



А.Ю. Дедюхин

**ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Екатеринбург
2012

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

А.Ю. Дедюхин

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

для лабораторных занятий студентов очной и заочной форм обучения
направлений 270800.62 «Строительство. Бакалавр техники и технологии»,
270800.68 «Строительство. Магистр техники и технологии»,
специальности 270205.65 «Автомобильные дороги и аэродромы»;

направление 653600 «Транспортное строительство»,
специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»;

направления 550100 «Строительство. Бакалавр техники и технологии»,
Специальности «Автомобильные дороги»,
для дисциплин «Технология конструкционных материалов»,
Дорожное материаловедение и технология дорожно-строительных
материалов» и «Новые композиционные строительные материалы»

Екатеринбург
2012

Печатается по рекомендации методической комиссии факультета
Протокол № от октября 2012 г.

Рецензент кан. техн. наук, доцент кафедры транспорта и дорожного строительства И.Н. Кручинин

Редактор К.В. Корнева
Компьютерная верстка Е.В. Карпова

Подписано в печать		Поз. 26
Плоская печать	Формат 60x84 ¹ / ₁₆	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,93	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Содержание

Введение	4
1. Определения и обозначения	4
1.1. Общие положения	4
1.2. Средства измерения	4
2. Устройство и принцип работы	5
3. Подготовка образцов материала к испытанию	7
4. Подготовка прибора к испытанию	8
5. Проведение испытаний	10
6. Порядок работы в режиме «Архив»	12
Выводы	12
Приложение	15
Список литературы	16

Введение

Цель изучения дисциплины «Технология конструкционных материалов» заключается в формировании у студентов знаний и умений в области строительства и эксплуатации транспортных сооружений. В задачи дисциплины входит изучение свойств конструкционных материалов.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь определять теплопроводность строительных материалов.

1. Определения и обозначения

Тепловой поток — количество теплоты, проходящее через образец в единицу времени.

Плотность теплового потока — тепловой поток, проходящий через единицу площади.

Стационарный тепловой режим — режим, при котором все рассматриваемые теплофизические параметры не меняются со временем.

Термическое сопротивление образца — отношение разности температур лицевых граней образца к плотности теплового потока в условиях стационарного теплового режима.

Средняя температура образца — среднеарифметическое значение температур, измеренных на лицевых гранях образца.

Эффективная теплопроводность λ_{eff} материала (соответствует термину «коэффициент теплопроводности», принятому в действующих нормах по строительной теплотехнике) — отношение толщины испытываемого образца материала d к его термическому сопротивлению R .

1.1. Общие положения

Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

1.2. Средства измерения

Для проведения испытания применяют прибор для измерения эффективной теплопроводности и термического сопротивления, аттестованный в установленном порядке.

2. Устройство и принцип работы

Принцип работы прибора заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщ-

ны и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, измерении толщины образца, плотности теплового потока и температуры противоположных лицевых граней.

Прибор собран по асимметричной схеме в соответствии с ГОСТом 7076 [1].

Нагревательная установка прибора включает блок управления нагревателем и холодильником, а также источник питания.

На боковых стенках установки размещены выключатель питания, клемма заземления, предохранитель (на 1А) и гнезда для подключения кабеля блока электронного и шнура сетевого питания, а также эксцентриковый замок.

Питание на блок электронный подается от нагревательной установки по соединительному кабелю.

В верхней части установки размещен прижимной винт, снабженный отсчетным устройством для измерения толщины образца, и динамометрическим устройством с трещоткой для создания постоянного усилия прижатия испытываемого образца.

Блок электронный включает схемы измерения, контроля и регулирования.

На лицевой панели блока электронного размещен графический ЖК-индикатор и клавиатура, состоящая из шести кнопок: **ВКЛ.** (окрашена в красный цвет), **РЕЖИМ**, **ВВОД**, \uparrow , \downarrow и **ПУСК**.

Гнездо для подключения кабеля, соединяющего блок электронный с нагревательной установкой, размещено на левой боковой поверхности блока электронного.

Включение прибора производится в следующей последовательности: заземлить нагревательную установку посредством клеммы « \perp »; подключить блок электронный к нагревательной установке; подключить нагревательную установку к сети 220 В, 50 Гц; включить питание установки выключателем «**Сеть**»; включить питание блока электронного кратковременным нажатием кнопки **ВКЛ.**

Блок электронный оснащен режимом самоотключения через 10 минут после окончания работы.

Режимы работы прибора

Прибор может находиться в четырех различных режимах.

Режим 1. Режим «**Измерение**». При включении прибора на индикаторе блока электронного высвечивается экран «**Выбор режима**» с индикацией всех четырех режимов и мигающим значением «**Измерение**».

Нажатие кнопки **ВВОД** активирует режим «**Измерение**».

Режим 2. Режим «**Архив**». В режиме 2 осуществляется просмотр записанных в память результатов измерений, выполненных ранее.

Для перевода прибора в режим «**Архив**» необходимо из экрана «**Выбор режима**» кнопками ↑, ↓ переместить мигание на «**Архив**» и кнопкой **ВВОД** активировать режим.

Вычисление коэффициента теплопроводности λ (эффективной теплопроводности) и термического сопротивления R производится вычислительным устройством прибора по формулам (1–2):

$$\lambda = \frac{Hq}{T_n - T_x}, \quad (1)$$

$$R_n = \frac{T_n - T_x}{q} - 2R_k, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности (эффективная теплопроводность),

Вт/м·К;

H – толщина образца в процессе испытаний, м;

q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м²;

T_n – температура горячей лицевой грани испытываемого образца, К;

T_x – температура холодной лицевой грани испытываемого образца, К;

R_n – термическое сопротивление испытываемого образца, м²К/Вт;

R_k – термическое сопротивление между лицевой гранью образца и рабочей поверхностью плиты прибора, м²К/Вт;

Примечание: значение R_k учитывается при калибровке приборов по образцам соответствующей теплопроводности.

3. Подготовка образцов материала к испытанию

Образцы для испытаний изготавливают в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие (лицевые) грани которого имеют форму квадрата со стороной **250×250** мм.

Длину и ширину образца в плане измеряют линейкой с погрешностью не более **0,5** мм.

Толщина испытываемого образца должна составлять: для испытаний прибором ИТП-МГ4 «**250**» от **5** до **50** мм;

Примечание: толщину образца H и разницу температур нагревателя и холодильника ΔT необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями

Приложения к настоящему методическому пособию, в зависимости от прогнозируемой теплопроводности материала.

Грани образца, контактирующие с рабочими поверхностями плит прибора, должны быть плоскими и параллельными. Отклонение лицевых граней жесткого образца от параллельности не должно быть более **0,5** мм.

Жесткие образцы, имеющие разнотолщинность и отклонения от плоскостности, шлифуют.

Толщину образца-параллелепипеда измеряют штангенциркулем с погрешностью не более **0,1** мм в четырех углах на расстоянии **50,0 ± 5,0** мм от вершины угла и посередине каждой стороны.

Примечание: допускается испытание образцов-дисков диаметром 160–250 мм (прибор ИТП-МГ4 «250»).

Толщину образца диска измеряют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм по образующим, расположенным в четырех взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через вертикальную ось.

За толщину образца принимают среднеарифметическое значение результатов всех измерений.

Правильность геометрической формы и размеры образца теплоизоляционного материала определяют по ГОСТу 17177 [2].

Средний размер включений (гранулы заполнителя, крупные поры и т.п.), отличных по своим теплофизическим показателям от основного образца, должен составлять не более 0,1 толщины образца.

Допускается испытание образца, имеющего неоднородные включения, средний размер которых превышает 0,1 его толщины. В протоколе испытания должен быть указан средний размер включений.

Определяют массу образца M_1 при его получении от изготовителя.

Образец высушивают до постоянной массы при температуре, указанной в нормативном документе на материал или изделие. Образец считают высушенным до постоянной массы, если потеря его массы после очередного высушивания в течение 0,5 ч не превышает 0,1 %. По окончании сушки определяют массу образца M_2 и его плотность ρ_u , после чего образец немедленно помещают либо в прибор для определения его термического сопротивления, либо в герметичный сосуд.

Образец высушенного сыпного материала должен быть помещен в ящик, дно и крышка которого изготовлены из тонкого листового материала. Длина и ширина ящика должны быть равны соответствующим размерам рабочих поверхностей плит прибора, глубина – толщине испытываемого образца. Толщина образца сыпного материала должна быть не менее, чем в 10 раз больше среднего размера гранул, зерен и чешуек, из которых состоит этот материал.

Относительная полусферическая излучательная способность поверхностей дна и крышки ящика должна быть более 0,8 при тех температурах, которые эти поверхности имеют в процессе испытания.

Термическое сопротивление R_L листового материала, из которого изготавливают дно и крышку ящика, должно быть известно.

Пробу насыпного материала делят на четыре равные части, которые поочередно насыпают в ящик, уплотняя каждую часть так, чтобы она заняла соответствующую ей часть внутреннего объема ящика, не досыпая до его краев 2–3 мм. Ящик закрывают крышкой так, чтобы она легла на испытываемый материал.

Взвешивают ящик с образцом насыпного материала. По определенному значению массы ящика с образцом и предварительно определенным значениям внутреннего объема и массы пустого ящика вычисляют плотность образца насыпного материала. Погрешность определения массы и размера образцов не должна быть более 0,5 %.

4. Подготовка прибора к испытанию

Перед началом работы следует внимательно изучить Руководство по эксплуатации и ГОСТ 7076.

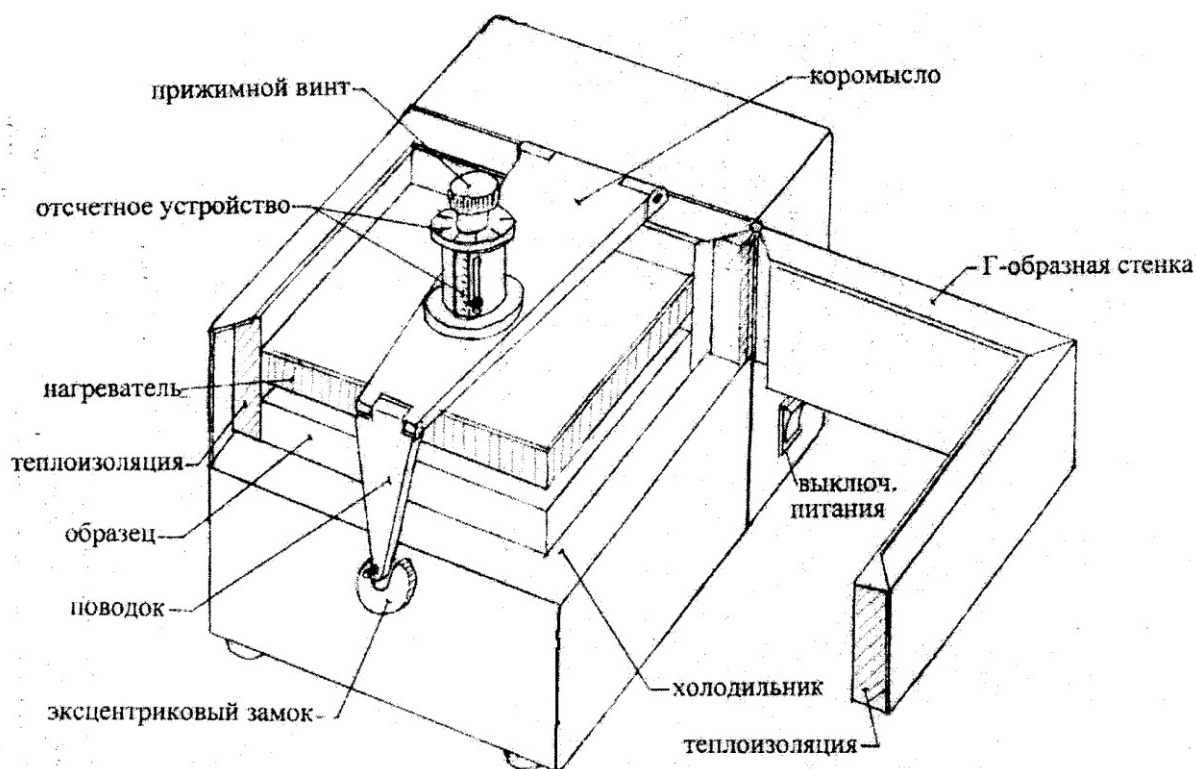
Подключить электронный блок к нагревательной установке, обращая внимание на положение «ключа» на соединительных разъемах.

Заземлить корпус нагревательной установки через клемму защитного заземления «⊥».

Подключить сетевой шнур к нагревательной установке и к сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Открыть нагревательную установку (см. рис. 2.1), для чего:

- ослабить прижимной микрометрический винт;
- повернуть против часовой стрелки эксцентриковый замок, освободив поводок коромысла (паз замка направлен вверх);



Общий вид установки для нагрева образцов ИТП-МГ4 «250»

- поднять поводок и отвести на 90° подвижную Г-образную стенку установки;
- поднять коромысло с закрепленной на нем плитой нагревателя;
- чистой ветошью протереть поверхности нагревателя и термомера, прилегающие к образцу.

Установить образец в установку и опустить коромысло. Зазор между плитой нагревателя и образцом должен составлять 2–5 мм, при необходимости установить зазор, вращая микрометрический винт.

Поднять поводок и закрыть Г-образную стенку.

Опустить поводок в паз эксцентрикового замка и, повернув его по часовой стрелке, закрепить поводок.

Вращая микрометрический винт по часовой стрелке, выбрать зазоры и зажать образец до срабатывания трещотки динамометрического устройства. При этом давление, создаваемое на испытываемый образец, составляет 2,5 кПа. Погрешность создания давления не превышает 1,5 %.

При испытании насыпных и волокнистых материалов зафиксировать толщину образца по отсчетному устройству микрометрического винта с точностью $\pm 0,05$ мм (цена деления линейной шкалы 1 мм, кольцевой – 0,1 мм). Пользование измерительным устройством – аналогично микрометру.

Примечание: образцы-диски следует устанавливать соосно тепломеру, обеспечивая одинаковые зазоры между образцом и теплоизоляцией нагревательной установки. Пустоты по углам должны заполняться вкладышами соответствующих размеров из теплоизоляционного материала с $\lambda \leq 0,04$ Вт/мК (пенополистирол, пенополиуретан).

5. Проведение испытаний

Включить питание электронного блока. На индикаторе кратковременно высвечивается тип прибора, после чего индикатор имеет вид:

- ВЫБОР РЕЖИМА -	
измерение	архив
часы	ПК

(1)

с мигающим режимом «Измерение».

Нажатием кнопки **ВВОД** активировать режим «Измерение», индикатор имеет вид:

Введите: H=15,0 мм	
T_x=	°C
T_n=	°C

(2)

с мигающим значением толщины образца $H=15,0$ мм.

Кнопками **T** и **I** установить фактическую толщину образца, например 21,2 мм, и зафиксировать кнопкой **ВВОД**.

Индикатор принимает вид:

Введите: H=21,2 мм	
T_x= 15,0°C	
T_n=	°C

(3)

с мигающим значением температуры холодильника $T_x=15,0$ °C.

Кнопками **1** и **T** установить требуемую температуру, например 15,0 °C, и зафиксировать кнопкой **ВВОД** (см. прил.).

Мигание перемещается на значение температуры нагревателя $T_H=35,0\text{ }^\circ\text{C}$.

**Введите: $H=21,2\text{ мм}$
 $T_x=12,0\text{ }^\circ\text{C}$
 $T_H=35,0\text{ }^\circ\text{C}$**

(4)

Установить температуру нагревателя, например $40\text{ }^\circ\text{C}$, выполнив операции аналогично предыдущему, после чего индикатор имеет вид:

**Установите образец
Нажмите «Пуск»**

(5)

Кратковременно нажать кнопку ПУСК, запустив прибор в работу. На индикатор выводится информация, например:

**Идет измерение...
 $T_x=15,3\text{ }^\circ\text{C}$
 $T_H=25,7\text{ }^\circ\text{C}$ 00000 ← таймер**

(6)

В дальнейшем устройство прибора устанавливает на поверхностях образца заданные температуры T_H и T_x и поддерживает их с точностью $\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$ до тех пор, пока тепловой поток, проходящий через испытываемый образец, не стабилизируется.

В дальнейшем наблюдение за тепловым потоком осуществляется автоматически, таймер в нижней строке индикатора отсчитывает время наблюдения 5400 сек, по истечении которого производится автоматическое вычисление определяемых значений λ и R и запись результата в архив, о чем свидетельствует звуковой сигнал.

Индикатор имеет вид:

**M 06 $\lambda=0,294\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$
 $R=0,072\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$
 $H=21,2\text{ мм}$**

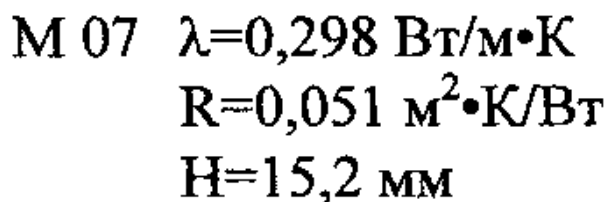
(7)

Для повторного испытания образца необходимо нажатием кнопки **РЕЖИМ** перевести прибор в экран (окно (1)) и выполнить операции (2-5). Значения H , T_x и T_n , установленные ранее, сохраняются в памяти прибора.

В случае ошибочного ввода значений H , T_x или T_n , необходимо нажать кнопку **РЕЖИМ** и повторить ввод (2-4).

6. Порядок работы в Режиме «Архив»

Перевести прибор в режим «Архив», после чего на индикаторе высвечивается последний из записанных в «Архив» результатов измерений, например M07 (№ 07):

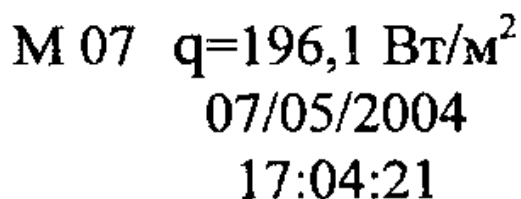


M 07 $\lambda=0,298$ Вт/м·К
 $R=0,051$ м²·К/Вт
H=15,2 мм

(8)

Просмотр содержимого архива производится нажатием кнопок \downarrow \uparrow .

Нажатием кнопки **ВВОД** на индикатор можно вывести дополнительную информацию о плотности стационарного теплового потока q , дате и времени измерения:



M 07 $q=196,1$ Вт/м²
07/05/2004
17:04:21

(9)

Объем архивируемой информации – 99 результатов измерений.

При удержании кнопки **ВВОД** более 1 секунды на индикатор выводится сообщение:



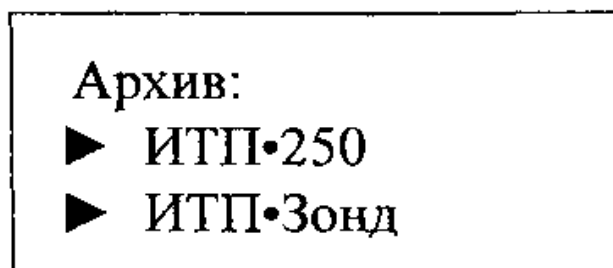
Очистить память?

Да(\uparrow) Нет (\downarrow)

(10)

Для стирания содержимого «Архива» нажать кнопку ↑, после чего прибор переходит к экрану (1) «**Выбор режима**». При нажатии кнопки ↓ прибор переходит к экрану (8).

Примечание: если в комплект поставки приборов ИТП-МГ4 «250» входит тепловой зонд, то после перевода прибора в режим «Архив» индикатор имеет вид:



(11)

с мигающим значением «ИТП•250».

Для просмотра результатов измерений, выполненных при стационарном тепловом режиме, необходимо нажать кнопку **ВВОД**.

Для просмотра результатов измерений, выполненных методом теплового зонда, необходимо нажатием кнопки ↓ перевести мигание на «ИТП•Зонд» и нажать кнопку **ВВОД**.

Выводы

По окончании испытаний полученные результаты занести в ведомость. Затем сравнить с нормативными документами и дать заключение о пригодности данных материалов.

Приложение

Рекомендуемые толщина образцов H и разница температур нагревателя и холодильника $\Delta T = T_H - T_X$ в зависимости от теплопроводности λ испытываемого материала

λ , Вт/м·К	Толщина образца H , мм										
	3...5	6...10	11...15	16...20	21...25	26...30	31...35	36...40	41...45	46...50	51...60
	$\Delta T = (T_H - T_X), \text{К}$										
0,02...0,04	5...12	10...25	22...30	25...35	30...40	35...40	—	—	—	—	—
0,05...0,1	—	8...20	17...25	20...30	25...35	30...40	35...40	—	—	—	—
0,11...0,2	—	—	12...20	18...25	20...30	20...35	25...40	—	—	—	—
0,21...0,3	—	—	8...14	12...20	15...27	17...30	20...35	25...40	—	—	—
0,31...0,4	—	—	6...10	8...15	10...20	12...25	17...30	20...35	25...40	—	—
0,41...0,5	—	—	—	7...12	9...16	11...20	15...24	17...27	20...32	—	—
0,51...0,6	—	—	—	6...10	8...13	10...17	12...20	13...23	15...27	17...30	—
0,61...0,7	—	—	—	5...9	7...12	9...14	11...17	12...20	13...23	15...26	—
0,71...0,8	—	—	—	—	6...10	8...13	10...15	11...18	12...20	13...22	15...25
0,81...0,9	—	—	—	—	5...9	7...11	9...13	10...16	11...18	12...20	15...22
0,91...1,1	—	—	—	—	4...8	6...10	7...12	8...14	9...16	10...18	11...20
1,1...1,3	—	—	—	—	—	4...8	5...9	6...11	6...12	6...14	6...15
1,31...1,5	—	—	—	—	—	4...7	4...8	4...9	4...11	4...12	5...13

Примечание: в левой части таблицы приведены значения ΔT , рекомендуемые для прибора ИТП-МГ4 «100» (размер образца в плане 100×100 мм).

Библиографический список

1. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Введ. 2000-04-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.

2. ГОСТ 17177. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. Введ. 1996-04-01. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 64 с.