

# Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 691:699.86

## К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.И. Панферов, С.В. Панферов**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Рассмотрены вопросы конструирования измерителя теплопроводности теплоизоляционных материалов. Предложены различные варианты исполнения составных элементов прибора. Разработаны и изготовлены три способа компоновки (три конструктивные модели каркаса) измерителя теплопроводности. Выбранная симметричная схема измерителя исключает необходимость использования в приборе тепломера, являющегося достаточно проблематичным измерительным средством. Проведенные испытания показали удовлетворительную надежность и приемлемую точность измерителя теплопроводности. Указывается на наличие положительного опыта использования измерителя в лабораторном практикуме и при выполнении ряда научно-исследовательских работ. Измеритель пригоден также и для измерения термического сопротивления теплопроводности образца, в том числе и многослойного.

*Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, теплоизмерительная ячейка, плотность теплового потока, нагреватель, радиатор-охладитель, тепломер, теплоизоляционные материалы.*

**Введение.** Коэффициент теплопроводности является важнейшей теплофизической характеристикой строительных материалов, он характеризует способность вещества проводить теплоту. Для различных материалов коэффициент теплопроводности различен и зависит от достаточно большого числа трудно учитываемых факторов. Поэтому предпочтительнее определять коэффициент теплопроводности экспериментальным способом с помощью специальных технических средств. В связи с этим студенты должны изучать применяемые для этих целей способы и технические средства.

**Постановка задачи.** Для промышленности рядом отечественных фирм по индивидуальным заказам изготавливаются различные варианты измерителей теплопроводности, однако эти приборы являются слишком дорогими для вузов, они достаточно сложны по устройству и содержат в своем составе, как правило, проточные водяные холодильники, что не допускает использования прибора в аудиториях без водопровода и канализации. Стабильность характеристик таких измерителей также весьма проблематична. Кроме того, использованные в приборах конструктивные решения и средства, как правило, являются секретом фирм-разработчиков, что неприемлемо с точки зрения учебных целей и не способствует формированию доверия к получаемым результатам измерений. Поэтому ставится задача разработать  $\lambda$ -метр, который был бы достаточно простым по устройству, недорогим, без проточных водяных холодильни-

ков, а вместе с тем имел бы приемлемые для учебных целей характеристики.

Актуальность темы для настоящего времени подтверждается литературными данными, в частности, данными работ [1–3]. Интересно, например, предложение работы [1] – измерение коэффициента теплопроводности заменить измерением коэффициента температуропроводности с последующим его пересчетом.

**Варианты конструкций элементов измерителя.** Разработка  $\lambda$ -метра предполагает обязательное решение задачи выбора диапазона размеров исследуемых образцов, так как от этого зависят некоторые конструктивные характеристики измерителя. В работах [4–7] нашли, что одномерное температурное поле в плоском образце с плохой проводимостью теплоты ( $\lambda \leq 2,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ) формируется при выполнении следующего соотношения:

$$\delta \leq \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{10}\right) D,$$

где  $D$  – диаметр круглой или сторона квадратной пластины,  $\delta$  – толщина пластины, при этом толщину пластины обычно выбирают в пределах от 5 до 50 мм. Учитывая это, выбрали образцы в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами лицевых (рабочих) граней  $160 \times 160$  мм и толщиной, не превышающей 20 мм.

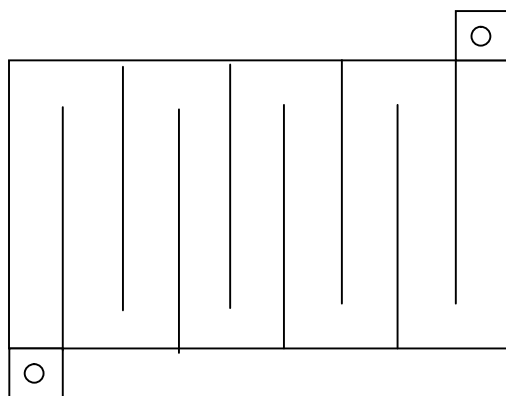
Нагреватель – это необходимый элемент  $\lambda$ -метра, он создает тепловой поток через исследу-

двумя образцы, поэтому были рассмотрены различные варианты изготовления нагревателей. Нагреватель, например, может быть изготовлен из листового константана. Электрическое сопротивление такого нагревателя, как известно, будет термически независимым, так как константан – это медно-никелевый сплав с высоким удельным электрическим сопротивлением, практически независимым от температуры. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) константана равен  $0,01 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ , он меньше чем у манганина, ТКС которого равен  $0,03 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . В этом случае, если константановый нагреватель запитать от стабилизированного источника напряжения, то для определения теплового потока (мощности) нагревателя не потребуется ни ваттметр, ни какой-либо другой электроизмерительный прибор, так как мощность будет одной и той же при любом температурном режиме работы нагревателя и будет равна

$$W = \frac{U_H^2}{R_H},$$

где  $U_H$  – напряжение на нагревателе,  $R_H$  – электрическое сопротивление нагревателя. Заметим, что при использовании источника напряжения переменного тока  $U_H$  это действующее значение напряжения на нагревателе.

Константановый нагреватель может быть изготовлен либо в виде сплошной пластины или же иметь вид, приведенный на рисунке. Здесь все зависит от требуемой величины электрического сопротивления нагревателя: лабиринтная (ленточная) модель за счет соответствующего подбора ширины дорожек позволяет добиться требуемого значения сопротивления нагревателя. Размер прорезей должен быть небольшим, в этом случае температурное поле вдоль плоскости нагревателя будет практически безразрывным.



Электрический нагреватель

Термически независимый нагреватель может быть изготовлен также и из константановой проволоки, размещенной между двумя одинаковыми пластинами фольгированного стеклотекстолита. Стекло-текстолит будет играть в данном случае роль электрического изолятора, а обращенная наружу его фольгированная поверхность вследствие своего

высокого коэффициента теплопроводности будет создавать равномерное (изотермическое) температурное поле. Фольга является изотермической оболочкой нагревателя. Торцевые поверхности нагревателя в этом случае с целью сокращения потерь теплоты желательно покрыть тепловой изоляцией или же они должны иметь минимальные размеры (минимальную площадь поверхности теплообмена).

В принципе нагреватель можно изготовить, например, и из медной пластины, электрическое сопротивление такого нагревателя будет различным при различных температурах, поэтому мощность нагревателя будет переменной и при использовании стабилизированного источника напряжения. Вследствие этого мощность такого нагревателя без прибора не определить, необходимо использовать либо ваттметр, а лучше всего вольтметр (мультиметр) с образцовым сопротивлением, включенным в электрическую цепь последовательно с нагревателем, тогда мощность  $W$  (тепловой поток) нагревателя можно найти по соотношению

$$W = U_H \frac{U_0}{R_0},$$

где  $U_H, U_0$  – напряжение на нагревателе и образцовом сопротивлении  $R_0$  соответственно.

Следующий вариант – в центре лабиринтная (ленточная) модель собственно нагревателя из нержавеющей стали, далее с обеих сторон для электрической изоляции размещается стеклоткань, а затем две изотермические оболочки из латуни или из меди. Все эти элементы нагревателя собираются в автономную жесткую конструкцию. По периметру такого нагревателя целесообразно разместить тепловую изоляцию.

Возможен также и такой вариант – нагреватель следует изготовить из двух пластин стеклотекстолита, причем одна из пластин должна быть покрыта фольгой с обеих сторон, а другая только с одной стороны. На одной из сторон первой пластины выполняется лабиринтный нагреватель, затем эта пластина нагревателем накладывается на нефольгированную поверхность другой пластины, после чего пластины следует заклепками жестко закрепить.

Следует заметить, что обычно для измерения плотности теплового потока применяются тепломеры, работающие по принципу дополнительной стенки [4–10]. Существо метода состоит в том, что к поверхности, тепловой поток через которую необходимо определить, плотно прижимается дополнительная стенка с известной величиной термического сопротивления теплопроводности. Тогда, измеряя перепад температуры по толщине этой дополнительной стенки  $\Delta t$ , плотность теплового потока  $q$  находят по конечно-разностной

форме закона Фурье:  $q = \lambda_{ДС} \frac{\Delta t}{\delta_{ДС}}$ , где  $\lambda_{ДС}$  – ко-

эффицент теплопроводности, а  $\delta_{ДС}$  – толщина дополнительной стенки.

Если конструкция теплоизмерительной ячейки такова, что практически весь тепловой поток (мощность) нагревателя проходит через исследуемые образцы, создавая одномерное температурное поле, то плотность теплового потока  $q$  будет равна частному от деления мощности нагревателя  $W$  на суммарную площадь  $F$  поверхностей образцов, контактирующих с нагревателем, т. е. величине  $q = W / F$ . При этом мощность электрического нагревателя может быть измерена как непосредственно ваттметром или мультиметром поочередным измерением тока и напряжения, так и с помощью образцового резистора, как описано выше. В этом случае не потребуется тепломмер, который является весьма проблематичным прибором [11, 12].

Если же при этом электрический нагреватель изготовить из материала с очень малым ТКС и запитать его от стабилизированного источника напряжения, то для определения плотности теплового потока  $q$  вообще не понадобится никакой электроизмерительный прибор. Величина  $q$  будет одной и той же при любой температуре нагревателя и будет равна  $W = \frac{U_H^2}{R_H}$ , где  $U_H$  – напряжение на нагревателе,  $R_H$  – электрическое сопротивление нагревателя

При разработке измерителя провели расчет теплоизмерительной ячейки и определили мощность нагревателя, обеспечивающую приемлемый перепад температуры по толщине образцов с коэффициентом теплопроводности из диапазона  $\lambda = 0,035 \div 0,25$  Вт/(м·К). По установленной мощности нагревателя и принятому значению напряжения источника питания рассчитали требуемое значение сопротивления нагревателя и определили размер дорожек его лабиринтной модели.

Один из вариантов конструктивного исполнения измерителя теплопроводности таков [13, 14]:  $\lambda$ -метр изготавливается по симметричной схеме, в центре размещается электрический нагреватель, к двум изотермическим оболочкам которого достаточно плотно прилегают два одинаковых исследуемых образца. В зависимости от способа решения задачи определения плотности теплового потока  $q$  такая теплоизмерительная ячейка может комплектоваться двумя одинаковыми тепломрами или же быть без них. Снаружи симметричной сборки из указанных элементов располагаются два одинаковых воздушных холодильника (радиатора), изготовленных так, как это делают для охлаждения электронных устройств. Вся сборка элементов располагается вертикально в окружающей среде и удерживается в этом положении с помощью штатива с опорами, позволяющими размещать

$\lambda$ -метр на обычном письменном столе. Штатив имеет конструкцию, аналогичную конструкциям переносных школьных письменных досок, только вместо письменной доски такое устройство будет удерживать теплоизмерительную ячейку прибора. При этом необходимое контактное давление должно создаваться с помощью винтов, прижимающих холодильники к остальным элементам. Так как холодильники изготовлены из алюминия, то вследствие его высокого коэффициента теплопроводности прижимные винты не будут искажать равномерное температурное поле на гладких поверхностях холодильников.

**Выбор конструкции измерителя.** В результате анализа достоинств и недостатков различных способов решения задачи разработки измерителя выбрали наиболее приемлемые варианты [13, 14]. Так рабочий источник питания измерителя имеет следующие характеристики: питание  $\lambda$ -метра осуществляется от стабилизированного источника напряжения постоянного тока в 5 В с нагрузочной способностью по току до 20 А. Выбор такого источника питания обусловлен: во-первых, тем что вполне удовлетворяются требования электробезопасности измерителя, а во-вторых, исключается влияние реактивных сопротивлений нагревателя на его работу и результаты измерения тока нагревателя и напряжения на нем.

Сборка симметричная, поэтому рабочий способ измерения плотности теплового потока таков [13, 14]: определение плотности теплового потока производится по результатам измерения потребляемой нагревателем мощности. Для этого используется мультиметр, включенный своими токовым и потенциальным входами соответственно последовательно и параллельно нагревателю. Включая поочередно мультиметр в режимы измерения тока и напряжения, определяют ток нагревателя  $I$  и напряжение на нем  $U$ , перемножив эти величины, находят мощность нагревателя  $W = UI$ . Поделив мощность  $W$  на суммарную площадь  $F$  поверхностей образцов (она равна двум значениям площади поверхности одного образца), контактирующих с нагревателем, определяют плотность теплового потока:  $q = W / F$ .

Рабочий способ измерения температур. Лучше всего измерять не перепад температуры по сечению исследуемого образца непосредственно, а фактические температуры его поверхностей, зная которые можно определить и  $\Delta t$ . Такой набор измерительной информации позволит вычислить не только численное значение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала, но и зафиксировать, при какой температуре этого материала такое численное значение наблюдается.

Как разместить термпары? Одну пару термпар протянуть с внешней (оробренной) поверхности радиаторов до их центра, просверлить в центре радиаторов отверстия для термпар и заподлицо с

гладкой поверхностью радиаторов разместить горячие спаи термопар. Фиксацию спаев можно осуществить, если запаять отверстия, предварительно изолировав электроды термопар.

Другая пара термопар должна измерять температуру изотермических поверхностей нагревателя. Для протяжки этих термопар до центра изотермических поверхностей можно либо проделать дорожки в фольге и стеклотекстолите, либо термопары протянуть до центра со стороны электрического нагревателя и вывести их спаи на изотермические поверхности. При этом в центре лабиринтной модели нагревателя для формирования дорожки для укладки термопары расстояние между соседними «зигзагами» ленточного нагревателя делается специально большим. Размещение термопар внутри нагревателя (со стороны собственно нагревателя) имеет то преимущество, что в этом случае температурное поле нагревателя обязательно выравнивается изотермическими оболочками.

Искомое значение коэффициента теплопроводности исследуемого материала  $\lambda_{\text{ОБР}}$  определяется по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{ОБР}} = \frac{q \delta_{\text{ОБР}}}{\Delta t_{\text{ОБР}}},$$

где  $\delta_{\text{ОБР}}$  и  $\Delta t_{\text{ОБР}}$  – соответственно толщина образца и перепад температуры по его толщине.

Нетрудно видеть, что прибор пригоден и для измерения термического сопротивления теплопроводности образца, в том числе и многослойного.

Лабораторный измеритель изготовлен в трех конструктивных исполнениях. Первое и второе исполнения предусматривают размещение теплоизмерительной ячейки в специальных штативах, конструкции штативов различные. Третье исполнение предусматривает размещение теплоизмерительной ячейки и блока питания в специальном кожухе, представляющем собой прямоугольный параллелепипед с отверстиями для потока воздуха. Кожух с помощью перегородки, имеющей теплоизоляционный слой, разделен на две части, в одной части устанавливается теплоизмерительная ячейка, а в другой блок питания нагревателя. Кожух имеет «ножки», что обеспечивает требуемую интенсивность конвективного теплообмена.

В результате испытаний и многолетней практики использования измерителя в учебном процессе по курсу «Тепломассообмен», а также и при выполнении ряда научно-исследовательских работ установлено, что все конструктивные модели имеют достаточную надежность, никаких отказов оборудования стенда не наблюдалось. Точность определения коэффициента теплопроводности вполне удовлетворительная. Так, например, с помощью измерителя определялся коэффициент теплопроводности опытного материала, предлагаемого для облицовки железнодорожных вагонов. Доверительный интервал для доверительной вероят-

ности  $P=0,95$  получился следующим:  $\lambda = 0,132 \pm 0,006$  Вт/(м·°С), что вполне соответствовало и другим имеющимся данным.

Заключение об удовлетворительной точности прибора произведено также, в частности, и по результатам сравнения получаемых при выполнении лабораторных работ данных для известных материалов со справочными значениями.

**Выводы.** Разработан и изготовлен лабораторный измеритель для определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов. При разработке прибора были использованы не только известные технические решения и серийно производимые средства, но и разработанные самостоятельно. Измеритель пригоден также и для измерения термического сопротивления теплопроводности образца, в том числе и многослойного. Изготовлены три варианта компоновки (три конструктивные модели каркаса) измерителя теплопроводности. Методическое обеспечение содержит описание процедуры оценки коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов. Прибор рекомендуется для использования как в учебных целях, так и при проведении исследовательских работ.

#### Литература

1. Богоявленский, А.И. Метод измерения термического сопротивления однородного слоя изоляции / А.И. Богоявленский, А.С. Платонов, С.И. Ханков // *Теплоэнергетика*. – 2008. – № 7. – С. 40–42.
2. Богоявленский, А.И. Устройства для измерения удельных термических сопротивлений ограждающих конструкций контактными методами в стационарном тепловом режиме / А.И. Богоявленский, П.Г. Исаков, Е.В. Лаповок, С.И. Ханков // *Теплоэнергетика*. – 2009. – № 3. – С. 57–61.
3. Простой метод определения теплопроводности ограниченной пластины / А.С. Евдокимов, В.М. Козинцев, О.Э. Мельник и др. // *Вестник МГСУ*. – 2014. – № 2. – С. 114–124.
4. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 256 с.
5. Геращенко, О.А. Основы теплотрии / О.А. Геращенко. – Киев: Наукова думка, 1971. – 192 с.
6. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: учеб. пособие для вузов / В.Н. Афанасьев, А.А. Афонин, С.И. Исаев и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 216 с.
7. Осипова, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В.А. Осипова. – М.: Энергия, 1969. – 392 с.
8. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. – Л.: Энергия, 1973. – 144 с.

9. Ярышев, Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры / Н.А. Ярышев. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

10. Гордов, А.Н. Основы температурных измерений / А.Н. Гордов, О.М. Жагулло, А.Г. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.

11. Термоэлектрическое охлаждение: текст лекций / под общ. ред. Л.П. Булата. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. – 147 с.

12. Состояние и перспективы развития градиентной теплометрии / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, С.А. Можайский // Теплоэнергетика. – 2009. – № 3. – С. 2–11.

13. Панферов, В.И. Измеритель теплопроводности теплоизоляционных материалов / В.И. Панферов, В.П. Емельянов, Г.И. Калягин // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы III Международной научной конференции. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. – С. 226–232.

14. Панферов, В.И. Разработка измерителя теплопроводности теплоизоляционных материалов / В.И. Панферов, В.П. Емельянов, Г.И. Калягин // Вестник УГТУ-УПИ. Строительство и образование. – 2005. – Вып. 14. – № 14(66). – С. 353–355.

**Панферов Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), tgsiv@mail.ru.

**Панферов Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), tgsiv@mail.ru.

*Поступила в редакцию 14 января 2015 г.*

## PROBLEM SOLUTION FOR CONSTRUCTION OF THERMAL CONDUCTIVITY METER FOR THERMAL INSULATION MATERIALS

*V.I. Panferov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, tgsiv@mail.ru*

*S.V. Panferov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, tgsiv@mail.ru*

The problems of constructing thermal conductivity meter for thermal insulating materials are considered in the article. Different versions of the constituent elements of the device are given. Three ways to assemble thermal conductivity meter (three structural model of a framework) are worked out and produced. Selected balanced circuit of the meter eliminates the need for heat meter in the instrument, which is quite problematic measurement means. The tests show satisfactory reliability and acceptable accuracy of thermal conductivity meter. Positive experience of the use of the meter in the laboratory and a number of scientific and research work is indicated. The meter is also suitable for measuring thermal resistance of the thermal conductivity of the sample, including a multilayer one.

*Keywords: thermal conductivity coefficient, heat-measuring cell, heat flow density, heater, cooling radiator, heat meter, thermal insulation materials.*

### References

1. Bogoyavlenskiy A.I., Platonov A.S., Hankov S.I. Method of measuring thermal resistance of a uniform insulation layer Thermal Engineering. 2008. Vol. 55. no 7. pp. 579–581. DOI: 10.1134/S0040601508070094.

2. Bogoyavlenskiy A.I., Isakov P.G., Lapovok Ye.V., Khankov S.I. Devices for measuring thermal resistance of building enclosures by means of contact methods under steady-state conditions. Thermal Engineering. 2009. Vol. 56. no 3. pp. 239–244. DOI: 10.1134/S0040601509030094

3. Evdokimov A.S., Kozintsev V.M., Mel'nik O.E., Popov A.L., Stoyanov S.V., Chelyubeev D.A. [A simple method for determining the thermal conductivity of the bounded plate]. *Vestnik MGSU* [Bulletin MGSU], 2014. no. 2. pp. 114–124.

4. Platunov E.S., Buravoy S.E., Kurepin V.V., Petrov. G.S. *Teplofizicheskie izmereniya i pribory* [Thermophysical measurements and instrumentation], Leningrad, Engineering, Leningrad. Dep-of, 1986. 256 p.

5. Gerashhenko, O.A. *Osnovy teplometrii* [Fundamentals of thermal measurements], Kiev, Naukova Dumka, 1971. 192 p.

6. Afanas'ev V.N., Afonin A.A., Isaev S.I. and others *Laboratornyy praktikum po termodinamike i teploperedache: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Laboratory practical work on thermodynamics and heat transfer: manual for high schools], Moscow Higher School, 1988. 216 p.

7. Osipova V.A. *Yeksperimental'noe issledovanie protsessov teploobmena* [Experimental study of heat transfer processes]. Moscow, Energy, 1969. 392 p.
8. Platonov E.S. *Teplofizicheskie izmereniya v monotonnom rezhime* [Thermophysical measurements in a monotone mode]. Leningrad, Energy, 1973. 144 p.
9. Yaryshev N.A. *Teoreticheskie osnovy izmereniya nestatsionarnoy temperatury* [Theoretical Foundations of measuring non-stationary temperature]. Leningrad, Energoatomizdat, 1990. 256 p.
10. Gordov A.N., Zhagullo O.M., Ivanova A.G. *Osnovy temperaturnykh izmereniy* [Fundamentals of temperature measurements]. Moscow, Energoatomizdat, 1992. 304 p.
11. Bulat L.P. *Termoelektricheskoe okhlazhdenie: Tekst lekciy.* [Thermoelectric cooling: Text of lectures]. St. Petersburg, SPbGUNIPT, 2002. 147 p.
12. Sapozhnikov S.Z., Mityakov V.Yu., Mityakov A.V., Mozhayskiy S.A. State and prospects of development of gradient calorimetry Thermal Engineering. 2009. Vol. 56. no 3. pp. 181–190. DOI: 10.1134/S004060150903001X
13. Panferov V.I., Emel'yanov V.P., Kalyagin G.I. [Development of Thermal Conductivity of thermal insulation materials] *Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhayushhey sredy: materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii.* [Indoor air quality and the environment: Proceedings of the III International Scientific Conference]. Volgograd: VolgGASU, 2005. pp. 226–232.
14. Panferov V.I., Emel'yanov V.P., Kalyagin G.I. [Development of Thermal Conductivity meter of thermal insulation materials]. *Vestnik UGTU-UPI. Stroitel'stvo i obrazovanie.* [Construction and Education]. 2005. no. 14. pp. 353–355. (in Russ).

Received 14 January 2015

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Панферов, В.И. К решению задачи конструирования измерителя теплопроводности теплоизоляционных материалов / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 26–31.

#### REFERENCE TO ARTICLE

Panferov V.I., Panferov S.V. Problem Solution for Construction of Thermal Conductivity Meter for Thermal Insulation Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2015, vol. 15, no. 2, pp. 26–31. (in Russ.)

---