



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 25/18 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016148988, 13.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.12.2016

Дата регистрации:
05.03.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.12.2016

(45) Опубликовано: 05.03.2018 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Вологодский
государственный университет" (ВоГУ)

(72) Автор(ы):

Павлов Михаил Васильевич (RU),
Карпов Денис Федорович (RU),
Погодин Денис Алексеевич (RU),
Монаркин Николай Николаевич (RU),
Агафонов Владимир Александрович (RU),
Беляев Кирилл Юрьевич (RU),
Березин Павел Сергеевич (RU),
Ермалюк Михаил Петрович (RU),
Тихов Андрей Евгеньевич (RU),
Туманова Наталия Сергеевна (RU),
Березина Валерия Павловна (RU),
Карпов Фёдор Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Вологодский государственный
университет" (ВоГУ) (RU)

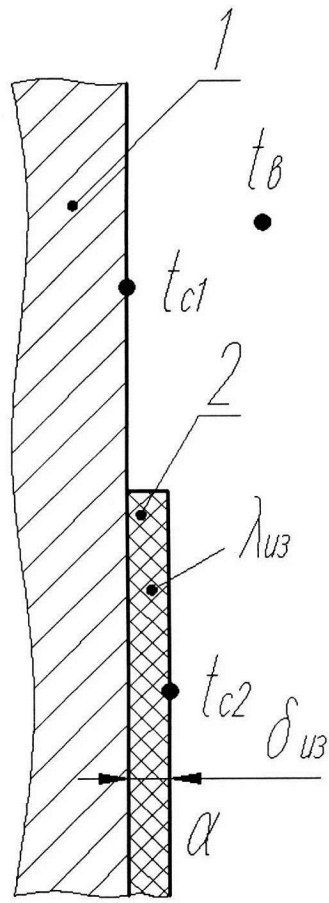
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2426106 C1, 10.08.2011. RU
2478936 C1, 10.04.2013. RU 2490619 C1,
20.08.2013. RU 2245538 C1, 27.01.2005. JP
2000137012 A, 16.05.2000. CN 101303320 A,
12.11.2008.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к нестационарным способам определения коэффициента теплопроводности жидких теплоизоляционных материалов. Разработанный способ может применяться в строительстве и теплоэнергетике для исследования теплопроводных качеств сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий. Сущность способа заключается в локальном нанесении на поверхность плоского источника теплоты слоя жидкой тепловой изоляции известной толщины. В режиме охлаждения поверхности плоского источника

теплоты в произвольный момент времени по известным значениям температуры поверхности плоского источника теплоты, температуры поверхности теплоизолированного участка и температуры окружающей среды, а также по известной толщине слоя тепловой изоляции вычисляют по специальной расчетной формуле коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции. Технический результат - упрощение способа и повышение точности определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции. 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 25/18 (2006.01)

(21)(22) Application: **2016148988, 13.12.2016**

(24) Effective date for property rights:
13.12.2016

Registration date:
05.03.2018

Priority:

(22) Date of filing: **13.12.2016**

(45) Date of publication: **05.03.2018** Bull. № 7

Mail address:

160000, g. Vologda, ul. Lenina, 15, federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Vologodskij gosudarstvennyj universitet" (VoGU)

(72) Inventor(s):

**Pavlov Mikhail Vasilevich (RU),
Karpov Denis Fedorovich (RU),
Pogodin Denis Alekseevich (RU),
Monarkin Nikolaj Nikolaevich (RU),
Agafonov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Belyaev Kirill Yurevich (RU),
Berezin Pavel Sergeevich (RU),
Ermalyuk Mikhail Petrovich (RU),
Tikhov Andrej Evgenevich (RU),
Tumanova Nataliya Sergeevna (RU),
Berezina Valeriya Pavlovna (RU),
Karpov Fedor Dmitrievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Vologodskij gosudarstvennyj universitet" (VoGU) (RU)

(54) **METHOD OF DETERMINING THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF LIQUID HEAT INSULATION AT NON-STATIONARY THERMAL MODE**

(57) Abstract:

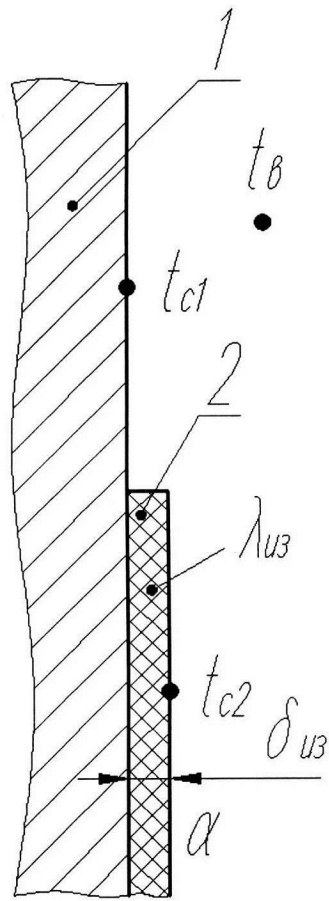
FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to nonstationary methods for determining thermal conductivity coefficient of liquid heat-insulating materials. Developed method may be used in construction and heat power engineering for analysis of heat conducting properties of super-thin liquid heat-insulating coatings. Essence of the method lies in the local application of a layer of liquid thermal insulation of a known thickness to the surface of a flat heat source. In the cooling mode of the surface of a flat heat source at an arbitrary time

according to the known values of the temperature of the surface of a flat heat source, the surface temperature of a thermally insulated section and the ambient temperature, and also the known thermal layer thickness of a thermal insulation layer is calculated by the special design formula for the thermal conductivity of liquid thermal insulation.

EFFECT: technical result consists in increased accuracy of determining thermal conductivity coefficient of liquid heat insulation.

1 cl, 5 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к нестационарным способам определения коэффициента теплопроводности жидких теплоизоляционных материалов. Разработанный способ может применяться в строительстве и теплоэнергетике для исследования теплопроводных качеств сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий.

5 Известен способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий, проводимый в два этапа. На первом этапе нижнюю поверхность плоскопараллельной стенки, состоящей из двух слоев одинаковой толщины с равным коэффициентом теплопроводности материала, нагревают с помощью плоского терморегулируемого источника теплоты и измеряют температуру поверхности источника
10 теплоты, а также температуру между слоями. Температуру наружной поверхности верхнего слоя определяют расчетным способом. На втором этапе на наружной поверхности плоскопараллельной стенки закрепляют металлическую пластину известной толщины с известным коэффициентом теплопроводности. Далее на наружную поверхность металлической пластины наносят слой сверхтонкого жидкого
15 теплоизоляционного покрытия известной толщины и измеряют температуру поверхности контакта верхнего слоя плоскопараллельной стенки и металлической пластины со сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием. По специальной расчетной формуле вычисляют коэффициент теплопроводности жидкого теплоизоляционного покрытия [Патент РФ 2478936, кл. G01N 25/18, G01N 25/20, 2013].

20 К недостаткам данного способа можно отнести использование большого количества элементов: терморегулируемого источника теплоты, двух слоев плоскопараллельной стенки, металлической пластины, а также применение контактных измерителей температуры, расположенных между соседними слоями измерительной системы и искажающих ее стационарное температурное поле. Сложность способа также
25 заключается в необходимости априорного знания значений коэффициентов теплопроводности двухслойной плоскопараллельной стенки и металлической пластины. Исходные уравнения для вывода итоговой расчетной формулы в некоторой степени не соответствуют классическим законам теплообмена.

Наиболее близким к заявленному изобретению является способ определения
30 коэффициента теплопроводности тонкостенных теплозащитных покрытий, проводимый в два этапа. На первом этапе с помощью нагревателя, имеющего постоянную температуру поверхности, равномерно на дистанции нагревают всю внешнюю поверхность образца без теплозащитного покрытия, одновременно охлаждая обратную сторону образца воздушным потоком, движущимся в теплоизолированном
35 вентиляционном канале. На втором этапе наносят теплозащитное покрытие известной толщины на внешнюю поверхность образца и повторно проводят те же самые испытания. По результатам бесконтактного измерения термографами температурных полей поверхностей образца до и после нанесения на одну из его сторон теплозащитного покрытия, а также по температуре охлаждающего воздуха вычисляют по специальным
40 расчетным формулам коэффициент теплопроводности теплозащитного покрытия [Патент РФ 2426106, кл. G01N 25/18, 2011].

К недостаткам данного способа можно отнести использование большого количества элементов: нагревателя, вентиляционного канала, компрессора, инфракрасного прозрачного стекла, компьютерных термографов, а также достаточно сложный порядок
45 выполнения расчета: определение по результатам первого этапа измерений по уравнению теплового баланса коэффициента теплоотдачи между образцом и холодным циркулирующим воздухом в вентиляционном канале, нахождение по результатам второго этапа измерений температуры на границе образца и теплозащитного покрытия,

что является весьма затруднительным с технической точки зрения, итоговое вычисление локальных и среднеинтегрального значений коэффициента теплопроводности теплозащитного покрытия.

Целью изобретения является упрощение способа и повышение точности определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции.

Поставленная цель достигается тем, что слой жидкой тепловой изоляции известной толщины наносят локально на поверхность плоского источника теплоты. В режиме охлаждения поверхности плоского источника теплоты в произвольный момент времени проводят отдельно измерения температуры поверхности плоского источника теплоты, температуры поверхности теплоизолированного участка и температуры окружающей среды. По известным значениям температуры поверхности плоского источника теплоты, температуры поверхности теплоизолированного участка и температуры окружающей среды, а также по известной толщине слоя тепловой изоляции вычисляют по специальной расчетной формуле коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции.

На фиг. 1 показана принципиальная схема реализации способа определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции при нестационарном тепловом режиме.

На фиг. 2 показан график для определения коэффициента теплоотдачи α в зависимости от температуры поверхности теплоизолированного участка t_{c2} и температуры окружающей среды t_b при вертикальном расположении в пространстве поверхности плоского источника теплоты.

На фиг. 3 показан график для определения коэффициента теплоотдачи α в зависимости от температуры поверхности теплоизолированного участка t_{c2} и температуры окружающей среды t_b при горизонтальном расположении в пространстве поверхности плоского источника теплоты.

На фиг. 4 показан пример конкретной реализации способа определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции при нестационарном тепловом режиме (на примере охлаждения поверхности конфорки электрической плитки).

На фиг. 5 показано температурное поле поверхности плоского источника теплоты и поверхности теплоизолированного участка при нестационарном тепловом режиме (на примере охлаждения поверхности конфорки электрической плитки).

На поверхности плоского источника теплоты 1 расположен локально слой жидкой тепловой изоляции 2 толщиной $\delta_{из}$ (фиг. 1). В режиме охлаждения поверхности плоского источника теплоты 1 в произвольный момент времени τ температура поверхности плоского источника теплоты 1 равна t_{c1} , температура поверхности теплоизолированного участка t_{c2} и температура окружающей среды t_b .

Устройство для реализации предложенного способа работает следующим образом (фиг. 1).

В режиме охлаждения поверхности плоского источника теплоты 1 в произвольный момент времени τ проводят отдельно измерения температуры поверхности плоского источника теплоты 1 t_{c1} , температуры поверхности теплоизолированного участка 2 t_{c2} и температуры окружающей среды t_b .

Коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции 2 вычисляют по специальной расчетной формуле:

$$\lambda_{из} = k\alpha\delta_{из}, \quad (1)$$

где k - коэффициент пропорциональности; α - коэффициент теплоотдачи между поверхностью теплоизолированного участка 2 и окружающей средой; $\delta_{\text{из}}$ - толщина слоя жидкой тепловой изоляции 2.

Коэффициент пропорциональности вычисляют по эмпирической формуле:

$$k = a + be^{-\mu}, \quad (2)$$

где $a=-0,64828604$, $b=3,1176277$ - параметры уравнения; μ - первый корень характеристического уравнения.

Параметры a и b в формуле (2) получены по результатам аппроксимации (достоверность $r^2=0,9997$) табличных значений первого корня μ для пластины в зависимости от числа Bi .

Первый корень характеристического уравнения вычисляют по формуле:

$$\mu = \arccos\left(\frac{t_{c2} - t_b}{t_{c1} - t_b}\right), \quad (3)$$

где t_{c1} - температура поверхности плоского источника теплоты 1; t_{c2} - температура поверхности теплоизолированного участка 2; t_b - температура окружающей среды.

Коэффициент теплоотдачи α между поверхностью теплоизолированного участка 2 и окружающей средой при вертикальном или горизонтальном расположениях плоского источника теплоты 1 находят соответственно по графикам на фиг. 2 и фиг. 3.

Достоинствами предложенного способа являются техническая простота проведения теплофизических измерений и возможность проведения исследований в нестационарных условиях. Высокая точность результатов расчета достигается за счет применения формулы (1), выведенной из классического уравнения нестационарной теплопроводности для неограниченной пластины при толщине $\delta \rightarrow 0$, а также графиков для расчета коэффициента теплоотдачи α (фиг. 2 и фиг. 3), полученных с помощью теории подобия тепловых процессов.

Пример конкретной реализации способа (фиг. 4).

Определим коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции на примере теплоизоляционной краски Броня 2, нанесенной на половину поверхности конфорки электрической плитки 1, с толщиной слоя жидкой тепловой изоляции 2 $\delta_{\text{из}}=2,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Значения температуры поверхности конфорки электрической плитки 1 и поверхности теплоизолированного участка 2 в момент времени $\tau=600$ с по данным пирометра Testo 830-T1 соответственно составили $t_{c1}=89,4^\circ\text{C}$ и $t_{c2}=54,6^\circ\text{C}$ (фиг. 5). Температура окружающей среды по результатам измерений равна $t_b=22,4^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи вертикально расположенной поверхности конфорки электрической плитки 1 согласно фиг. 2 равен $\alpha=5,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Первый корень характеристического уравнения по формуле (3) равен:

$$\mu = \arccos\left(\frac{54,6 - 22,4}{89,4 - 22,4}\right) = 1,069.$$

Коэффициент пропорциональности по формуле (2) составил:

$$k = -0,64828604 + 3,1176277 \cdot e^{-1,069} = 0,422.$$

Коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции Броня 2 по формуле (1) составил:

$$\lambda_{из} = 0,422 \cdot 5,35 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 0,0045 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Относительная погрешность измерительной системы равна $\pm 5\%$.

(57) Формула изобретения

Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции при нестационарном тепловом режиме, включающий охлаждение и измерение температуры поверхности плоского источника теплоты, измерение температуры поверхности теплоизолированного участка и измерение температуры окружающей среды, определение коэффициента теплопроводности жидкого теплоизоляционного покрытия известной толщины, отличающийся тем, что слой жидкой тепловой изоляции наносят локально на поверхность плоского источника теплоты, коэффициент теплопроводности жидкой тепловой изоляции вычисляют по формуле:

$$\lambda_{из} = k\alpha\delta_{из},$$

где k - коэффициент пропорциональности; α - коэффициент теплоотдачи между поверхностью теплоизолированного участка и окружающей средой; $\delta_{из}$ - толщина слоя жидкой тепловой изоляции.

Коэффициент пропорциональности вычисляют по эмпирической формуле:

$$k = a + be^{-\mu},$$

где $a = -0,64828604$, $b = 3,1176277$ - параметры уравнения; μ - первый корень характеристического уравнения.

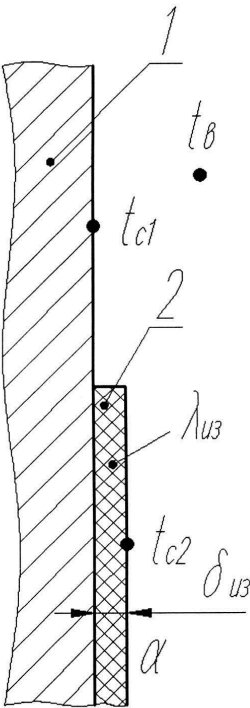
Первый корень характеристического уравнения вычисляют по формуле:

$$\mu = \arccos\left(\frac{t_{c2} - t_b}{t_{c1} - t_b}\right),$$

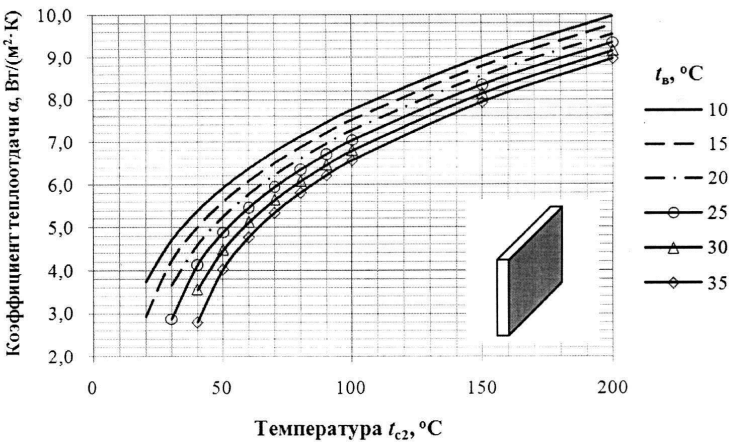
где t_{c1} - температура поверхности плоского источника теплоты; t_{c2} - температура поверхности теплоизолированного участка; t_b - температура окружающей среды.

1

Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой
изоляции при нестационарном тепловом режиме



Фиг. 1

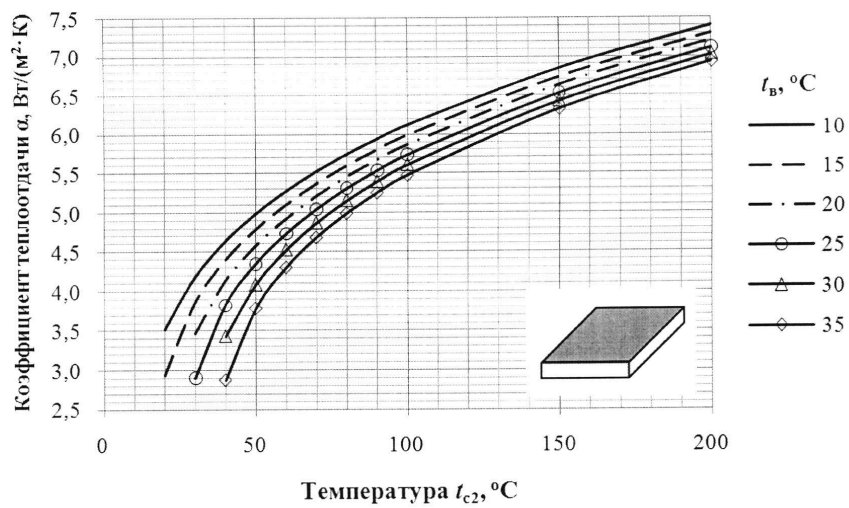


Фиг. 2

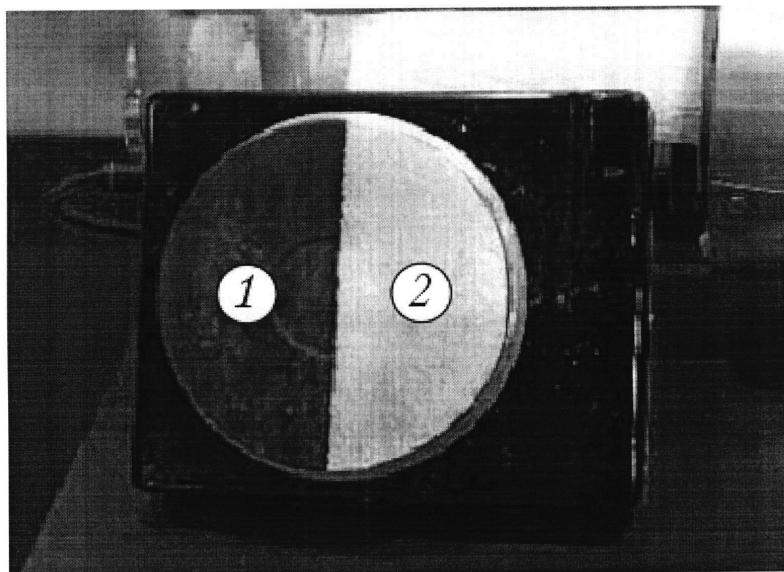
1

2

Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой
изоляции при нестационарном тепловом режиме

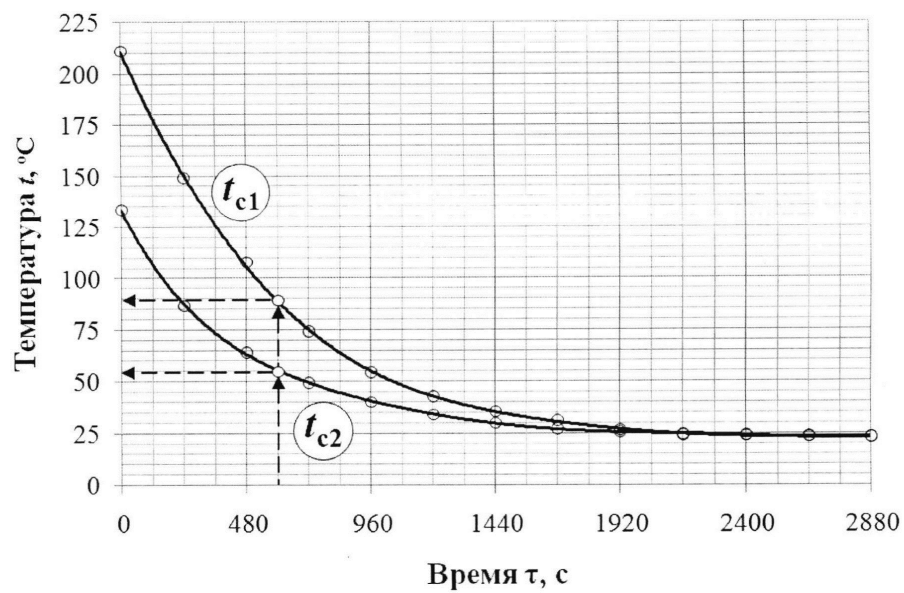


Фиг. 3



Фиг. 4

Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой
изоляции при нестационарном тепловом режиме



Фиг. 5