

# **ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

**Д.П. Волков, кандидат технических наук, доцент;**

**Ю.П. Заричняк, доктор физико-математических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский национальный университет информационных технологий, механики и оптики.**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены результаты экспериментального исследования теплопроводности ряда высокопористых волокнистых материалов, которые применяются в качестве тепловой и акустической изоляции корпусов, трубопроводов, противопожарных перегородок в авиационной, космической, судостроительной промышленности и ядерной энергетике.

*Ключевые слова:* теплопроводность, волокна, эксперимент, композиционный материал, температура

## **HEAT CONDUCTION OF FIBROUS THERMAL PROTECTION MATERIALS. EXPERIMENTAL STUDY**

D.P. Volkov; Yu.P. Zarichnyak.

Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

N.N. Romanov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

An experimental study of the thermal conductivity range of highly fibrous materials, which are used as thermal and acoustic insulation of buildings, pipelines, fire walls in the aviation, aerospace, shipbuilding and nuclear power.

*Keywords:* heat conduction, fibre, experiment, composite material, temperature

### **Объекты исследования**

Волокнистые материалы представляют собой отдельный класс гетерогенных систем с характерными особенностями структуры. За редким исключением волокнистые материалы имеют искусственное происхождение, и поэтому их можно считать композиционными материалами. Отдельной чертой волокнистых систем является значительная вытянутость волокон, нитей или пряжей (отношение длины к размерам поперечного сечения достигает 400 и более). Применяются в различных отраслях промышленности, теплоэнергетике, авиастроении, в сельском хозяйстве, жилищном строительстве и оборудовании АЗС. Могут быть использованы как при устройстве вентилируемых фасадов, так и при утеплении фасадов ранее построенных зданий путём раскатки полотен по вертикали и защитой базальтофибробетонными плитами с креплением специальными дюбелями или по направляющим. Они являются негорючими, нетоксичными и экологически безопасными, поэтому применяются в учреждениях здравоохранения и образования. Экологическая чистота материала позволяет утеплить стенки изнутри помещений, что позволит значительно увеличить энергоэффективность [1]. Низкая теплопроводность в широком диапазоне температур ( $T < 2500$  К), удобство монтажа, высокая вибростойкость и низкая плотность (80–200 кг/м<sup>3</sup>) обусловили широкое применение этих композиционных материалов.

Предложенные для исследования материалы представляют собой звуко- и теплоизоляционные плиты, которые используются для зашивки судовых помещений модульными блоками с выносной изоляцией, что существенно образом изменяет традиционные решения в области судостроения, исключает большую часть работ по монтажу изоляции непосредственно на судне за счёт переноса монтажа на судостроительные верфи.

Теплозащитные материалы (ТЗМ-100, ТЗМ-150) и теплоизоляционный материал (ТИ), изготовлены на основе ваты энергетической, получаемой электроплавлением горных пород (базальт, каолин). Рабочие температуры до 700 °С. Эти материалы предназначаются для изоляции энергетического оборудования при температурах 120–400 °С.

Физические параметры данных материалов:  $d_B$  – диаметр волокна;  $\rho$  – плотность материала;  $m_2$  – пористость материала;  $L_{СЛ}$  – толщина слоя;  $L_B$  – длина волокна;  $\varepsilon$  – степень черноты волокон, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физические параметры данных материалов

Параметр и свойство Материал	$d_B$ , мкм	$L_B$ , м	$L_{СЛ}$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$m_2$	$\varepsilon$
ТЗМ-100	6	0,03	0,01	100	0,950	0,9
ТЗМ-150	6	0,03	0,01	150	0,925	0,9
ТИ	10	0,03	0,01	150	0,950	0,9

### Экспериментальная техника

Измерения теплопроводности волокнистых материалов велись с помощью сравнительного  $\lambda$ -калориметра методом стационарного теплового потока [2]. На рис. 1. изображена принципиальная схема используемого для измерений теплопроводности  $\lambda$ -калориметра.

На рис. 1: 1, 2 – металлические блоки из дюралюминия, окружённые изоляцией из пенопласта 9. Каждый из блоков подсоединён к жидкостному термостату. Контактные поверхности блоков притёрты с необходимой чистотой обработки.

Образец 8 находится между двумя тепломерами 3 и 4. Каждый тепломер состоит из дюралюминиевых пластинок 5 и 6 толщиной 2,6 мм и рабочего слоя тепломера 7 толщиной 2,1 мм, выполненного из полиметилметакрилата (оргстекло). Диаметры тепломеров и образцов – равны. Тепломеры используются для регистрации входящего в образец и выходящего из него тепловых потоков. В контактные пластины тепломеров вмонтированы медь-константановые термопары. Они соединены дифференциально и позволяют измерять перепад температур на рабочем слое тепломеров  $\nu_{T1}$  и  $\nu_{T2}$ . Перепад температур на образце регистрируется с помощью дифференциальной термопары  $\nu_{OБР}$ . Диаметр тепломеров 40 мм. Все термопары подсоединены к блоку холодных спаев (БХС). Показания термопар регистрировались цифровым вольтметром Ф-136. Для уменьшения бокового теплообмена зазор между верхним и нижним блоками закрывался слоем поролоновой изоляции. Вся установка была помещена в теплоизоляционную камеру, в которой поддерживалась температура, равная средней температуре образца в опыте.

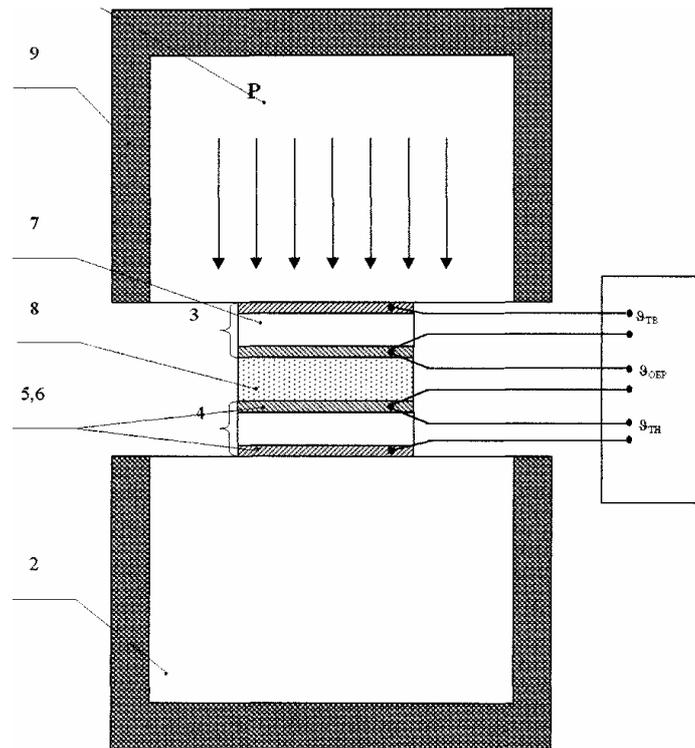


Рис. 1. Принципиальная схема  $\lambda$ -калориметра

Рассмотрим рабочую формулу для расчёта эффективного коэффициента теплопроводности пористых материалов [2].

Тепловой поток  $Q_{\text{пол}}$ , протекающий от горячей пластины к холодной через образец, равен потоку  $Q_{\text{изм}}$ , измеряемого тепломером. Поток потерь через боковую поверхность образца и элементов конструкции будем считать равным нулю. Поток, проходящий через образец, можно вычислить по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = \frac{\lambda_{\text{эф}}}{\delta_{\text{ОБР}}} \cdot \mathcal{G}_{\text{ОБР}} \cdot S_{\text{ОБР}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{эф}}$  – эффективный коэффициент теплопроводности исследуемого материала, Вт/м·К;  $\delta_{\text{ОБР}}$  – высота образца, м;  $\mathcal{G}_{\text{ОБР}}$  – перепад температуры на поверхностях образца, К;  $S_{\text{ОБР}}$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Измеряемый тепломером тепловой поток вычисляется следующим образом:

$$Q_{\text{изм}} = \frac{\lambda_{\text{изм}i}}{\delta_{\text{изм}i}} \cdot \mathcal{G}_{\text{Т}i} \cdot S_i, \quad (2)$$

где  $\lambda_{\text{изм}i}$  – теплопроводность рабочего слоя  $i$ -го тепломера, Вт/м·К;  $\delta_{\text{изм}i}$  – высота этого слоя, м;  $\mathcal{G}_{\text{Т}i}$  – перепад температуры на тепломере 1 или 2, К;  $S_i$  – площадь поперечного сечения тепломера, м<sup>2</sup>.

С учётом соотношений (1) и (2) уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$\frac{\lambda_{\text{эф}}}{\delta_{\text{ОБР}}} \cdot \mathcal{G}_{\text{ОБР}} \cdot S_{\text{ОБР}} = \frac{\lambda_{\text{изм}i}}{\delta_{\text{изм}i}} \cdot \mathcal{G}_{\text{Т}i} \cdot S_i. \quad (3)$$

Из выражения (3) можно определить значение эффективного коэффициента теплопроводности исследуемого образца:

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_{ИЗi}}{\delta_{ИЗi}} \cdot \frac{q_{Ti}}{q_{ОБР}} \cdot \frac{S_{Ti}}{S_{ОБР}} \cdot \delta_{ОБР} \quad (4)$$

Если принять, что  $\frac{\lambda_{ИЗi}}{\delta_{ИЗi}} = A_i$ , то (4) примет вид:

$$\lambda_{эф} = A_i \cdot \frac{q_{Ti}}{q_{ОБР}} \cdot \frac{S_{Ti}}{S_{ОБР}} \cdot \delta_{ОБР}, \quad (5)$$

где  $A_i$  – постоянная данного тепломера, значение которой устанавливается из градуировочных опытов. При известных значениях  $A$  для определения  $\lambda_{эф}$  необходимо измерить в опыте:

- 1)  $v_{Ti}$  – перепад температуры на тепломере;
- 2)  $v_{обр}$  – перепад температуры на образце.

Два показания перепадов на тепломерах  $v_{T1}$  и  $v_{T2}$  будем использовать для получения среднего значения  $\lambda_{эф}$ , то есть:

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_{T1} + \lambda_{T2}}{2} \quad (6)$$

Образцы имели форму плоских дисков. Градуировочные опыты с целью получения значений постоянных тепломеров  $A_i$  проводились на эталонных образцах из пенополистирола ПС-1-150.

Эксперименты проводились со следующими материалами:

1. Образец ТЗМ-100, вырезанный параллельно расположению волокон.
2. Образец ТЗМ-100, вырезанный перпендикулярно расположению волокон.
3. Образец ТЗМ-150, вырезанный параллельно расположению волокон.
4. Образец ТЗМ-150, вырезанный перпендикулярно расположению волокон.
5. Образец И, вырезанный параллельно расположению волокон.
6. Образец ТИ, вырезанный перпендикулярно расположению волокон.

Эксперименты проводились при следующих температурах:

$t_{cp}=25$  °С,  $t_{cp}=50$  °С,  $t_{cp}=75$  °С,  $t_{cp}=90$  °С.

Таблица 2. **Параметры образцов**

Образец	Толщина $\delta \cdot 10^{-3}$ , м	Диаметр $d \cdot 10^{-3}$ , м
ТЗМ-100	8,4	40
ТЗМ-100	7,5	40
ТЗМ-150	9,1	40
ТЗМ-150	8,9	40
ТИ	8,9	40
ТИ	8,2	40

Результаты измерений теплопроводности исследуемых материалов от температуры представлены на рис. 2–4.

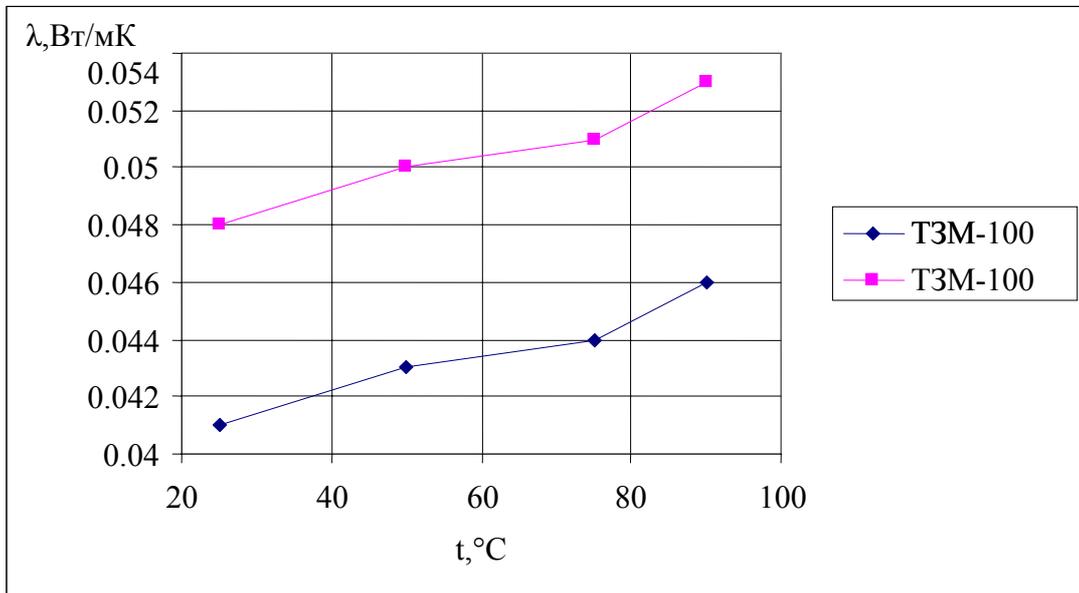


Рис. 2. Зависимость теплопроводности материала ТЗМ-100 от температуры

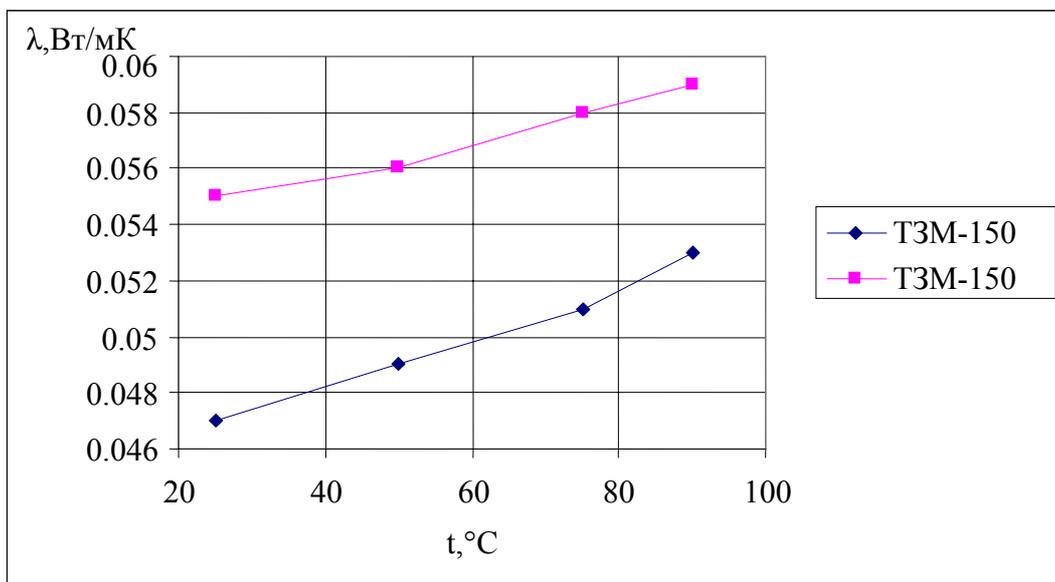


Рис. 3. Зависимость теплопроводности материала ТЗМ-150 от температуры

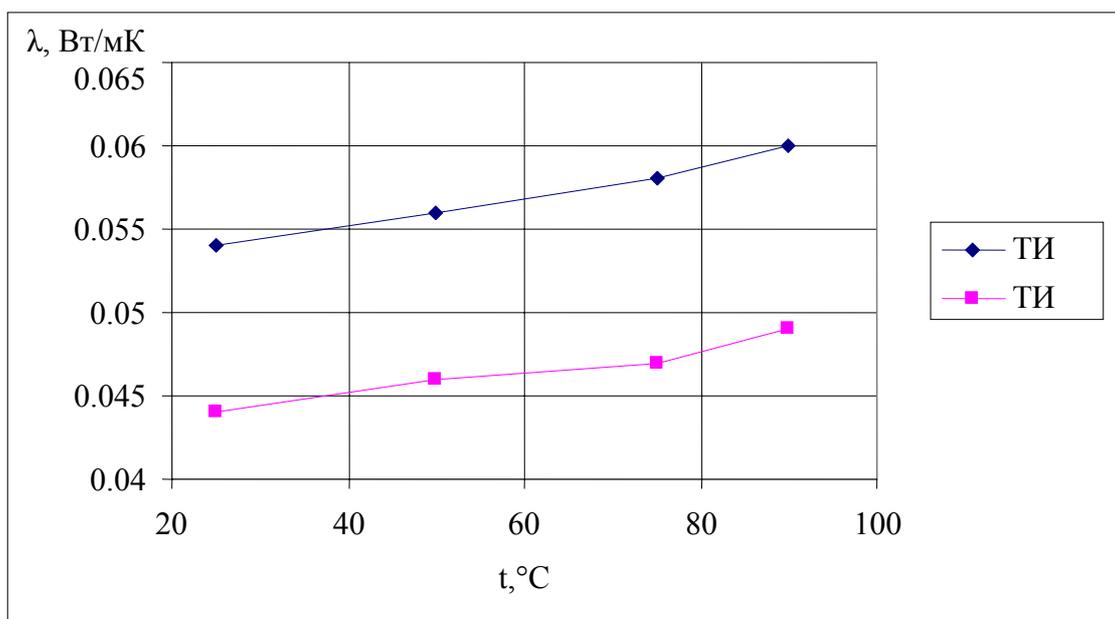
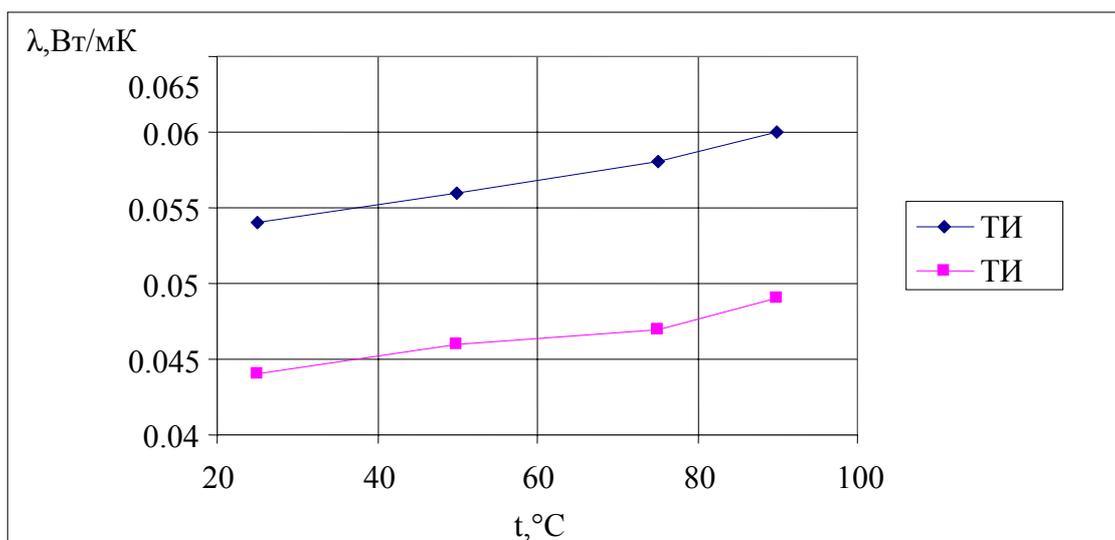


Рис. 4. Зависимость теплопроводности материала ТИ от температуры

Анализ результатов измерений показал, что:

- с увеличением температуры теплопроводность волокнистых материалов монотонно возрастает (рис. 2–4);
- с увеличением плотности (уменьшением пористости) теплопроводность исследованных материалов возрастает (рис. 2–3);
- образцы, вырезанные параллельно преимущественному расположению волокон, имеют более высокую теплопроводность, чем образцы, вырезанные перпендикулярно расположению волокон.

#### Литература

1. Теплозащитные конструкции из минеральных волокон // COMPOSITES MARKET. URL: <http://www.b-composites.net/78.html> (дата обращения: 02.10.2013).

2. Теплофизические измерения: учеб. пособие / Е.С. Платунов [и др.]; под ред. Е.С. Платунова. СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т низкотемп. и пищ. технол., 2010. 738 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА**

**А.В. Иванов, кандидат технических наук;**  
**Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**  
**Р.Р. Гарифулин.**  
**ФГКУ «3 отряд федеральной противопожарной службы по Самарской области»**

Показана эффективность применения частотно-модулированного потенциала для снижения коррозионной активности среды, что подтверждается исследованием методом сканирующей зондовой микроскопии.

*Ключевые слова:* сканирующая зондовая микроскопия, коррозия, частотно-модулированный потенциал

## **SCANNING PROBE MICROSCOPE STUDIES OF THE CORROSION PROCESS AT VARIABLE FREQUENCY MODULATED POTENTIAL**

A.V. Ivanov; G.K. Ivakhnyuk.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
R.R. Garifulin.  
FGKU «3 federal fire fighting service group in Samara region»

The application of the method of scanning probe microscopy is possible to assess the effectiveness of electrophysical method of process control corrosion.

*Keywords:* scanning probe microscopy, corrosion, electro management method

Одной из основных причин разрушения оборудования нефтегазового комплекса и возникновения вследствие этого чрезвычайных ситуаций является коррозионный износ.

Основные методы борьбы с коррозией включают в себя выбор подходящего для эксплуатационных условий коррозионно-устойчивого сплава, обработка коррозионной среды с целью замедления скорости катодной или анодной реакции, изоляцией металла от агрессивной среды, электрохимической защитой и др. Каждый из приведённых способов имеет свои преимущества и недостатки, но ни один из них нельзя считать универсальным для предприятий нефтегазовой отрасли ввиду сложности технологических процессов и тяжёлых условий эксплуатации технологического оборудования [1].

В качестве инновационного метода защиты от коррозии был предложен электрофизический метод защиты (ЭФМ), суть которого заключается в подаче на защищаемый металлический проводник переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) определённой частоты [2].

При поляризации железа переменным потенциалом в течение анодного полупериода, в основном, протекает реакция ионизации металла, а в кислых средах – и реакция ионизации адсорбированного водорода [3]. В катодный полупериод принципиально возможны, по крайней мере, три процесса: