследуемых материалов. При этом зависимость для определения коэффициента теплопроводности (λ) имеет вид:

$$\lambda = \frac{(q_0 \cdot \Delta R)^{2/3}}{4\pi \cdot c \cdot \gamma \cdot Z \cdot \Delta U} \cdot e^{-\frac{\alpha}{3}}, \tag{8}$$

где q_0 – удельный тепловой поток, выделяемый кольцевым нагревателем, определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{0.86 \cdot I^2 \cdot R}{F}; \tag{9}$$

ΔR – толщина кольца нагревателя;

Z – время нагрева;

ΔU – изменение температуры в плоскости соприкосновения;

c, γ – теплоемкость и удельный вес исследуемого материала (определяется из литературных источников);

α – величина, постоянная для данного прибора, вычисляется по формуле:

$$\alpha = -\frac{R_1 + R_2}{a_{np} \cdot \sqrt{Z}}, \quad (10)$$

где a_{np} – коэффициент температуропроводности датчика;

R_2, R_1 – внутренний и внешний радиусы кольцевого нагревателя;

На базе расчетных зависимостей нами предложен датчик, с помощью которого, помимо определения теплотехнических характеристик материалов, представляется возможным исследовать теплообмен строительных конструкций с окружающей средой в замкнутых помещениях. При этом нами была принята функциональная схема работы датчика с кольцевым нагревателем (рис. 3).

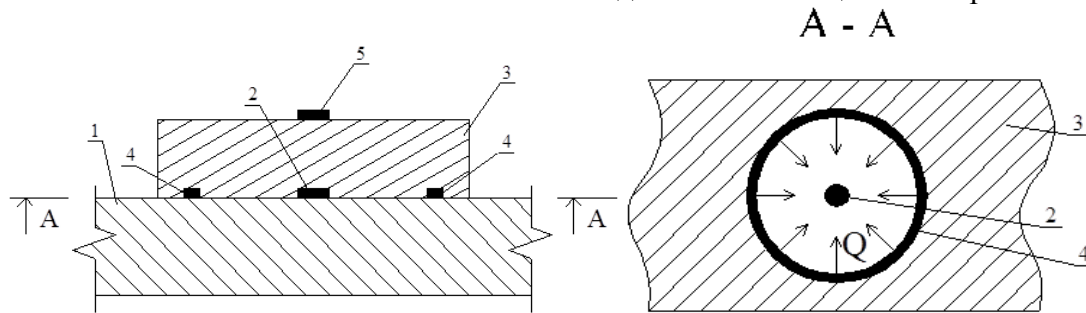


Рис. 3. Функциональная схема датчика с кольцевым нагревателем: 1 – исследуемый элемент; 2 – внутренний термометр; 3 – корпус датчика; 4 – кольцевой нагреватель; 5 – наружный термометр

Принимаем изначально допущение – схему подачи стабильного теплового потока Q от нагревателя 4 при контакте с исследуемым материалом 1. При этом тепло распространяется как вглубь образца, так и вдоль полуограниченной поверхности по направлению к приемнику теплового излучения 2.

При подаче стабильного тока на нагреватель датчика 2, который выполнен нами из нихрома, он выдает стабильный тепловой поток Q , который передает тепло исследуемому материалу. От точки распределения тепла тепловая волна прогревания достигает термометра 2, что позволяет определить теплофизические характеристики исследуемого материала.

В качестве основы датчика применение фторопласта обусловлено тем, что он имеет незначительный коэффициент линейного расширения $\alpha = 10 \times 10^{-5} \text{ 1/град}$ и малый коэффициент теплопроводности λ .

Основным критерием исследуемой поверхности при решении задач теплоотдачи и теплопередачи является тепловая активность $A = \frac{x}{\sqrt{a}}$,

где a – коэффициент температуропроводности.

В то же самое время: $\alpha = a \cdot C \cdot \gamma$,

где: C – удельная теплоемкость исследуемой поверхности;

γ – объемный вес исследуемого материала.

Данная зависимость хорошо согласуется с исследованиями [1; 2; 13; 16], где теплофизические характеристики теплозащитных материалов можно определить с учетом отражательной способности, электропроводности и теплопроводности.

При первоначальных условиях нами сделано допущение, что температура термических датчиков (2; 5) t_n^0 и t_e^0 равна. Принимая, что температуры исследуемого материала и самого тела датчика равны, при нагреве t_e^0 за счет распространения тепла по поверхностному слою исследуемого материала при постоянном потоке Q разность температур t_n^0 и t_e^0 будут характеризовать тепловую активность, теплопроводность и другие параметры.

Вывод. Метод решения задачи с кольцевым источником тепла приводит к получению аналитических зависимостей, описывающих изменение температурного поля массива с учетом начальных и граничных условий, геометрии и мощности тепловых источников. Он может быть естественно обобщен для задач с тепловыми источниками переменной мощности, а также для неоднородных и неизотропных тел, имеющих различные теплотехнические характеристики.

В конечном итоге в результате проведенных исследований нами были получены

зависимости для определения теплотехнических характеристик исследуемых материалов. На базе расчетных зависимостей нами предложен датчик, с помощью которого, помимо определения теплотехнических характеристик материалов, представляется возможным исследовать теплообмен строительных конструкций с окружающей средой в замкнутых помещениях. При этом нами была принята функциональная схема работы датчика с кольцевым нагревателем, что позволяет оценивать изменения теплотехнических свойств строительных материалов в процессе эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ и синтез измерительных систем / С. В. Мищенко, Ю. Л. Муромцев, Э. И. Цветков, В. Н. Чернышов. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1995. – 238 с.
2. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди ; пер. с венг. В. М. Беляев ; ред. пер. с венг. В. И. Прохорова, А. Л. Наумова. – Москва : Стройиздат, 1981. – 248 с.
3. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учеб. для вузов / В. Н. Богословский. – Изд.2-е, перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1982. – 415 с.
4. Демин О. Б. Физико-технические основы проектирования зданий и сооружений : учеб. пособ. / О. Б. Демин. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2004. – Ч. 2. – 84 с.
5. Захаренко И. М. Воздействие окружающей среды на конструкции зданий и сооружений / Захаренко И. М., Гончаренко Н. И. // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2011. – Вип. 28. – С. 3-7. – Режим доступа: http://knu.edu.ua/Files/V_28_2011/18.pdf.
6. Камья Ф. М. Импульсная теория теплопроводности : пер. с фр. / Ф. Камья. – Москва : Энергия, 1972. – 271 с.
7. Козлов В. П. Методы неразрушающего контроля при исследовании теплофизических характеристик твердых материалов / Козлов В. П., Станкевич А. В. // Инженерно-физический журнал. – 1984. – Т. 47, № 2. – С. 250-252.
8. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – Москва : Наука, 1964. – 487 с.
9. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения : учеб пособие / Г. М. Кондратьев. – Москва ; Ленинград : Машгиз, 1956. – 253 с.
10. Коротков П. А. Динамические контактные измерения тепловых величин / Коротков П. А., Лондон Г. Е. – Ленинград : Машиностроение, 1974. – 222 с.
11. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. Г. Шашков, Г. М. Волохов, Т. Н. Абраменко, В. П. Козлов ; под ред. А. В. Лыкова. – Ленинград : Энергия, 1973. – 242 с.
12. Платунов Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е. С. Платунов. – Ленинград : Энергия, 1973. – 143 с.
13. Теплофизические измерения и приборы / Е. С. Платунов, С. Е. Буравой, В. В. Курепин, Г. С. Петров. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 256 с.
14. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин ; науч. ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – 5-е изд., пересм. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
15. Шлыков Ю. П. Контактный теплообмен / Шлыков Ю. П., Гарин Е. А.. – Москва ; Ленинград : Энергия, 1963. – 144 с.
16. Шнейдер П. Инженерные проблемы теплопроводности / Шнейдер П. ; пер. с англ. М. С. Смирнова; ред. А. В. Лыков. – Москва : Иностран. лит., 1960. – 478 с.
17. Ярышев Н. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур / Ярышев Н. А. – Ленинград : Энергия, 1967. – 298 с.

REFERENCES

1. Mishchenko S. V., Muromtsev Yu. L., Tsvetkov I. E. *Analiz i sintez izmeritel'nykh system* [Analysis and synthesis of the measurement systems] .Tambov, Tamb. gos. tekhn. universitet, 1995. 238 p. (in Russian).

2. Banhidi L. *Teplovoy mikroklimat pomescheniy. Raschet komfortnykh parametrov po teplooschuscheniyam cheloveka* [Thermal indoor climate. Calculation of comfort parameters about man 's warm feeling. Moscow, Stroyizdat, 1981. 248 p. (in Russian).
3. Bogoslovsky V. N. *Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh)* [Building thermal physics (thermal fundamentals of heating, ventilation and air conditioning)]. Moscow, Vysshaya shkola 1982. 415 p. (in Russian).
4. Demin O. B. *Fiziko-tekhnicheskie osnovy proektirovaniya zdaniy i sooruzhenij. Uchebnoe posobie* [Physical and technical bases of designing of buildings and structures. Manual]. Tambov, TGTU , 2004, pp. 2. – 84 . (in Russian).
5. Zakharenko I. M., Goncharenko N. I. *Vozdejstvie okruzhayushej sredy na konstruksii zdaniy i sooruzhenij* [The impact of environment on design of buildings and structures]. *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu – Bulletin KTU. Krivoy Rog*, 2011, no. 28, pp. 3 – 7. Available at: http://knu.edu.ua/Files/V_28_2011/18.pdf. (in Russian).
6. Kama F. M. *Impul'snaya teoriya teploprovodnosti* [Pulse theory of thermal conductivity]. Moscow, Energiya, 1972. 271 p. (in Russian).
7. Kozlov V. P., Stankevich A. V. *Metody nerazrushayushego kontrolya pri issledovanii teplofizicheskikh kharakteristik tverdykh materialov* [Methods in the study of thermophysical characteristics of solid materials]. *Inzhenerno-fizicheskij zhurna – Engineering and Physics Journal*. 1984, vol.47, no.2, pp. 250 – 252. (in Russian).
8. Kondrat'ev G. M. *Regulyarnyj teplovoj rezhim* [Regular thermal mode]. Moscow, Nauka, 1964. 487 p. (in Russian).
9. Kondrat'ev G. M. *Teplovye izmereniya* [Thermal measurements]. Moscow, Leningrad, Mashgiz, 1956. 253 p. (in Russian).
10. Korotkov P. A., London, G. E. *Dinamicheskie kontaktnye izmereniya teplovykh velichin* [Dynamic contact measurement of thermal variables]. Leningrad, Mashinostroenie, 1974. 222 p. (in Russian).
11. Shashkov A. G., Volokhov G. M. *Metody opredeleniya teploprovodnosti i temperaturoprovodnosti* [Methods for determining thermal conductivity and thermal diffusivity]. Leningrad, Energiya, 1973. 242 p. (in Russian).
12. Platunov E. S. *Teplofizicheskie izmereniya v monotonom rezhime* [Thermophysical measurements in the monotone mode]. Leningrad, Energiya, 1973. 143 p. (in Russian).
13. *Teplofizicheskie izmereniya i pribory* [Thermal measurements and instruments]. Leningrad, Mashinostroenie, 1986. 256 p. (in Russian).
14. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayuschikh chastej zdaniy* [Building heating equipment protecting parts of buildings], Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (in Russian).
15. Shlykov, Y. P., Garin, E. A. *Kontaktny teploobmen* [Contact heat exchange]. Moscow Leningrad, Energiya, 1963. 144 p. (in Russian).
16. Schneider P. *Inzhenernye problemy teploprovodnosti* [Engineering problems of heat conduction]. Moscow, Izdatel'stvo literatury, 1960. 478 p. (in Russian).
17. Yaryshev N. A. *Teoreticheskie osnovy izmereniya nestatsionarnykh temperatur* [The theoretical basis for the measurement of transient temperatures]. Leningrad, Energiya, 1967. 298 p. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 14.02.2015 р. Рецензент: д-р т. н., Дерев'янюк В. М.

Надійшла до редколегії: 05.03.2015 р. Прийнята до друку: 12.03.2015 р.