

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041267**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.09.30

(51) Int. Cl. **G01N 25/18 (2006.01)**
G01N 25/20 (2006.01)

(21) Номер заявки
202193093

(22) Дата подачи заявки
2021.11.04

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ**

(43) **2022.09.27**

(56) RU-C1-2480739
EA-B1-035007
RU-U1-104726
UA-C2-105399
CN-C-100523797

(96) **2021/EA/0065 (BY) 2021.11.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**СОВМЕСТНОЕ ОБЩЕСТВО
С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"АЛЮМИНТЕХНО" (BY)**

(72) Изобретатель:
**Соколов Николай Александрович,
Соколов Александр Николаевич
(RU), Андреев Сергей Леонидович,
Уризченко Екатерина Владимировна
(BY)**

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(57) Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано для испытаний теплозащитных характеристик образцов ограждающих конструкций зданий и сооружений. Предложен способ определения коэффициента теплопередачи, при котором на противоположных сторонах выделенного участка термически однородной ограждающей конструкции устанавливают теплоизолированные горячий ящик и холодную камеру при неравных между собой значениях их термостатированной температуры. В горячем ящике и холодной камере регулировкой скорости воздушных потоков формируют заданную теплоотдачу поверхностей ограждающей конструкции и окружают внешние поверхности горячего ящика адиабатической оболочкой. Дополнительно устанавливают в зоне примыкания горячего ящика к ограждающей конструкции периферийный нагреватель, при различной мощности которого измеряют плотность теплового потока и разность температуры между поверхностями ограждающей конструкции в центральной области и на периферии. По результатам выполненных измерений определяют локальные значения термических сопротивлений ограждающей конструкции, а коэффициент теплопередачи определяют по отношению средней по участку плотности теплового потока к разности температуры горячего ящика и холодной камеры, соответствующему мощности периферийного нагревателя, при которой расхождением между усредненными по участку локальными термическими сопротивлениями и термическим сопротивлением в центральной области можно пренебречь. За счёт оптимального выбора мощности дополнительно введённого периферийного нагревателя достигается существенное повышение точности определения коэффициента теплопередачи и термического сопротивления термически однородной ограждающей конструкции.

041267
B1

041267
B1

Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано для испытаний теплозащитных характеристик образцов ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Известен способ определения коэффициента теплопередачи [1], который заключается в измерении по площади испытываемого участка ограждающей конструкции температуры внутреннего T_{ni} и наружного T_{ne} воздуха (не менее чем в 100 мм от поверхности конструкции) средней по участку плотности теплового потока q нагревателя, который размещён в специальном теплоизолированном горячем ящике, прижатом к поверхности испытываемого в условиях стационарной теплопередачи ограждения, с последующим расчётом теплотехнических характеристик по нижеприведённым формулам (см. подраздел 4.1):

коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции U

$$U = q / (T_{ni} - T_{ne}), \quad (1)$$

или обратной величины - сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_0

$$R_0 = (T_{ni} - T_{ne}) / q. \quad (2)$$

Коэффициент теплопередачи определяется при отсутствии перепада температуры на внешних и внутренних поверхностях стенок горячего ящика.

К причинам, препятствующим достижению указанного ниже технического результата при использовании известного решения, относится то, что определение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции осуществляется в условиях, при которых возникают искажения тепловых потоков через испытываемую ограждающую конструкцию в области примыкания к ней горячего ящика, а коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции могут существенно отличаться от нормируемых. Это приводит к увеличению погрешности определения коэффициента теплопередачи.

Известен также способ определения коэффициента теплопередачи [2], который заключается в измерении температуры внутреннего и наружного воздуха по площади испытываемого участка ограждающей конструкции, а также средней по участку плотности теплового потока, измеренного по расходу тепловой энергии, выделенной электронагревателем, который размещён в горячем ящике, прижатом к поверхности испытываемого в условиях стационарной теплопередачи ограждения. С наружной стороны к ограждающей конструкции примыкает холодная камера, в которой поддерживается заданное значение температуры холодного воздуха. Внутри горячего ящика и холодной камеры с помощью вентиляторов создаются нормируемые условия теплообмена. Коэффициент теплопередачи определяется при отсутствии перепада температуры на внешних и внутренних поверхностях стенок горячего ящика.

К причинам, препятствующим достижению указанного ниже технического результата при использовании известного решения, относится то, что определение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции осуществляется в условиях, при которых возникают искажения тепловых потоков через испытываемую ограждающую конструкцию в области примыкания к ней горячего ящика.

Известен также наиболее современный из рассмотренных способ определения коэффициента теплопередачи (сопротивления теплопередаче), который по совокупности признаков является наиболее близким аналогом (далее - прототип) заявляемого изобретения [3]. Согласно прототипу горячий ящик и холодную камеру устанавливают на выделенный участок ограждающей конструкции, при заданных значениях их термостатированной температуры при отсутствии перепада температуры на внешних и внутренних поверхностях стенок горячего ящика измеряют среднюю по участку плотность теплового потока, проходящего через неё, а также температуры на обеих поверхностях ограждающей конструкции и определяют сопротивление теплопередаче по отношению разности термостатированных температур к плотности теплового потока после установления заданной теплоотдачи поверхностей ограждающей конструкции регулировкой скорости воздушных потоков внутри горячего ящика и холодной камеры.

К причинам, препятствующим достижению указанного ниже технического результата при использовании известного решения, относится то, что определение коэффициента теплопередачи (сопротивления теплопередаче) осуществляется в условиях, при которых возникают искажения тепловых потоков через испытываемую ограждающую конструкцию в области примыкания к ней горячего ящика.

Таким образом, существует потребность в разработке способа определения коэффициента теплопередачи, который бы устранял недостатки аналогов, известных на настоящий момент из анализа уровня техники.

Задачей изобретения является разработка способа определения коэффициента теплопередачи, который обеспечивает достижение технического результата - повышение точности определения коэффициента теплопередачи термически однородной ограждающей конструкции.

Поставленная задача решается и указанный технический результат достигается за счёт того, что в способе определения коэффициента теплопередачи, включающем установку на выделенном участке термически однородной ограждающей конструкции горячего ящика и холодной камеры при неравных между собой значениях их термостатированной температуры, формирование заданной теплоотдачи поверхностей ограждающей конструкции в горячем ящике и холодной камере регулировкой скорости воздушных потоков, а также адиабатизацию внешней поверхности горячего ящика, дополнительно устанавливают в зоне примыкания горячего ящика к ограждающей конструкции периферийный нагреватель, изме-

ряют плотность теплового потока и разность температуры между поверхностями ограждающей конструкции в центральной области и на периферии при различной мощности периферийного нагревателя, определяют по результатам выполненных измерений локальные значения термических сопротивлений ограждающей конструкции, а коэффициент теплопередачи определяют по отношению средней по участку плотности теплового потока к разности температуры горячего ящика и холодной камеры, соответствующей мощности периферийного нагревателя, при котором расхождением между локальными термическими сопротивлениями на периферии и термическим сопротивлением в центральной области можно пренебречь.

Сущность изобретения и возможность достижения при его использовании указанного технического результата будет более понятна из последующего описания со ссылками на позиции чертежей, на которых представлены

фиг. 1 - схема реализации заявляемого способа;

фиг. 2 - геометрическая модель реализующего заявленный способ устройства;

фиг. 3 - отклонение U и R от истинных значений в зависимости от q_p при реализации заявленного способа ($q_p=55 \text{ Вт/м}^3$) по сравнению с прототипом ($q_p=0 \text{ Вт/м}^3$).

В устройстве для реализации заявляемого способа с наружной стороны ограждающей конструкции 1 установлена теплоизолированная холодная камера 2, внутри которой находится периферийный термометр 3, центральный термометр 4, плоский криотермостат 5 и регулируемый вентилятор 6. С внутренней стороны ограждающей конструкции 1 установлен горячий ящик 7, внутри которого находится регулируемый вентилятор 8, плоский нагреватель 9, центральный тепломер 10, центральный термометр 11, периферийный термометр 12 и периферийный тепломер 13. В плоскости примыкания горячего ящика 7 к внутренней поверхности ограждающей конструкции 1 расположен периферийный нагреватель 14.

Устройство, реализующее заявляемый способ, работает следующим образом. Криотермостат 5 поддерживает заданную температуру T_{ne} в холодной камере 2, плоский нагреватель (термостат) 9 - температуру T_{ni} в горячем ящике 7, причём $T_{ni} > T_{ne}$. Вентиляторы 6 и 8 формируют воздушные потоки, благодаря которым на поверхностях ограждающей конструкции 1 создаются заданные нормируемые условия теплоотдачи. На внешней поверхности горячего ящика 7 устраняют теплообмен, например, с помощью адиабатической оболочки с внутренней температурой, равной T_{ni} (на фиг. 1 не показано). Далее измеряют плотность теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию в центральной области q_{cp} с помощью центрального тепломера 10, и плотность теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию на периферии q_p с помощью периферийного тепломера 13. Также измеряют разность температуры её поверхностей $T_{si}-T_{se}$ в центральной области центральными термометрами 11 и 4, соответственно, и $T_{psi}-T_{pse}$ на периферии периферийными термометрами 12 и 3. Затем вычисляют локальные термические сопротивления в центральной области по формуле

$$R_{cp} = \frac{T_{si}-T_{se}}{q_{cp}}$$

и на периферии - по формуле

$$R_p = \frac{T_{psi}-T_{pse}}{q_p}$$

Усредняя полученные локальные термические сопротивления, находят среднее по участку термическое сопротивление R и расхождение ΔR между ним и термическим сопротивлением в центральной области R_{cp} .

Искомый коэффициент теплопередачи U определяют по отношению средней по участку плотности теплового потока q к разности температуры горячего ящика 7 и холодной камеры 2 $T_{ni}-T_{ne}$, соответствующей мощности периферийного нагревателя, при которой расхождением между усреднёнными по участку локальными термическими сопротивлениями и термическим сопротивлением в центральной области можно пренебречь.

Математическое решение поставленной задачи определения коэффициента теплопередачи методом конечных элементов в численном виде получено с помощью сертифицированного в РФ программного комплекса ELCUT, версия 5.8 (<https://elcut.ru>).

Постановка задачи

Геометрическая модель реализующего заявленный способ устройства с сеткой конечных элементов и размерами выделенного участка ограждающей конструкции, включающая центральную область и область примыкания к горячему ящику, представлена на фиг. 2. В ней выделены блок 15 горячего ящика, блок 16 периферийного нагревателя, блок 17 ограждающей конструкции, а также ребро внутренней поверхности ограждающей конструкции в адиабатической зоне, прилегающей к горячему ящику с внешней стороны 18, ребро наружной поверхности 19 ограждающей конструкции, ребро внутренней поверхности 20 ограждающей конструкции внутри горячего ящика и термостатированное ребро 21 горячего ящика.

Модель рассматривается в декартовой системе координат. Вдоль оси X отложена толщина ограждающей конструкции (100 мм), вдоль оси Y - её высота (500 мм внутри горячего ящика и 300 мм в прилегающей адиабатической зоне). Вдоль оси Z , не показанной на фиг. 2, глубина всех рассматриваемых элементов устройства составляет 1000 мм.

Вся модель содержит 239 расчётных узлов конечных элементов, автоматически сформированных программой ELCUT для прецизионного решения плоской задачи стационарной теплопередачи.

Теплофизические и теплотехнические характеристики параметры блоков и рёбер модели заданы следующими параметрами и граничными условиями:

- 1 - теплопроводность 0,04 Вт/(м·К);
- 2 - теплопроводность 0,04 Вт/(м·К), объёмная плотность тепловыделения задаётся в диапазоне от 0 до 60 Вт/м³ с шагом 10 Вт/м³. Решение задачи формируется программой на каждом шагу (исключение сделано лишь для объёмной плотности тепловыделения 55 Вт/м³, при котором получен наиболее точный результат).
- 3 - теплопроводность 0,04 Вт/(м·К);
- 4 - нормируемый коэффициент теплоотдачи имеет значение 8 Вт/(м²·К) при температуре окружающей среды 290 К;
- 5 - нормируемый коэффициент теплоотдачи имеет значение 23 Вт/(м²·К) при температуре окружающей среды 250 К;
- 6 - нормируемый коэффициент теплоотдачи имеет значение 8 Вт/(м²·К) при температуре окружающей среды 290 К;
- 7 - ребро имеет температуру окружающей среды 290 К.

После введения в ELCUT всех перечисленных геометрических, теплофизических и теплотехнических характеристик модели компьютерная программа автоматически проверяет корректность и достаточность заданных параметров для решения поставленной задачи и выдаёт результат в табличной и графической форме.

Учитывая большой объем полученных цифровых данных, здесь для примера в табличной форме приведены результаты, полученные при $q_p=0$ Вт/м³ (табл. 1) и при $q_p=55$ Вт/м³ (табл. 2).

Решение представляет собой найденные при $q_p=0$ Вт/м³ значения локальной температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции T_y , К, ($x=0$ мм) при указанном значении y ;

локальной температуры наружной поверхности ограждающей конструкции T_y , К, ($x=100$ мм) при указанном значении y ;

локальной плотности теплового потока на внутренней поверхности ограждающей конструкции q_y , Вт/м², ($x=0$ мм) при указанном значении y ;

локального термического сопротивления R_y , м²·К/Вт, определяемого при указанном значении y по формуле

$$R_y = \frac{T_{x=0,y} - T_{x=100,y}}{q_y} \quad (3)$$

Таблица 1. Решение плоской задачи стационарной теплопередачи в модели устройства, реализующего заявленный способ при $q_p=0$ Вт/м³

y , мм	T_y ($x=0$ мм), К	T_y ($x=100$ мм), К	q_y , Вт/м ²	R_y , м ² ·К/Вт
0	288.126	250.652	14.990	2.500
25	288.126	250.652	14.990	2.500
50	288.126	250.652	14.990	2.500
75	288.126	250.652	14.990	2.500
100	288.126	250.652	14.990	2.500
125	288.126	250.652	14.990	2.500
150	288.126	250.652	14.990	2.500
175	288.126	250.652	14.990	2.500
200	288.126	250.652	14.990	2.500
225	288.126	250.652	14.990	2.500
250	288.126	250.652	14.990	2.500
275	288.126	250.652	14.990	2.500
300	288.126	250.652	14.990	2.500
325	288.126	250.652	14.990	2.500
350	288.126	250.652	14.990	2.500
375	288.126	250.652	14.989	2.500
400	288.126	250.652	14.989	2.500
425	288.126	250.652	14.988	2.500
450	288.127	250.652	14.983	2.501
475	288.123	250.652	15.017	2.495
500	288.195	250.652	8.049	4.664
Среднее значение	288.129	250.652	14.660	2.603
Откл.ср. от центр.обл., %	0.001	0.000	-2.199	4.117

Полученные в центральной области значения параметров точно соответствуют заданным (термическое сопротивление ограждающей конструкции толщиной $h=0,1$ м при теплопроводности $\lambda=0,04$ Вт/(м·К) определяется как $R=h/\lambda$ и равно 2,5 м²·К/Вт). Коэффициент теплопередачи U определяется по

формуле (1), и, поскольку погрешность определения разности температуры горячего ящика и холодной камеры здесь не оценивается, погрешность его нахождения целиком определяется средним по участку отклонением q .

Те же параметры приведены в табл. 2 при $q_p=55 \text{ Вт/м}^3$.

Таблица 2. Решение плоской задачи стационарной теплопередачи в модели устройства, реализующего заявленный способ при $q_p=55 \text{ Вт/м}^3$

$y, \text{ мм}$	$T_y(x=0 \text{ мм}), \text{ К}$	$T_y(x=100 \text{ мм}), \text{ К}$	$q_y, \text{ Вт/м}^2$	$R_y, \text{ м}^2\text{К/Вт}$
0	288.126	250.652	14.990	2.500
25	288.126	250.652	14.990	2.500
50	288.126	250.652	14.990	2.500
75	288.126	250.652	14.990	2.500
100	288.126	250.652	14.990	2.500
125	288.126	250.652	14.990	2.500
150	288.126	250.652	14.990	2.500
175	288.126	250.652	14.990	2.500
200	288.126	250.652	14.990	2.500
225	288.126	250.652	14.990	2.500
250	288.126	250.652	14.990	2.500
275	288.126	250.652	14.990	2.500
300	288.126	250.652	14.989	2.500
325	288.126	250.652	14.989	2.500
350	288.127	250.652	14.988	2.500
375	288.127	250.652	14.985	2.501
400	288.128	250.652	14.979	2.502
425	288.129	250.652	14.971	2.503
450	288.137	250.653	14.907	2.515
475	288.086	250.654	15.325	2.442
500	288.947	250.654	14.849	2.579
<i>Среднее значение</i>	288.164	250.652	14.993	2.502
<i>Откл. ср. от центр. обл., %</i>	0.013	0.000	0.023	0.082

Полученные в периферийной области параметры, выделенные в табл. 1 и 2 курсивом и полужирным шрифтом, отличаются от значений, полученных в центральной области, и приводят к появлению систематической погрешности.

Отклонения усреднённых значений параметров U (по условию соответствует отклонению q) и R от истинных (заданных) приведены в нижней строке табл. 1 и могут превышать 4%, что подтверждает оценку в 5%, сделанную в аналогах (ГОСТ 31166-2003, подраздел 9.5; DIN EN ISO 8990-1996, подраздел 1.2).

В табл. 2 отклонения тех же усреднённых значений параметров не превышают 0,082% (для термического сопротивления R), что более чем в 50 раз меньше, чем указано в иллюстрирующей погрешности аналогов и прототипа табл. 1. Это отклонение пренебрежимо мало по сравнению с достигнутым в настоящее время уровнем точности определения термического сопротивления. Так, государственный первичный эталон единиц теплопроводности и теплового (термического) сопротивления обладает погрешностью 0,8% [4].

На фиг. 3 отклонение U и R от истинных значений в зависимости от q_p при реализации заявленного способа ($q_p=55 \text{ Вт/м}^3$) по сравнению с прототипом ($q_p=0 \text{ Вт/м}^3$) представлено в графической форме и наглядно доказывает существенное повышение точности заявленного способа по сравнению с прототипом и аналогами.

Таким образом, приведённые выше сведения подтверждают возможность осуществления заявляемого изобретения, достижения указанного технического результата и решения поставленной задачи.

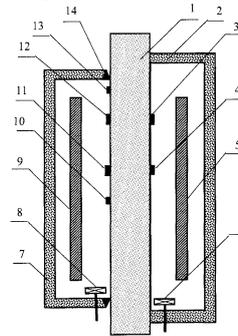
Источники информации

1. ГОСТ 31166-2003.
2. DIN EN ISO 8990-1996.
3. Патент RU № 2480739 С1, опубл. 27.04.2013 г.
4. Соколов Н.А., Соколов А.Н., Чурилина Н.В. Государственный первичный эталон единиц теплопроводности и теплового сопротивления ГЭТ 59-2016//Измерительная техника, 2018, № 4; с. 3-7

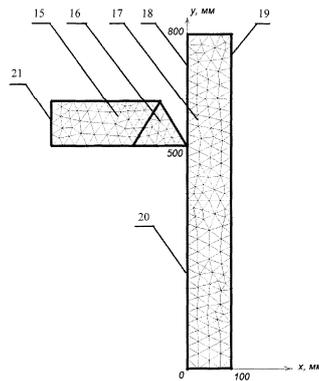
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции, согласно которому устанавливают на противоположных сторонах выделенного участка термически однородной ограждающей конструкции теплоизолированные горячий ящик и холодную камеру при неравных между собой значениях их термостатированной температуры, формируют заданную теплоотдачу поверхностей ограж-

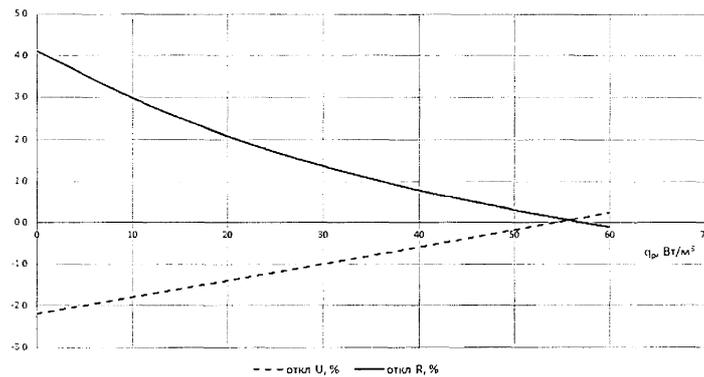
дающей конструкции в горячем ящике и холодной камере регулировкой скорости воздушных потоков, а также окружают внешние поверхности горячего ящика адиабатической оболочкой, отличающийся тем, что дополнительно устанавливают в зоне примыкания горячего ящика к ограждающей конструкции периферийный нагреватель, измеряют плотность теплового потока и разность температуры между поверхностями ограждающей конструкции в центральной области и на периферии при различной мощности периферийного нагревателя, определяют по результатам выполненных измерений локальные значения термических сопротивлений ограждающей конструкции, а коэффициент теплопередачи определяют по отношению средней по участку плотности теплового потока к разности температуры горячего ящика и холодной камеры, соответствующему мощности периферийного нагревателя, при которой расхождением между усреднёнными по участку локальными термическими сопротивлениями и термическим сопротивлением в центральной области можно пренебречь.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

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