

# ЗОНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*В. А. Краснов, Н. А. Подледнева, Ю. А. Максименко  
Астраханский государственный технический университет,  
г. Астрахань (Россия)*

## **Введение**

Интенсификация процессов тепломассобмена базируется на современных технологических принципах, анализе теплофизических свойств материалов как объектов сушки и позволяет выбрать рациональные методы и режимные параметры процесса и в результате разработать эффективную конструкцию аппарата.

Теплофизические характеристики определяют скорость протекания процесса нагревания (охлаждения) тел. К ним относятся коэффициенты теплопроводности  $\lambda$ , температуропроводности  $a$  и удельная теплоемкость  $c$ . Теплофизические характеристики зависят от природы, структуры и физико-химических параметров и характеристик продуктов. На коэффициент теплопроводности дисперсных материалов влияют влажность, размер частиц, плотность, пористость, объемная масса материала и др. Таким образом, создание устройства, позволяющего повысить производительность определения коэффициента теплопроводности материалов, представляет практический интерес.

## **Основная часть**

Устройство для определения коэффициентов теплопроводности сыпучих материалов относится к области измерительной техники.

Известен зонд, который предназначен для строительных материалов и изделий теплопроводностью от 0,01 до 2 Вт/(м·К), содержащий корпус (трубка диаметром 3 (5) мм из нержавеющей стали), рукоятку, электронагреватель в виде сложенного пополам эмалированного провода из сплава сопротивления и проволочной термопары (эмалированных медных и константановых проволок диаметром 0,35 мм) [1]. Недостатком его является невозможность применения для определения коэффициента теплопроводности малых образцов дисперсных материалов.

Наиболее близким по совокупности признаков к разрабатываемому устройству является линейный или цилиндрический зонд для измерения теплопроводности в условиях изменения порозности порошковых материалов от свободной засыпки до спрессовывания. Зонд, линейный источник теплоты постоянной мощности, выполнен в виде П-образной рамки с проволокой по оси, к которой прикреплена термопара, источник регулируемого стабилизированного напряжения для задания необходимого тока и регистратор зависимости изменения температуры зонда во времени [3]. Недо-

статком его является погрешность конструкции, приводящая к невысокой производительности по определению коэффициента теплопроводности.

Усовершенствование конструкции устройства достигается тем, что зонд выполнен в виде прямоугольной рамки из фольгированного медью стеклотекстолита, внутри которой по оси размещены нагреватель, выполненный из проволоки из высокоомного материала, к которому сверху прикреплена медь - константановая измерительная термопара, при этом один конец рамки служит ответной частью электроразъема. Медный провод термопары соединен с одним из контактов разъема на конце рамки, а другой конец термопары, константановый провод, припаян к медной фольге рамки. Измерительный сигнал термопары регистрируется самописцем. «Холодный» спай находится в тепловом контакте с печью-термостатом, которая задает температуру образца. Таким образом, фактически измеряется изменение температуры зонда относительно температуры холодного спаия, являющееся источником информации для вычисления коэффициента теплопроводности. Материал рамки позволяет осуществить необходимое натяжение нагревателя, а также коммутацию всех элементов.

Предполагаемое устройство изображено на рис. 1. Устройство имеет термостат 1, в который помещен контейнер 2 с исследуемым образцом 3. Снаружи к термостату 1 подведены две электрические цепи: первая – с источником регулируемого стабилизированного напряжения 4, ключом 5, вольтметром 6 и амперметром 7, вторая – измерительная с прецизионным высокочувствительным самопишущим прибором 8 высокого быстродействия – время пробега шкалы кареткой -1 с - для регистрации кривой зависимости изменения температуры зонда во времени. В контейнер 2 помещен зонд 9, выполненный в виде прямоугольной рамки из фольгированного медью стеклотекстолита, внутри которой по оси размещены нагреватель 10, выполненный в виде проволоки из высокоомного материала, к середине которой прикреплена медь - константановая измерительная термопара 11, константановый термоэлектрод 12, которой в точке «холодного» спаия 13 припаян к рамке. «Холодный» спай расположен напротив «горячего» спаия 14, расположенного посередине нагревателя. Один конец зонда 9 одновременно является ответной частью электроразъема 15, соединяющего его с силовой и измерительной цепями. Фольгированный медью стеклотекстолит рамки зонда контактирует с корпусом печки-термостата (на рис. 1 не показано). Печка-термостат обеспечивает постоянную температуру холодного спаия 13. Согласно теории метода линейного источника теплоты постоянной мощности время опыта составляет 2–10 секунд для небольших образцов диаметром 20 мм. За это время холодный спай «не успевает» почувствовать изменение температуры зонда, не превышающее, как правило, 2–2,5 К.

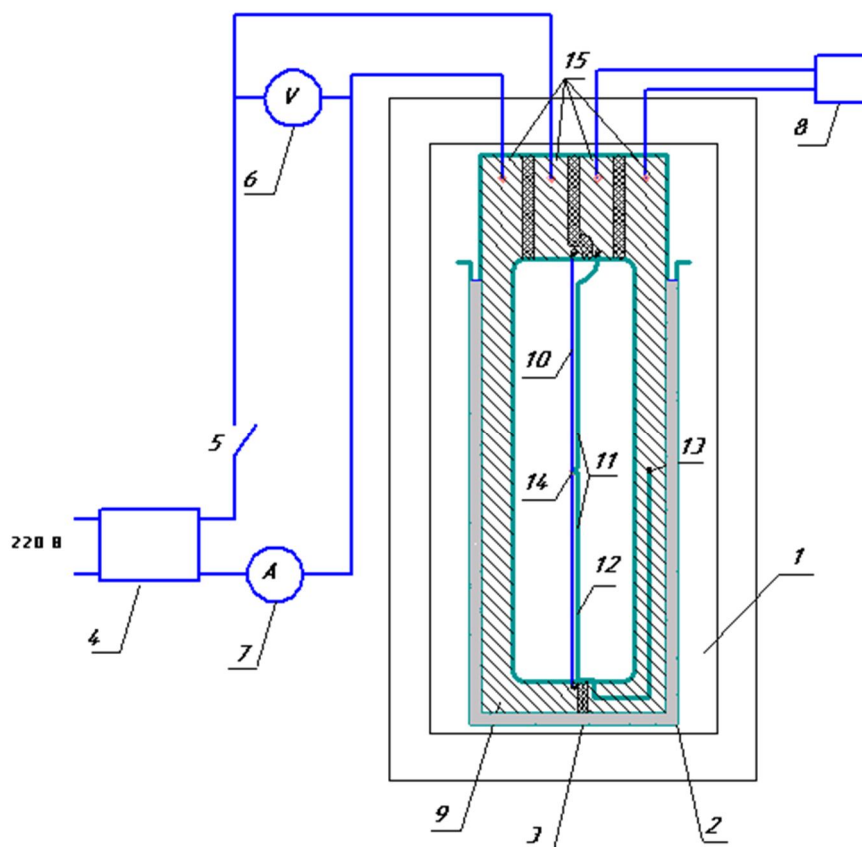


Рис. 1. Устройство для определения коэффициентов теплопроводности сыпучих материалов: 1 – термостат, 2 – контейнер, 3 – исследуемый образец, 4 – источник регулируемого стабилизированного напряжения, 5 – ключ, 6 – вольтметр, 7 – амперметр, 8 – самопишущий прибор, 9 – зонд, 10 – нагреватель, 11 – медь-константановая измерительная термопара, 12 – константановый термоэлемент, 13 – точка «холодного» спая, 14 – точка «горячего» спая, 15 – электроразъем

В основу определения коэффициента теплопроводности положена теория метода линейного источника теплоты постоянной мощности. В термостат 1 помещают контейнер 2 с зондом 9 и засыпают исследуемый образец 3. К концу рамки зонда 9, где расположен разъем 15, подключают две электрические цепи, содержащие источник регулируемого стабилизированного напряжения 4, ключ 5, вольтметр 6, амперметр 7, и самопишущий прибор 8. Замыканием ключа 5 ток проходит через нагреватель 10, температура которого увеличивается и теплота распространяется радиально от нагревателя 10 к контейнеру 2 и «холодному» спая 13 термопары. Самопишущий прибор 8 регистрирует изменение температуры зонда 9, позволяющее определить коэффициент теплопроводности по известной формуле:

$$\bar{\lambda} = \frac{q}{4\pi(t_2 - t_1)} \ln \frac{\tau_2}{\tau_1}, \quad (1)$$

где  $t_2 - t_1$  – изменение температуры зонда соответствующий моментам времени  $\tau_2$  и  $\tau_1, ^\circ\text{C}$ ;  $q$  – мощность, выделяемая единицей длины зонда, Вт/м;  $\tau$  – время, с.

### **Заключение**

Предлагаемое устройство позволяет повысить производительность определения коэффициента теплопроводности за счет конструкции зонда, который совмещает в себе функции держателя проволоки – линейного источника теплоты – с прикрепленным горячим спаем и ответной части разъема для коммуникации между цепями питания и измерения. Усовершенствованная конструкция устройства позволяет осуществить быструю замену исследуемых образцов и повысить производительность зонда.

### *Литература*

1. ГОСТ 30256-94. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом.
2. Краснов, В. А. Установка для определения коэффициента теплопроводности жидкостей / В. А. Краснов // Научные труды АстраханьНИПИГАЗ. – Астрахань, 2001.
3. Краснов, В. А. Устройство для определения коэффициента теплопроводности дисперсных материалов методом цилиндрического зонда постоянной мощности / В. А. Краснов, Г. А. Савченков // Методы и средства теплофизических измерений : тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – Севастополь, 1987. – С. 42–43.