

---

# ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

---

УДК 536.2.08:536.082.62:536.082.64:53.087.45  
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-578-583

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БАЗАЛЬТО-АРМИРОВАННОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

К. Н. БОЛЬШЕВ, В. А. ИВАНОВ, А. В. МАЛЫШЕВ, А. А. СТЕПАНОВ

*Институт физико-технических проблем Севера СО РАН им. В. П. Ларионова,  
677980, Якутск, Россия  
E-mail: k.bolshev@mail.ru*

Представлены полученные методом стационарного теплового режима результаты измерений эффективной теплопроводности и сопротивления теплопередаче пластины, изготовленной из базальто-армированного композиционного материала. Высокопрочная армированная плита обладает практически такой же эффективной теплопроводностью, как „классические“ теплоизоляционные материалы (стекловаты, шлаковаты), не обладающие необходимой прочностью. В экспериментах применяются климатическая камера, прецизионный преобразователь сигналов „Теркон“ и нестандартные преобразователи теплового потока типа ПТП-1Б со встроенными датчиками температуры. Первичные данные, необходимые для расчета теплопроводности, получены с помощью программы, разработанной в среде Borland Delphi 7 в виде приложения Windows.

**Ключевые слова:** преобразователь теплового потока, теплопроводность, стационарный тепловой режим, базальто-армированный композитный материал, прецизионный преобразователь сигналов, климатическая камера

**Введение.** Базальтовые материалы в настоящее время все шире применяются в строительстве, кораблестроении, авиации, космической технике, теплоэнергетике, радиоэлектронике и т.д. [1]. Во всех этих областях базальтовые материалы незаменимы ввиду целого ряда свойств, таких как механическая прочность, устойчивость к коррозии и химическая стойкость, низкая гигроскопичность.

Малый вес арматуры, созданной на основе базальто-волоконистых материалов, несомненно, является преимуществом. Кроме того, низкий коэффициент линейного расширения [2] такой арматуры позволяет использовать ее в широком диапазоне температуры: от  $-70$  до  $+180$  °С.

Цель настоящей работы — определение эффективной теплопроводности композиционной пластины, усиленной армированными базальто-волоконными стержнями, применяемой в качестве конструкционного элемента при постройке экранопланов, эксплуатирующихся в условиях низких температур.

**Структура композитной пластины.** Композитная пластина размером  $203 \times 303 \times 25$  мм предоставлена для исследования ООО „Небо+море“. Пластина состоит из прямоугольных ячеек, сформированных перегородками из стеклопластика (стекловолокно со связующей эпоксидной смолой). Ячейки заполнены пенополиуретановым наполнителем. На обе стороны

пластины нанесен слой шпона, приклеенный эпоксидной смолой, снаружи плита покрыта стеклопластиком. Пластина армирована базальто-волоконным стержнем диаметром 12 мм, который лежит в плоскости, ориентированной перпендикулярно потоку тепла (композитная пластина: рис. 1, а — вид сбоку; б — вид сверху). Данные по объемным долям компонентов пластины приведены в табл. 1.

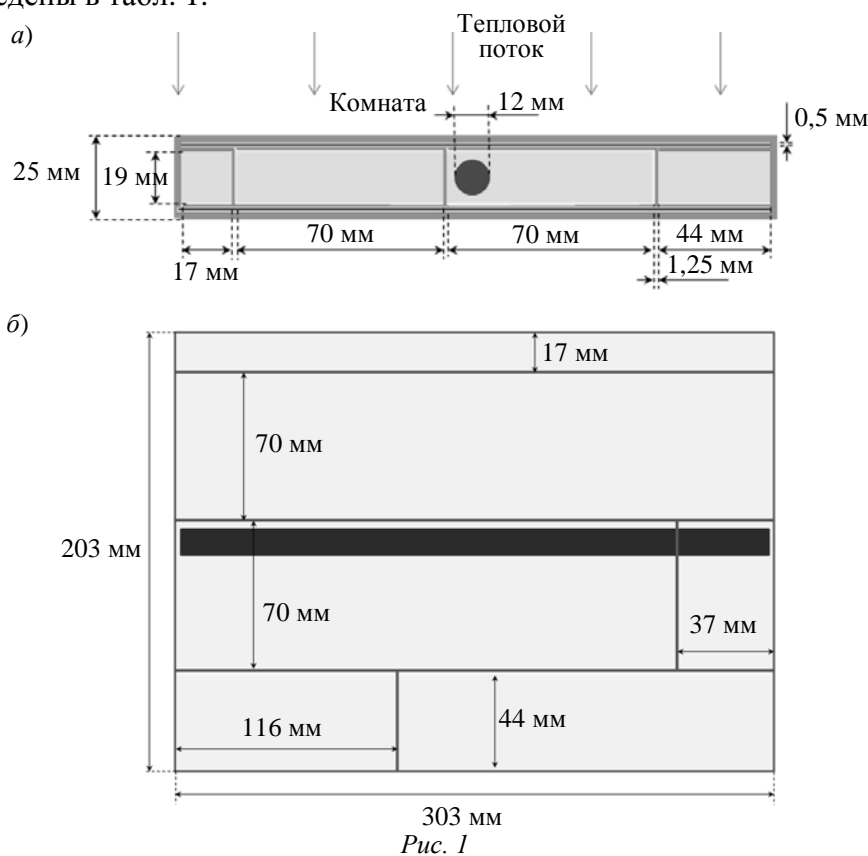


Рис. 1

Таблица 1

Состав композитной пластины	
Компонент	Объемная доля, %
Пенополистирольный наполнитель	70,9
Базальто-волоконный стержень	2,2
Стеклопластиковые оболочка и перегородки	23,1
Шпон березовый	3,8

**Методика определения теплопроводности базальто-армированного композиционного материала.** Определять эффективную теплопроводность базальто-армированной композиционной пластины на серийном приборе ИТ-λ-400 не представляется возможным, поэтому ее определяли стационарным методом согласно ГОСТ 7076-99\*. Для создания постоянного перепада температур по толщине образца применялась климатическая камера BINDER МК-53, рабочий диапазон температур которой составляет от –40 до +180 °С, а точность термостатирования ±1 °С. В камере одна сторона пластины находится при температуре –38,5 °С, а вторая — при комнатной температуре.

Регистрация температуры и теплового потока проводилась многоканальным прецизионным преобразователем сигналов „Теркон“. Преобразователь сопряжен с IBM PC через последовательный интерфейс типа RS-232C, он регистрирует данные измерений тепловых потоков и температур и представляет их в виде таблицы или графика.

\* ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.

Для измерения теплового потока применялись преобразователи ПТП-1Б, разработанные Институтом технической теплофизики НАН Украины (Киев). ПТП-1Б представляет собой круглую тонкую пластину с шестью выводами, выполненную из текстолита, диаметром 100 мм и толщиной 2 мм. ПТП-1Б содержит также термометр сопротивления, где в качестве чувствительного элемента используется платина Pt100 с номинальной статической характеристикой  $W_{100} = 1,385$ . Номинальное значение термометра сопротивления при 0 °С составляет 100 Ом. Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения теплового потока  $\pm 4 \%$ , а предел допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры  $\pm 0,5$  К. Такой комбинированный датчик позволяет получить информацию по двум величинам — температуре и тепловому потоку.

**Экспериментальная установка.** Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Для размещения образца в граничной плоскости между камерой и комнатой был изготовлен экран из экструдированного пенополистирола размером 550×550×100 мм с проемом в центре под размеры образца пластины. На образец в центре пластины с двух сторон были установлены датчики ПТП-1Б. Выводы датчиков теплового потока подключаются к коммутаторам входных сигналов, подключение термометров сопротивления выполняется по четырехпроводной электрической схеме. Опрос и регистрация данных производится посредством программы, разработанной в среде Delphi как приложение для операционной системы Windows [3].

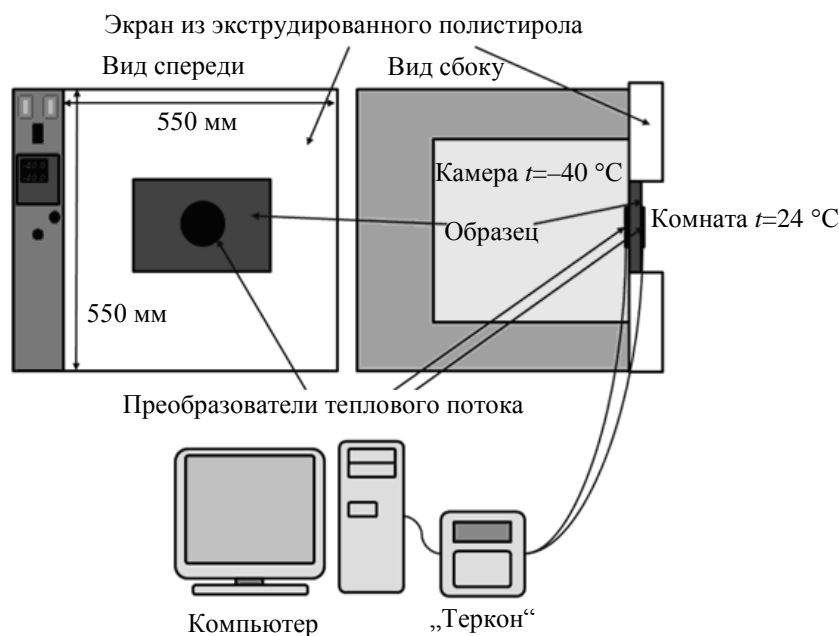


Рис. 2

Результаты изменения температуры и тепловых потоков на обеих поверхностях пластины выводятся на экран компьютера. Регистрация и запись данных продолжается до и после установления стационарного теплового режима и достижения заданной температуры в климатической камере  $-38,5$  °С, и затем еще в течение около получаса. Было проведено несколько серий экспериментов, продолжительность каждого составляла около двух часов.

**Результаты испытаний.** Величину термического сопротивления теплопередаче определяем по формуле:

$$R_k = \frac{t_2 - t_1}{\bar{q}}, \quad (1)$$

где  $t_2$ ,  $t_1$  — температура на теплой и холодной поверхностях пластины, °С;  $\bar{q}$  — усредненная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>, определяемая по формуле:

$$\bar{q} = \frac{u_2 K_2 + u_1 K_1}{2}, \quad (2)$$

где  $u_2$ ,  $u_1$  — напряжения с двух тепломеров, мВ;  $K_2$ ,  $K_1$  — соответствующие им значения коэффициентов преобразования, Вт/(м<sup>2</sup>·мВ).

Значение эффективной теплопроводности пластины определяется по формуле

$$\lambda = \frac{h}{R_k}, \quad (3)$$

где  $h$  — толщина пластины, м;  $R_k$  — рассчитанное по формуле (1) термическое сопротивление теплопередаче, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

На рис. 3, 4 представлены графики изменения температуры и плотности тепловых потоков на теплой и холодной поверхностях пластины.

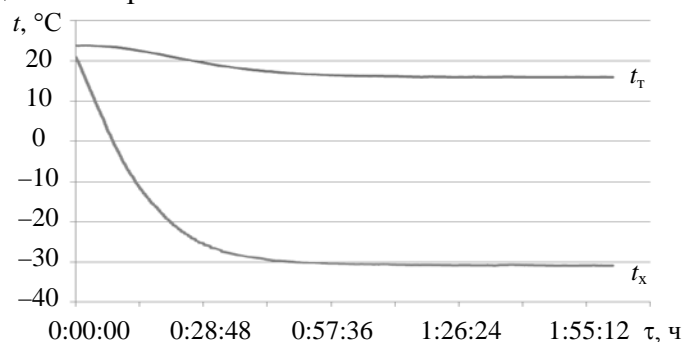


Рис. 3

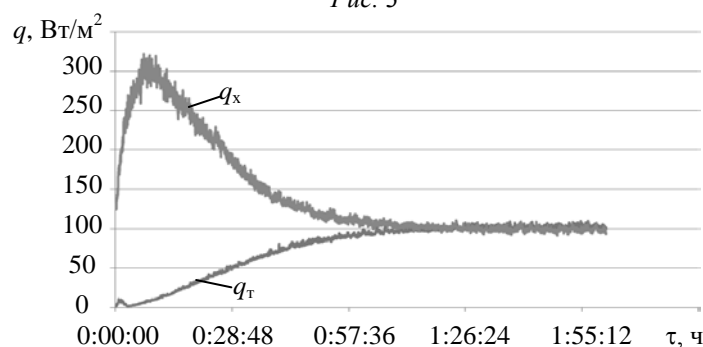


Рис. 4

Результаты экспериментального определения термического сопротивления и эффективной теплопроводности базальто-композиционного материала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения термического сопротивления  
и эффективной теплопроводности пластины

№	$R_{k_2}$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	$\bar{R}_k$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	$\bar{\lambda}$ , Вт/(м·°С)
1	0,450	0,46	0,055	0,054
2	0,467		0,053	
3	0,462		0,054	
4	0,441		0,057	
5	0,475		0,052	

**Выводы.** Получены новые экспериментальные данные по эффективной теплопроводности панелей — плит из композитного материала ячеистой структуры с пенополистирольным наполнителем и армированным базальто-волоконным стержнем. Такие плиты можно отнести к классу упрочненных теплоизоляционных материалов.

Таким образом, наряду с вышеперечисленными свойствами применяемый при построении экранопланов исследуемый композиционный материал обладает также свойствами теплоизоляционных материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оснос С. П.* О характеристиках базальтовых волокон и областях их применения [Электронный ресурс]: <<http://basaltfm.com/ru/articles/article01.html>>.
2. *Оснос С. П., Садков В. Н., Киселев М. Н.* Коэффициент линейного расширения базальтопластика [Электронный ресурс]: <<http://www.specpolymer.com/arm/articles/pages6.php>>.
3. *Малышев А. В., Степанов А. В.* Определение термического сопротивления теплопередаче слоя жидкого керамического теплоизоляционного покрытия „Броня“ // IV Междунар. науч.-практ. конф. „Современные концепции научных исследований“. М., 26—27 сентября 2014. № 6, Ч. 6. С. 40—43.

#### Сведения об авторах

- Константин Николаевич Большев** — канд. техн. наук, доцент; Институт физико-технических проблем Севера СО РАН им. В. П. Ларионова, отдел тепломассообменных процессов; старший научный сотрудник; E-mail: k.bolshev@mail.ru
- Василий Алексеевич Иванов** — канд. техн. наук; Институт физико-технических проблем Севера СО РАН им. В. П. Ларионова, отдел тепломассообменных процессов; старший научный сотрудник; E-mail: v.ivanov49@mail.ru
- Алексей Владимирович Малышев** — канд. техн. наук, доцент; Институт физико-технических проблем Севера СО РАН им. В. П. Ларионова, отдел тепломассообменных процессов; научный сотрудник; E-mail: a.v.malyshev@iptn.ysn.ru
- Анатолий Анатольевич Степанов** — канд. техн. наук; Институт физико-технических проблем Севера СО РАН им. В. П. Ларионова, отдел тепломассообменных процессов; научный сотрудник; E-mail: stepanov-a.a@mail.ru

Рекомендована Институтом  
физико-технических проблем Севера

Поступила в редакцию  
12.03.16 г.

**Ссылка для цитирования:** *Большев К. Н., Иванов В. А., Малышев А. В., Степанов А. А.* Определение эффективной теплопроводности базальто-армированного композитного материала методом стационарного теплового режима // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 7. С. 578—583.

### EVALUATION OF EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF BASALT-FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL BY THE METHOD OF STATIONARY THERMAL MODE

K. N. Bolshev, V. A. Ivanov, A. V. Malyshev, A. A. Stepanov

V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, the Siberian Branch of the RAS,  
677980, Yakutsk, Russia  
E-mail: k.bolshev@mail.ru

Effective thermal conductivity and thermal resistance of a plate fragment made of basalt-fiber reinforced composite material are derived from stationary thermal mode measurement data. The experimental setup includes a climate chamber, precision signal converter Tercon, and special thermal flux converters PTP-1B with built-in temperature sensors. Initial data for calculation of thermal conductivity has been obtained with the use of computer code developed in Borland Delphi 7 as a Windows application. High strength reinforced plate is reported to have almost the same effective thermal conductivity as the "classic" thermal insulation materials (glass wool, slag wool) which do not possess the required strength.

**Keywords:** heat flow converter, thermal conductivity, steady-state thermal condition, basalt-fiber reinforced composite materials, precision signal converter, climate chamber

#### Data on authors

- Konstantin N. Bolshev** — PhD, Associate Professor; V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Department of Heat and Mass Transfer Processes; Senior Scientist; E-mail: k.bolshev@mail.ru

- Vasily A. Ivanov** — PhD; V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Department of Heat and Mass Transfer Processes; Senior Scientist; E-mail: v.ivanov49@mail.ru
- Aleksey V. Malyshev** — PhD, Associate Professor; V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Department of Heat and Mass Transfer Processes; Senior Scientist; E-mail: a.v.malyshev@iptpn.ysn.ru
- Anatoly A. Stepanov** — PhD; V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Department of Heat and Mass Transfer Processes; Scientist; E-mail: stepanov-a.a@mail.ru

**For citation:** *Bolshev K. N., Ivanov V. A., Malyshev A. V., Stepanov A. A.* Evaluation of effective thermal conductivity of basalt-fiber reinforced composite material by the method of stationary thermal mode // *Izv. vuzov. Priborostroyeniye*. 2016. Vol. 59, N 7. P. 578—583 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-578-583