

УДК 536

Садыков Р.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Sadykov_r_a@mail.ru

Манешев И.О. – аспирант

E-mail: ivan-maneshev@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследование коэффициентов теплопроводности тонкослойных теплоизоляторов¹

Аннотация

Спроектирована, разработана и испытана экспериментальная установка для исследования коэффициентов теплопроводности одно- и многослойных тонкостенных теплоизоляторов. Приведено описание экспериментальной установки. На экспериментальной установке в составе пакета плоскопараллельных пластин исследованы коэффициенты теплопроводности как стандартных (полиуретаны различной плотности, дерево вдоль и поперёк волокон и др.), так и новых тонкослойных теплоизоляторов («TSM-Ceramic», «Temp-coat», «ЖКТМ-броня», «Изоллат», «Теплокор» и др.) для установившегося процесса теплообмена. Методом наименьших квадратов проведена статистическая обработка результатов экспериментальных исследований (рассчитаны среднеквадратические отклонения, абсолютные величины максимальных отклонений, доверительные вероятности и другие статистические характеристики). Выполнена оценка точности измерений и полученных экспериментальных данных. Результаты экспериментальных исследований коэффициентов теплопроводности тонкослойных теплоизоляторов типа «TSM-Ceramic» показали, что они часто на порядок ($\lambda_p \approx 0,018$ Вт/(м⁰С)), а иногда и более отличаются (в большую сторону) от рекламируемых в проспектах и некоторой литературе их значений ($(1 \text{ tsm} = 0,001$ Вт/(м⁰С)).

Ключевые слова: установка, эксперимент, теплоизолятор, тепловой поток, коэффициент теплопроводности, измерение, точность, адекватность.

Одним из способов энергосбережения является уменьшение потерь количества теплоты от места их генерации до места потребления. С этой целью активно ведутся поиски новых высокоэффективных тонкослойных теплоизоляционных материалов, отвечающих современным требованиям [1-8]. Правильное и точное измерение коэффициентов теплопроводности (λ) таких материалов приобретает большое прикладное значение, как в промышленной теплоэнергетике, так и в индустриальном строительстве [9-15].

Для оценки работы предлагаемой установки [16-18] исследованы значения λ как известных материалов так и современных тонкослойных теплоизоляторов [19-25].

Для пояснения обозначений, используемых в представленных ниже формулах, опишем экспериментальную установку (рис. 1, 2) с пакетом плоскопараллельных пластин (ППП) [17].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы». (Соглашение № 14.574.21.0013, уникальный идентификатор проекта RFMEF157414X0013).



Рис. 1. Комплект используемого оборудования
(слева направо: стабилизатор напряжения; лабораторный автотрансформатор ЛАТР;
установка по исследованию теплопроводности тонкослойных теплоизоляторов; компьютер)

В состав ППП (рис. 2) входят: алюминиевые пластины 1,2,3 толщиной 1 мм для измерения отводимой к термопарам температур t_1 , t_2 , t_3 .

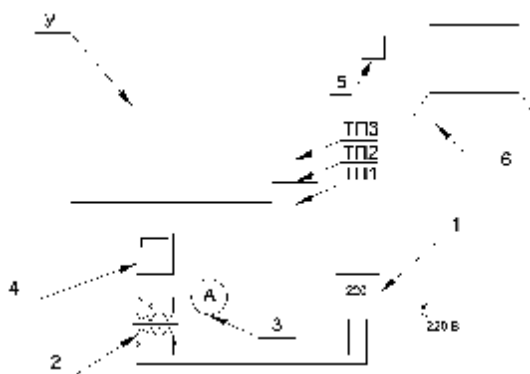


Рис. 2. Схема опытной установки для определения коэффициентов теплопроводности теплоизолирующих пластин: 1 – стабилизатор; 2 – ЛАТР; 3 – амперметр; 4 – мультиметр; 5 – измеритель-регулятор ТРМ 138; 6 – компьютер; ТП1, ТП2, ТП3 – термопары для измерения температур t_1 , t_2 , t_3 , снимаемых с алюминиевых пластинок 1, 2, 3 (рис. 3) в составе устройства У (рис. 2); У – устройство для измерения температур между плоскопараллельными пластинами в составе пакета плоскопараллельных пластин (ППП)

Пластина 1 подвергается нагреву электрическим источником тепла (ЭИТ), так что формируемый тепловой поток (q) перемещается по ППП снизу вверх и через верхнее стекло уходит в окружающее пространство (рис. 3), верхнее стекло обеспечивает необходимое усилие сжатия между ППП. Благодаря сжатию достигалось плотное прилегание алюминиевых пластин (1, 2, 3) к прилегающим поверхностям (рис. 3), и тем самым повышалась точность измерения температур на этих поверхностях с помощью подведенных к ним термопар. Боковые грани ППП термоизолировались пенополиуретаном толщиной 30 мм (рис. 4).

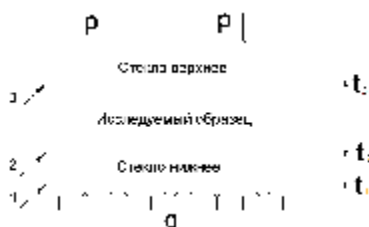


Рис. 3. Принципиальная схема пакета плоскопараллельных пластин (ППП) в составе устройства У:
1, 2, 3 – алюминиевые пластины толщиной 1 мм для измерения, отводимых к термопарам ТП1, ТП2, ТП3 температур t_1 , t_2 , t_3 между электрическим источником тепла ЭИТ и нижним стеклом (t_1), между нижним стеклом и исследуемым образцом (t_2), между исследуемым образцом и верхним стеклом (t_3); P – сжимающие силы

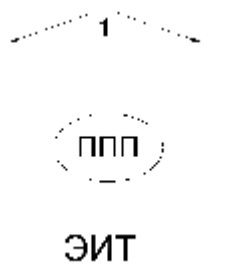


Рис. 4. Принципиальная схема устройства У в составе установки, представленной на рис. 1:
ППП, в составе которого установлена пластина с образцом исследуемого теплоизолятора;
ЭИТ – электрический источник теплоты (мощностью 1 кВт); 1 – боковая термоизоляция ППП
(прямоугольный параллелепипед без оснований с внутренним размером 15x15 см),
изготовленный из пенополиуретана толщиной 30 мм и плотностью $\rho = 32 \text{ кг/м}^3$

Размер алюминиевых пластин составляет (150x150x1) мм с прорезью по середине: шириной 1 мм и длиной 75 мм (рис. 5). В эту прорезь вставлялась и припаивалась оголенная часть скрученных жил электропровода, а сигнал с места контакта этих жил с алюминиевой пластинкой передавался на соответствующую термопару.

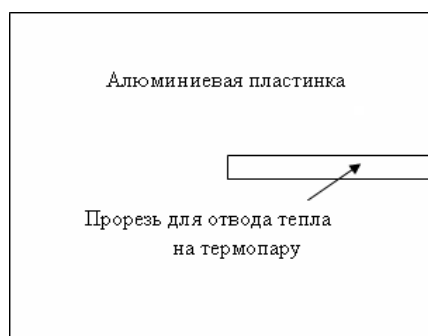


Рис. 5. Расположение прорези для отвода тепла в алюминиевых пластинах 1, 2, 3 в составе ППП (рис. 3)

Определение коэффициента теплопроводности исследуемого образца выполнялось из условия равенства удельных тепловых потоков в стационарном режиме, которые проходят через слои пакета [3, 9, 13, 15].

Из равенства тепловых потоков находится коэффициент теплопроводности образца:

$$I_{об} = I_{ст} \frac{d_{об} t_1 - t_2}{d_{ст} t_2 - t_3}, \quad (1)$$

где $\lambda_{об}$, $\lambda_{ст}$ – соответственно коэффициенты теплопроводности образца и стекла; $d_{об}$, $d_{ст}$ – соответственно толщина образца и стекла, $(t_1 - t_2)$ и $(t_2 - t_3)$ – соответствующие разности температур (рис. 3).

Для проверки представленных на рис. 1 опытной установки и способа определения λ [16-18] исследуемых теплоизоляторов выбран тестовый набор пластин с известными λ [5]: стекло оконное $\lambda_{ст} = (0,698-0,814) \text{ Вт/(м}^0\text{C)}$; дерево сосна поперек волокон $\lambda_{дп} = (0,14-0,16) \text{ Вт/(м}^0\text{C)}$; дерево сосна вдоль волокон $\lambda_{дв} = (0,35-0,4) \text{ Вт/(м}^0\text{C)}$; пенополиуретан (ППУ-32) с плотностью $\rho = 32 \text{ кг/м}^3$, $I_{ппу} = 0,023 \text{ Вт/(м}^0\text{C)}$.

Результаты вычислений по каждому из вышеперечисленных материалов представлены в табл. 1-5, а для «TSM-ceramic» для наглядности ещё и на рис. 6, где сплошные линии представляют зависимость вычисляемого $\lambda(\tau)$ от длительности нагрева ППП. Пунктирные линии показывают нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала результатов измерений λ для каждого материала.

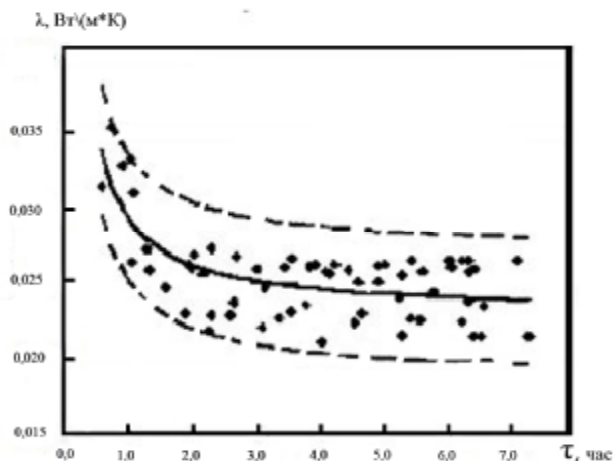


Рис. 6. Результаты измерений $\lambda_i^{\text{Э}}$ и табулирования $\lambda_i^{\text{П}}$ интерполяционной формулы (2) для тонкослойного теплоизолятора «TSM-Ceramic», а также нижняя и верхняя границы (пунктирные) максимально возможного отклонения результатов измерения $\lambda_i^{\text{Э}}$ от результатов вычисления $\lambda_i^{\text{П}}$

По экспериментальным данным с помощью способа средних точек метода наименьших квадратов (МНК) получена следующая интерполяционная зависимость $\lambda(\tau)$ вида:

$$\lambda^{\text{П}}(\tau) = a + b/\tau, \quad (2)$$

где a, b – параметры, определяемые из МНК, τ – время прогрева исследуемого материала.

Из (2) следует, что при длительности времени прогрева стремящейся к бесконечности, т.е. в реальных условиях переход на (стационарный) эксплуатационный режим, коэффициент теплопроводности исследуемого материала будет стремиться к величине свободного члена a , который и является результатом определения коэффициента теплопроводности ($\lambda_{\tau}^{\text{П}} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \lambda(\tau)$) при установившемся тепловом режиме.

По результатам экспериментальных исследований проведена статистическая обработка экспериментальных данных и рассчитаны [26]:

– сумма квадратов отклонений S (минимизируемая в МНК величина):

$$S = \sum_{i=1}^N (\lambda_i^{\text{П}} - \lambda_i^{\text{Э}})^2, \quad (3)$$

где $\lambda_i^{\text{Э}}$ – результат i -го измерения; $\lambda_i^{\text{П}}$ – результат вычисления коэффициента теплопроводности по интерполяционной формуле (2) для i -го измерения; N – количество выполненных измерений (различно для каждого образца);

– среднеквадратичное отклонение \bar{S} результатов N измерений величин $\lambda_i^{\text{Э}}$ от результатов $\lambda_i^{\text{П}}$:

$$\bar{S}(N, S) = \sqrt{S/(N-1)}; \quad (4)$$

– абсолютная величина максимального отклонения результата измерений $\lambda_i^{\text{Э}}$ от результата вычислений $\lambda_i^{\text{П}}$:

$$Dl_{\max} = \max |\lambda_i^{\text{П}} - \lambda_i^{\text{Э}}|, \quad i = \overline{1, N}; \quad (5)$$

– максимальное относительное отклонение e_{\max} (в долях \bar{S}) результатов N измерений величин $\lambda_i^{\text{Э}}$ от результатов $\lambda_i^{\text{П}}$, или максимальный доверительный интервал:

$$e_{\max} = Dl_{\max} / \bar{S}; \quad (6)$$

– доверительная вероятность a того, что результат выполненных N измерений попадет внутрь выбранного доверительного интервала e_{\max} (6), вычисленная по формуле Лапласа:

$$a = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{e_{\max}} e^{-x^2/2} dx. \quad (7)$$

Результаты λ_i^{\ominus} обработки по формуле (1) экспериментальных данных и вычислений по формуле (2) $\lambda_i^{\text{P}}(\tau)$ для стекла, дерева (сосна, поперек волокон), «ППУ-32» и «TSM-Seramic» представлены в табл. 1-4. Сплошные линии на рисунке 6 представляют зависимость $\lambda(\tau)$, рассчитываемой по формуле (2). Пунктирные линии показывают нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала для λ_i^{\ominus} для исследованного материала.

Таблица 1

Результаты измерений (λ_i^{\ominus}) и вычислений (λ_i^{P}) коэффициента теплопроводности стекла

№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}
1	0,49	0,83	0,80	10	2,43	0,60	0,68	19	4,80	0,68	0,66
2	0,94	0,67	0,73	11	2,85	0,70	0,67	20	4,92	0,68	0,66
3	0,94	0,67	0,73	12	2,98	0,66	0,67	21	4,96	0,73	0,66
4	0,98	0,71	0,72	13	3,24	0,59	0,67	22	5,14	0,68	0,66
5	1,04	0,78	0,72	14	3,33	0,74	0,67	23	5,36	0,73	0,66
6	1,08	0,73	0,72	15	3,85	0,70	0,66	24	5,55	0,59	0,66
7	1,53	0,70	0,70	16	3,97	0,74	0,66	25	5,80	0,72	0,66
8	1,88	0,68	0,69	17	4,19	0,69	0,66	26	6,04	0,58	0,66
9	2,39	0,66	0,68	18	4,79	0,58	0,66	27	7,24	0,59	0,65

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений коэффициента теплопроводности дерева (сосна, поперек волокон)

№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}
1	0,96	0,29	0,27	11	3,58	0,23	0,23
2	1,03	0,25	0,26	12	4,04	0,22	0,22
3	1,06	0,24	0,26	13	4,11	0,23	0,22
4	1,46	0,25	0,25	14	4,34	0,21	0,22
5	2,02	0,26	0,24	15	4,53	0,23	0,22
6	2,45	0,22	0,23	16	4,91	0,23	0,22
7	2,65	0,25	0,23	17	5,00	0,21	0,22
8	2,86	0,24	0,23	18	5,77	0,21	0,22
9	2,98	0,24	0,23	19	6,03	0,21	0,22
10	3,44	0,21	0,23				

Таблица 3

Результаты измерений и вычислений коэффициента теплопроводности пенополиуретана-32

№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	λ_i^{\ominus}	λ_i^{P}
1	0,49	0,042	0,041	9	3,55	0,023	0,022
2	1,05	0,029	0,029	10	3,89	0,022	0,022
3	1,52	0,024	0,026	11	4,12	0,021	0,022
4	2,03	0,023	0,024	12	4,32	0,021	0,022
5	2,15	0,023	0,024	13	4,44	0,022	0,021
6	2,74	0,022	0,023	14	4,57	0,021	0,021
7	3,00	0,022	0,023	15	4,70	0,023	0,021
8	3,46	0,022	0,022	16	5,44	0,023	0,021

Таблица 4

Результаты измерений и вычислений коэффициента теплопроводности «TSM Ceramic»

№ п/п	τ , час	$\lambda_i^{\text{Э}}$	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	$\lambda_i^{\text{Э}}$	λ_i^{P}	№ п/п	τ , час	$\lambda_i^{\text{Э}}$	λ_i^{P}
1	0,58	0,026	0,029	22	3,07	0,017	0,020	43	5,28	0,017	0,019
2	0,76	0,030	0,026	23	3,11	0,020	0,020	44	5,28	0,021	0,019
3	0,90	0,028	0,025	24	3,36	0,018	0,020	45	5,40	0,018	0,019
4	1,04	0,028	0,024	25	3,46	0,021	0,020	46	5,44	0,022	0,019
5	1,06	0,022	0,024	26	3,53	0,018	0,020	47	5,56	0,018	0,019
6	1,09	0,026	0,024	27	3,57	0,022	0,020	48	5,62	0,021	0,019
7	1,29	0,022	0,023	28	3,79	0,019	0,020	49	5,76	0,019	0,019
8	1,32	0,021	0,23	29	3,84	0,021	0,020	50	6,00	0,022	0,019
9	1,57	0,020	0,022	30	3,93	0,021	0,020	51	6,03	0,021	0,019
10	1,87	0,018	0,021	31	4,03	0,016	0,020	52	6,21	0,018	0,019
11	1,94	0,021	0,021	32	4,10	0,021	0,020	53	6,21	0,022	0,019
12	1,99	0,021	0,021	33	4,17	0,021	0,020	54	6,32	0,021	0,019
13	2,02	0,022	0,021	34	4,25	0,021	0,020	55	6,33	0,022	0,019
14	2,17	0,021	0,021	35	4,42	0,021	0,019	56	6,33	0,019	0,019
15	2,24	0,017	0,021	36	4,52	0,017	0,019	57	6,40	0,016	0,019
16	2,29	0,022	0,021	37	4,59	0,020	0,019	58	6,42	0,021	0,019
17	2,30	0,018	0,021	38	4,65	0,018	0,019	59	6,51	0,017	0,019
18	2,60	0,018	0,020	39	4,91	0,021	0,019	60	6,54	0,018	0,019
19	2,65	0,019	0,020	40	4,91	0,020	0,019	61	7,10	0,022	0,019
20	2,70	0,022	0,020	41	5,02	0,021	0,019	62	7,24	0,017	0,019
21	3,01	0,021	0,020	42	5,24	0,019	0,019				

Величины λ^{P} и $\lambda^{\text{Э}}$ исследованных материалов, а также статистические характеристики (3)-(7) точности экспериментальных результатов сведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты математической обработки выполненных измерений

	Стекло	Дерево	Пенополиуретан	TSM Ceramic
Интерполяционная функция $\lambda^{\text{P}}(\tau) = a + b/\tau$ (2)	0,64+0,08/ τ	0,21+0,05/ τ	0,016+0,016/ τ	0,018+0,006/ τ
Вычисленный коэффициент теплопроводности l при стационарном режиме теплопереноса	0,64	0,21	0,016	0,018
Сумма квадратов отклонений S (3)	0,077	0,0033	0,0659	0,0276
Среднеквадратичное отклонение \bar{S} (4)	0,0545	0,0135	0,005	0,0021
Максимальное абсолютное отклонение $D\lambda_{\text{max}}$ (5)	0,082 (12,8 %)	0,02 (10 %)	0,0011 (7 %)	0,004 (22 %)
Соответствующий доверительный интервал e_{max} (6)	1,51	1,56	2,065	2,013
Соответствующая доверительная вероятность a (7)	0,994	0,882	0,961	0,956

Для материала «стекло витринное» выполнено 27 измерений (табл. 1). С доверительной вероятностью $a=0,994$ экспериментальные результаты $\lambda_i^{\text{Э}}$ отклоняется от величин λ_i^{P} не более чем на 12,8 %.

Для материала « дерево – сосна, поперек волокон» выполнено 19 измерений (табл. 2). С доверительной вероятностью $\alpha = 0,882$ экспериментальные результаты λ_i^{\ominus} отклоняются от величин λ_i^{P} не более чем на 10 %.

Для материала « ППУ-32» выполнено 32 измерения (табл. 3). С доверительной вероятностью $\alpha = 0,961$ экспериментальные результаты λ_i^{\ominus} отклоняются от величин λ_i^{P} не более чем на 11 %.

Для материала « TSM-Ceramic» выполнено 62 измерения (табл. 4, рис. 6). С доверительной вероятностью $\alpha = 0,956$ экспериментальные результаты λ_i^{\ominus} отклоняются от величин λ_i^{P} не более чем на 7 %. Результаты исследования коэффициента теплопроводности « TSM-Ceramic» ($\lambda^{\text{P}} \approx 0,018$ Вт/(м⁰С) оказываются значительно выше рекламируемых в различных проспектах значений $l_{\text{TSM}} = 0,001$ Вт/(м⁰С) [19]

Для стационарного режима теплопереноса величины коэффициента теплопроводности λ представлены в табл. 5 строчкой ниже. В этой же таблице представлены результаты статистической обработки отклонений результатов измерений от λ_i^{\ominus} от λ , а именно: сумма квадратов отклонений S (3), среднеквадратичное отклонение \bar{S} (4) и соответствующие доверительный интервал ε_{max} (6) с доверительной вероятностью α (7).

Полученные зависимости $\lambda(\tau)$ (табл. 5) могут быть учтены при оценке потерь количества теплоты с момента начала работы объекта до выхода процесса теплопередачи на стационарный режим.

Подобный порядок коэффициентов теплопроводности получен также по таким тонкослойным теплоизоляторам как «Temp-coat», «ЖКТМ-броня», «Изоллат», «Теплокор», «Корунд», «Тепlos-top», «Astratec», «Moutrical» и др. [20-25].

Выводы

1. Величины абсолютных максимальных отклонений $D\lambda_{\text{max}}$ результатов измерений λ_i^{\ominus} коэффициентов теплопроводности тестовых теплоизоляторов от рассчитанных λ_i^{P} по интерполяционной формуле (2) находятся в пределах 10-13 %.

2. Сравнительно высокая величина доверительных вероятностей (от 0,88 до 0,99) показывает, что велика вероятность того, что из произведенного реального количества измерений 87-96 % результатов не выходят за границы максимальных отклонений $D\lambda_{\text{max}}$.

3. Для всех рассмотренных теплоизоляторов сочетание большой величины максимального абсолютного отклонения $D\lambda_{\text{max}}$ и сравнительно высокой доверительной вероятности α возможно связано с отклонением капиллярно-пористой структуры исследуемых материалов от структуры материалов, взятых из литературных источников, а также точностью измерительных приборов и возможными случайными погрешностями измерений.

4. Результаты экспериментальных исследований коэффициентов теплопроводности тонкослойных теплоизоляторов типа «TSM-Ceramic» показали, что они часто на порядок ($\lambda_{\text{P}} \approx 0,018$ Вт/(м⁰С), а иногда и более отличаются (в большую сторону) от рекламируемых в проспектах и некоторой литературе их значений ($l_{\text{TSM}}=0,001$ Вт/(м⁰С)).

Список библиографических ссылок

1. Патент на полезную модель РФ № 117618 от 27.06.12. «Устройство для измерения термopарами температуры между плоскими твердыми телами» / Правник Ю.И., Садыков Р.А., Манешев И.О., Ерёмин С.А.
2. Патент на изобретение РФ № 2478936 от 10.04.2013 «Способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий» / Правник Ю.И., Садыков Р.А., Иванова Р.Ф., Манешев И.О., Крайнов Д.В., Адаев Э.В.
3. Патент на изобретение РФ № 2490619 от 20.08.2013 «Способ определения коэффициента эффективности сверхтонких теплоизоляционных покрытий» / Правник Ю.И., Садыков Р.А., Иванова Р.Ф., Манешев И.О., Адаев Э.В.
4. Кудинов В.А., Калашников В.В., Карташов Э.М. и др. Тепломассоперенос и термоупругость. – М.: Энергоиздат, 1977. – 425 с.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – СПб.: АВОК северо-запад, 2006. – 400 с.

6. Патент на изделие РФ 2144595. Бюл. № 2. 20.01.2000. «Вакуумное теплоизоляционное изделие» / Кокоев М.Н., Федоров В.Т.
7. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий: АВОК, 2006. – 287 с.
8. Зайдель А.М.. Ошибки измерений физических величин: Лань, 2009. – 112 с.
9. Труды XII Международного симпозиума « Энергоресурсоэффективность и энергосбережение», часть II. – Казань, 2011. – С. 65-67.
10. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен. – Л.: АСВ, 2005. – 460 с.
11. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твёрдых тел. – М.: Высшая школа. 2001 – 550 с.
12. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий/ Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа. 1989 – 384 с.
13. Шведов В.Ф. Теплопроводность низкотемпературной теплоизоляции // Холодильная техника, 2006, № 1. – С. 2-4.
14. Caps R., Friscke J. Vakuumdammungen in der Anwendung, 5 Passivhaus Tagung, Reutlingen, Februar, 2001. – P. 247-254.
15. Armin Binz Hightech-Materialen von dem Durchbruch. 9 Passivhaus Tagung Ludvigshafen. 2005. – P. 219-224.
16. Ferie A. Einsatz von Vacuumdammung in Hochbau. 8 Europäische Passivhaustagung. Krems. Austria, 2004. – P. 171-177.
17. Diefenbach N. Modernisierung von Zweifamilienhausern auf unterschiedliche energetische Standards unter einatz von Grobelementn mit Vacuumdammung. 9 Internationale Passivhaustagung, 2006. – Hannover. – P. 63-68
18. URL: <http://www.ppu21.ru/article/366.html?mc=192> (дата обращения: 01.06.2015).
19. URL: <http://www.tsmceramic> (дата обращения: 01.06.2015).
20. URL: <http://www.teplo-energo.com> (дата обращения: 05.06.2015).
21. URL: <http://www.bronyad3b.ru> (дата обращения: 05.06.2015).
22. URL: <http://www.isollat.ru> (дата обращения: 05.06.2015).
23. URL: <http://www.riforn.ru> (дата обращения: 07.06.2015).
24. URL: <http://www.tempcoat.com/uploads/%20Application%20Procedures.pdf> дата обращения: 07.06.2015).
25. Злобин А.А. Примеры энергетического обследования промышленных предприятий // Практика энергоаудита и энергосбережения, 2008, № 4(8). – С. 20-21.

Sadykov R.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: Sadykov_r_a@mail.ru

Maneshev I.O. – post-graduate student

E-mail: ivan-maneshev@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organizations address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Research of heat conductivity coefficients of thin layer heat insulators

Resume

One of the ways of power saving is the reduction of the amount of heat loss from their place of generation to the place of consumption. For this purpose an active search for new high-performance thin-layer thermal insulation materials that meet modern requirements is carried out. Proper and accurate measurement of the thermal conductivity of these materials is of great practical importance, both in the industrial power system, as well as in industrial construction.

Experimental setup for the study of thermal conductivity coefficients of one and many layered thin-walled heat-insulators has been designed, implemented and tested. The article describes this installation. For the stationary heat transfer process the thermal heat coefficients have been studied for a package of parallel-sided plates including standard (polyurethanes of various densities, wood along and across the fiber. etc.) as well as the new thin-layers heat-insulators («TSM-Ceramic», «Temp-coat», «JKTM-bronya», «Izollat», «Teplokor» etc). The method of the least squares has been used for the statistical analysis of the research results such as calculation of the standard deviation. absolute value of the maximum deviation. acceptable

probability and other statistical characteristics. Evaluation of the measurement's precision and the resulting experimental data has been conducted. The research results of the study of thermal conductivity coefficients of the thin-layered heat-insulators of the «TSM-Ceramic» ($\lambda_p \approx 0,018 \text{ Wt/(m}^0\text{C)}$) type has shown that their values differ by an order of magnitude and more from the advertised values in catalogues and some literature ($t_{sm}=0,001 \text{ Wt/(m}^0\text{C)}$).

Keywords: installation, experiment, heat-insulator, heat stream, thermal conductivity coefficient, measurement, precision, adequacy.

Reference list

1. Patent for useful model RF № 117618 от 27.06.12. «The device for measurement by temperature thermocouples between flat solid bodies» / Pravnik Yu.I., Sadykov R.A., Maneshev I.O., Eryomin S.A.
2. Patent for useful model RF № 2478936 от 10.04.2013 «Way of determination of coefficient of heat conductivity of super thin liquid heat-insulating coverings» / Pravnik Yu.I., Sadykov R.A., Ivanova R.F., Maneshev I.O., Kraynov D.V., Adayev E.V.
3. Patent for useful model RF № 2490619 от 20.08.2013 «Way of determination of effectiveness ratio of superthin heat-insulating coverings» / Pravnik Yu.I., Sadykov R.A., Ivanova R.F., Maneshev I.O., Adayev E.V.
4. Kudinov V.A., Kalashnikov V.V., Kartashov E.M., etc. heat and mass transfer and thermoelasticity. – M.: Energoizdat, 1977. – 425 p.
5. Bogoslovsky V.N. Building Thermophysics. – SPb. Ed.-in «AVOK North-West», 2006. – 400 p.
6. Patent for the product Russian Federation 2144595. Bulletin № 2, 20.01.2000. «A vacuum heat-insulating product» / Kokoyev M.N., Fedorov V.T.
7. Fokin K.F. Building heat engineering enclosing parts of the buildings: AVOK, 2006. – 287 p.
8. Seidel A.M. measurement Errors of physical quantities: LAN, 2009. – 112 p.
9. Works of the XII International symposium «Energy efficiency and energy saving» part II – Kazan, 2011. – P. 65-67.
10. Bryukhanov O.N., Shevchenko S.N. Heat and mass transfer. – L.: DIA, 2005. – 460 p.
11. Kartashov E.M. Analytical methods in the theory of thermal conductivity of solids. – M.: Higher school, 2001. – 550 p.
12. Gorlov Yu.P. Tekhnologiya of heat-insulating and acoustic materials and products. – M.: Higher school, 1989. – 384 p.
13. Swedes V.F. Teploprovodnost of low-temperature thermal insulation // Refrigerating equipment, 2006, № 1. – P. 2-4.
14. Caps R., Friscke J. Vakuumdammungen in der Anwendung. 5 Passivhaus Tagung. Reutlingen, Februar, 2001. – P. 247-254.
15. Armin Binz Hightech-Materialen von dem Durchbruch. 9 Passivhaus Tagung Ludvigshafen, 2005. – P. 219-224.
16. Ferie A. Einsatz von Vakuumdammung in Hochbau. 8 Europaische Passivhaustagung. Krems. Austria. 2004. – P. 171-177.
17. Diefernbach N. Modernisierung von Zweifamilienhausern auf unterschiedliche energetische Standards unter einatz von Grobelementn mit Vakuumdammung. 9 Intemationale Passivhaustagung, 2006. – Hannover. – P. 63-68
18. URL: <http://www.ppu21.ru/article/366.html?mc=192> (reference date: 01.06.2015).
19. URL: <http://www.tsmceramic> (reference date: 01.06.2015).
20. URL: <http://www.teplo-energo.com> (reference date: 05.06.2015).
21. URL: <http://www.bronyad3b.ru> (reference date: 05.06.2015).
22. URL: <http://www.isollat.ru> (reference date: 05.06.2015).
23. URL: <http://www.riforn.ru> (reference date: 07.06.2015).
24. URL: <http://www.tempcoat.com/uploads/%20Application%20Procedures.pdf> (reference date: 07.06.2015).
25. Zlobin A.A. and others. Examples of power inspection of the industrial enterprises // Praktika energoaudita i energosberezheniya, 2008, № 4 (8). – P. 20-21.