

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Парманчук, В.И. Ольшанский

УДК 677.027.04

РЕФЕРАТ

МНОГОСЛОЙНЫЙ МАТЕРИАЛ, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, СВЯЗУЮЩЕЕ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ, ТЕМП ОХЛАЖДЕНИЯ, УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ

Объектом исследования является получение многослойного материала с использованием отходов текстильного производства.

Целью работы является определение основных теплофизических свойств многослойных материалов, получение методики определения теплофизических характеристик многослойного материала с использованием отходов текстильного производства.

Авторами проведены экспериментальные исследования и установлены зависимости основных характеристик текстильных материалов от режимных параметров процесса нанесения мелкодисперсных частиц в условиях воздействия теплового потока.

Результаты работы позволяют оперативно определить теплофизические характеристики различных текстильных композиционных материалов, разного способа переплетения, состава и структуры тканей, многослойных материалов, защитной одежды.

ABSTRACT

MULTILAYERED MATERIAL, THERMAL INSULATION, BINDER, THERMAL CONDUCTIVITY, THERMAL DIFFUSIVITY, RATE OF COOLING, SPECIFIC HEAT

The aim of the work is a multilayered textile materials, experimental study and determination of their thermal and physical characteristics. The authors conducted a study of heating textile materials.

Analytical dependences to determine coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity of multilayered textile materials, mathematical model for determining the rate of cooling. We investigated the efficiency of fine particles with different technological parameters of this application.

The proposed method allows you to define basic thermal and physical characteristics of textile composite materials and their modification in the process of getting the finished thermal insulation material.

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях легкой текстильной промышленности Республики Беларусь около 40 % используемого сырья составляют различные текстильные отходы в виде обрезки, кнопа, мелкодисперсных частиц, которые не используются и загрязняют окружающую среду, обладают низким коэффициентом теплопроводности, что создает предпосылки использования их в качестве теплоизоляционных материалов.

Для увеличения термического сопротивления теплопередачи необходимо использование теплоизоляционных материалов, характеризующихся низкой теплопроводностью, гигроско-

пичностью, температуропроводностью, высокой огнестойкостью, что требует определенной методики их измерения.

В настоящее время существует ряд методов определения теплопроводности материалов:

- метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом (ГОСТ 30256–94);
- метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем (ГОСТ 30290-94);
- радиационный метод;
- метод, основанный на зависимости диэлектрических характеристик материала от его влажности и теплопроводности

(ГОСТ Р 8.621–2006);

- стационарный метод плоского слоя и метод труб.

Методы, основанные на измерении стационарной и нестационарной теплопроводности, делятся на две группы.

Первая группа методов позволяет проводить измерения в широком диапазоне температур (от 20 до 700 °С) и получать более точные результаты.

Недостатком методов измерения стационарного потока тепла является большая продолжительность опыта.

Вторая группа методов позволяет проводить эксперимент в течение нескольких минут (до 1 ч), но применяется для определения теплопроводности материалов при сравнительно низких температурах.

Недостатком методов для определения коэффициента теплопроводности при нестационарном тепловом потоке являются небольшие пределы измерения величины λ . Например методом цилиндрического зонда определяется коэффициент теплопроводности от 0,2 Вт/м°С и выше. Недостатком радиационного метода является громоздкость и сложность оборудования установки. Определение коэффициента теплопроводности приборным методом имеет высокую стоимость.

Анализируя рассмотренные методы измерения, для проведения экспериментальных исследований на базе лаборатории кафедры ТиОМП была собрана экспериментальная установка и разработан экспресс-метод для определения теплофизических свойств материала в кратчайшие сроки.

На белорусском рынке теплоизоляционных материалов представлена продукция как отечественных, так и зарубежных производителей. Номенклатура некоторых отечественных волокнистых теплоизоляционных материалов и их основные теплофизические характеристики представлены в таблице 1.

Продукция зарубежных производителей представлена широкой номенклатурой волокнистых теплоизоляционных материалов фирм: «Сан-Гобэн Изовер» (Финляндия), «Rockwool» (Дания), «УРСА-Евразия» «Partek Paroc» (Финляндия), «Izomat» (Словакия). Эффективным

теплоизоляционным материалом является пеностекло «Foamglas» бельгийской фирмы «Pittsburgh Corning» – формованный материал (плиты, сегменты) с закрытыми порами, негорючий, с температурой применения от -260 до +485 °С и высокими прочностными свойствами.

С целью снижения затрат на производство и утилизацию отходов (экологический аспект) возникает необходимость в производстве теплоизоляционных материалов на базе отходов в виде нетканого полотна.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является оценка теплофизических свойств теплоизоляционных текстильных материалов и их сравнительный анализ, позволяющий определить основные рекомендации их применения в инженерной практике.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для производства многослойных теплоизоляционных материалов необходимо ориентироваться на местное сырье (импортозамещающий аспект) на низкосортных и не утилизируемых текстильных отходов (кноп, коротковолокнистые текстильные отходы, содержимое пылевых камер и др).

Технологический процесс производства теплоизоляционного материала может быть представлен в виде следующей схемы:

- приготовление раствора связующего;
- подготовку текстильных отходов;
- смешивание;
- формование изделия;
- сушку;
- резку.

При выборе схемы расчета теплопроводности необходимо учитывать число слоев, форму и размеры изделий, характеристики используемых материалов, температурный градиент.

Принимаем, что температура t поверхности во всех точках одинакова или незначительно изменяется. Исследуемые образцы имеют форму пластины, следовательно, можно ограничиться расчетом одномерной задачи теплопроводности для плоской стенки.

Таблица 1 – Основные теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов

| Маты прошивные из минеральной ваты теплоизоляционные ГОСТ 21880–94 | | | | |
|--|--------------|---------------|---------------|-------|
| Маркировка материала | 75 | 100 | 125 | |
| Плотность, кг/м ³ | 85 | 85-110 | 110-135 | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) | | | | |
| 298±5 | | 0,044 | 0,044 | |
| 398±5 | 0,046 | 0,065 | 0,064 | |
| 579±5 | | 0,150 | 0,130 | |
| Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем ГОСТ 9573–96 | | | | |
| Маркировка материала | 75 | 125 | 175 | 225 |
| Плотность, кг/м ³ | 75 | 125 | 175 | 225 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) | | | | |
| 298±5 | 0,047 | 0,049 | 0,052 | |
| 398±5 | 0,077 | 0,072 | 0,07 | 0,054 |
| Маты теплоизоляционные из минеральной ваты вертикально-слоистые ГОСТ 23307–78 | | | | |
| Маркировка материала | 75 | | 125 | |
| Плотность, кг/м ³ | От 50 до 75 | | От 75 до 125 | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) | | | | |
| 298±5 | 0,048 | | 0,046 | |
| 398±5 | 0,083 | | 0,081 | |
| Пакеты прошивные теплоизоляционные СТБ 1273–2001 | | | | |
| Маркировка материала | 75 | 100 | 150 | |
| Плотность, кг/м ³ | От 85 до 110 | От 110 до 135 | От 135 до 165 | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) | | | | |
| 298±5 | 0,044 | 0,044 | 0,049 | |
| 398±5 | 0,065 | 0,065 | 0,072 | |
| 579±5 | 0,130 | 0,130 | 0,150 | |
| Теплоизоляционные базальтовые цилиндры, покрытые фольгой ГОСТ 23208–82 | | | | |
| Плотность, кг/м ³ | 70-100 | | | |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) при 25 С | 0,037 | | | |
| Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна ГОСТ 10499–95 | | | | |
| Коэффициент теплопроводности при (25±5)С, Вт/(м*К) | 0,057 | 0,052 | 0,047 | |

Коэффициент теплопроводности находится из соотношения

$$\lambda = \frac{Q}{t_{c1} - t_{c2}} K, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, Вт; K – коэффициент формы исследуемого материала, для неограниченного плоского тела рассчитывается по формуле

$$K = \delta / F_p, \quad (2)$$

где δ – толщина плоского слоя, м; F_p – расчетная поверхность, нормальная к направлению теплового потока, м².

В нестационарном режиме зависимость температурного поля от времени описывается показательной функцией [1]. Темп охлаждения и на-

грева m характеризует относительную скорость изменения температуры тела во времени. Относительная скорость изменения температуры при переходе от одной точки тела к другой остается постоянной. Поэтому если закон регулярного режима графически представить в логарифмических координатах относительной температуры, то изменение температуры со временем для различных точек тела выразится системой параллельных линий:

$$\ln \vartheta = \ln(AU) - m. \quad (3)$$

Темп охлаждения характеризует угловой коэффициент этих параллельных линий, что позволяет получить следующую зависимость для практического способа определения величины темпа охлаждения:

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1}. \quad (4)$$

Для определения темпа охлаждения достаточно ограничиться заделкой одной термопары в произвольном месте исследуемого тела. При этом тарировка термопар не обязательна, если зависимость их термо-э.д.с. от температуры является линейной.

Установлено, что коэффициент температуропроводности а сильнее зависит от Δt при малых значениях Δt , чем при больших. Так, при Δt до 5°C отклонения от среднего значения коэффициента теплоотдачи составляют $\pm 14,4 \%$, а при $\Delta t = 65 \div 70^\circ \text{C}$ – всего $+ 0,7 \%$. В этих случаях опыты рекомендуется проводить при перепадах температур порядка $40-45^\circ \text{C}$ [2].

Коэффициент температуропроводности плохих проводников тепла, при условии, что $Bi = \infty$ (практически $Bi \geq 100$), можно определить из выражения

$$a = K^* m_\infty, \quad (5)$$

где K^* – коэффициент формы, характеризующий геометрическую форму и размеры тела.

Коэффициент формы для неограниченной пластины

$$K^* = (2\delta/\pi)^2, \quad (6)$$

где δ – толщина пластины, м.

Исследование коэффициента теплопроводности проводится на установке для определения величины коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, изображенной на рисунке 1.

Исследуемому материалу придается форма относительно тонкой квадратной пластины 5. Температурный перепад создается за счет теплового электронагревательный элемента (ТЭН) 3, помещенного в теплоизолированную камеру 2, для обеспечения одномерного постоянного теплового потока. Мощность теплового потока Q (Вт) равна значению мощности, затрачиваемой на нагревание ТЭН, и измеряется непосредственно ваттметром 4.

Значение мощности теплового потока Q задается автотрансформатором 1. Значения температур поверхностей исследуемого материала определяется с помощью термопар 6, горячие спаи которых зашиваются как со стороны воздействующего теплового потока (воздействующий на нижний слой), так и со стороны, не подвергаемой тепловому воздействию (верхний

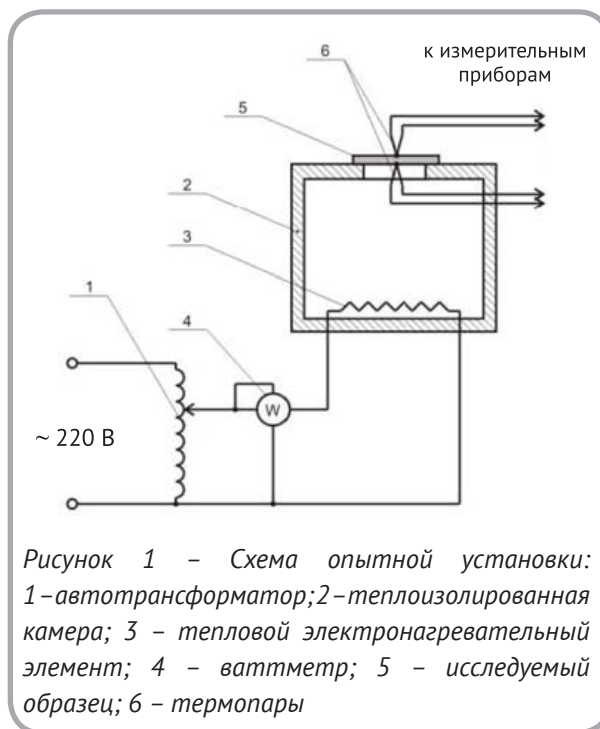


Рисунок 1 – Схема опытной установки: 1 – автотрансформатор; 2 – теплоизолированная камера; 3 – тепловой электронагревательный элемент; 4 – ваттметр; 5 – исследуемый образец; 6 – термопары

слой).

Для обеспечения постоянного теплового потока после включения опытной установки в питающую сеть её необходимо прогреть в течение 15–20 минут. Образец должен полностью, без зазоров закрывать окно теплоизолированной камеры, так как ошибка из-за контактного сопротивления может достигать 30 %. Значения температур фиксируются через равные промежутки времени, по возможности максимально короткие.

Проведение опыта прекращается при достижении скорости изменения температуры на обеих сторонах образца не более 1 °С/мин.

Для испытания были представлены следующие образцы:

Пакет № 1 – смесовая ткань «Грета», иглопробивное полотно, сатиновая подкладка (вискоза на хлопчатобумажной основе).

Пакет № 2 – Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала, стеклоткань + связующее (клей ADCOTE 675A+675C).

Пакет № 3 – Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклоткань, слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклопластик (РСТ) + связующее.

Составляющие пакетов материалов выкраиваются в прямоугольном виде размеров 220x220 мм, скрепляются по трем сторонам и вставляется порядковый номер образца пакета материала.

Рассмотрим алгоритм расчета коэффициента теплопроводности для трехслойных образцов. В результате проведения эксперимента формируются исходные данные для расчета требуемого показателя.

Перед началом проведения опыта были проведены измерения начального значения температуры поверхностей образцов $T_0, °C$ и средней толщины пакетов материалов $\delta, м$.

Образец 1 – $T_0 = 16 °C, \delta = 0.003 м$;

Образец 2 – $T_0 = 16 °C, \delta = 0.002 м$;

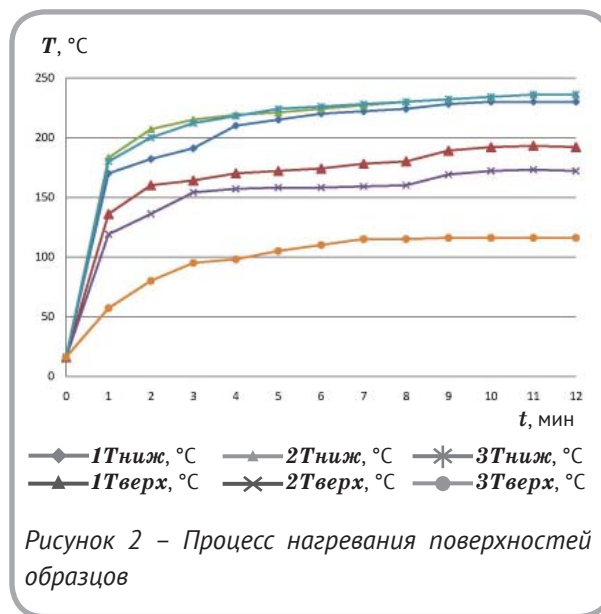
Образец 3 – $T_0 = 16 °C, \delta = 0.003 м$.

Дополнительно были произведены замеры: мощность теплового потока $Q = 240 Вт$, расчетная поверхность, нормальная к направлению теплового потока $F_p = 0.04 м^2$ (рисунок 2).

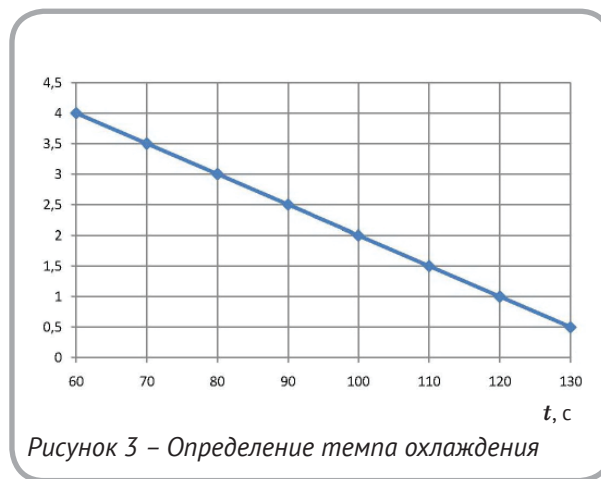
Таким образом, по нескольким последним значениям температур поверхности произво-

дится линейная аппроксимация и определяется разность температур $\Delta T_1 = 49.42 °C, \Delta T_2 = 68,73 °C, \Delta T_3 = 117,8 °C$. Далее рассчитывается коэффициент формы для данного образца по формуле (2). По формуле (1) рассчитывается коэффициент теплопроводности.

По формуле (6) рассчитывается коэффициент формы для определения коэффициента температуропроводности.



По логарифмированной линейной модели определяется темп охлаждения для двух произвольных значений времени (рисунок 3).



Значение температуропроводности определяется по формуле (5).

Основные усредненные значения коэффициента теплопроводности λ и коэффициента температуропроводности α представлены в

таблице 2.

Сравнительный анализ основных теплофизических характеристик показывает, что наиболее рациональным для использования в качестве теплоизоляционного материала является пакет № 2, у которого наиболее низкий коэффициент температуропроводности и коэффициент теплопроводности.

Кроме указанных теплофизических характеристик к теплоизоляционным материалам в соответствии с ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные» предъявляется требование устойчивости во времени к воздействию теплового потока.

При исследовании на устойчивость к воздействию теплового потока пакет материала считается выдержавшим испытания, если на образце не произошло:

- разрушения наружной поверхности (трещин, прогара, оплавления и т. д.);
- усадки более 5 %;
- воспламенения;
- превышения среднеарифметического значения температуры на внутренней поверхности композиции слоев более 50 °С в нормированное время;
- увеличения плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов до значения, превышающего 2.5 кВт/м² в нормированное время.

Анализ показывает, что по показателю плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов все скомплектованные образцы выдержали испытание, ткань верха пакета материалов всех образцов в ходе проведения испытаний не подверглась видимым повреждениям, полученные коэффициенты теплопроводности и температуропроводности не превышают показаний промышленных образцов, применяемых в промышленности.

Предложенная методика позволяет оперативно определить теплофизические характеристики и устойчивость во времени к воздействию теплового потока различных текстильных композиционных материалов, разного способа переплетения, состава и структуры тканей, многослойных материалов, защитной одежды, тем самым определяется область применения существующих и вновь проектируемых материалов.

Таблица 2 – Усредненные значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности

| Образцы материалов | Коэффициент формы K , м ² | Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м*К) | Коэффициента формы K' , м ² | Коэффициент температуропроводности α |
|--------------------|--|---|--|---|
| Пакет 1 | 0.075 | 0,055 | $0.365 \cdot 10^{-5}$ | $0.183 \cdot 10^{-6}$ |
| Пакет 2 | 0.05 | 0,035 | $0.162 \cdot 10^{-5}$ | $0.081 \cdot 10^{-6}$ |
| Пакет 3 | 0.075 | 0,046 | $0.365 \cdot 10^{-5}$ | $0.183 \cdot 10^{-6}$ |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А.В. (1967), *Теория теплопроводности*, Москва, Высшая школа, 600 с.
2. Осипов, В.А. (1969), *Экспериментальное исследование процессов теплообмена*, Москва, Энергия, 391 с.

REFERENCES

1. Lykov, A.V. (1967), *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity], Moscow, Higher school, 600 p.
2. Osipov, V.A. (1967), *Eksperimental'noe issledovanie processov teploobmena* [Experimental study of heat exchange processes], Moscow, Energy, 391 p.

Статья поступила в редакцию 27.02.2014 г.