

Е. И. Кордикова, ст. преподаватель;  
А. В. Спиглазов, ст. преподаватель; В. П. Ставров, профессор

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Opportunity of use of textile withdrawals as far as filler and polypropylene as far as binding for manufacturing of heat-insulating materials is researched. Complex of researches of thermophysical and physical material properties is leaded, and also calculations in analytical system, that showed perspective of application of researched material as far as heat-insulation materials. The presented results give the chance to estimate behaviour of the material formed of a waste of textiles and a polymeric sacking, at influence of photooxidizing ageing. These data can be used by working out of a design of products, definition of area and conditions of effective application of the specified materials.

**Введение.** В числе основных требований, предъявляемых к теплоизоляционным материалам и изделиям, – теплопроводность не более 0,175 Вт/(м · °С) при 25°С; средняя плотность не более 600 кг/м<sup>3</sup>; стабильные физико-механические и теплотехнические свойства; отсутствие выделений токсичных веществ и пыли в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации [1, 2]. Многие полимерные материалы и композиции удовлетворяют этим требованиям, поэтому нашли применение в гражданском и промышленном строительстве для изоляции трубопроводов холодного и горячего водоснабжения, тепловых сетей при надземной и подземной (в каналах и тоннелях) прокладках; технологических трубопроводов [1]. Наряду со стекловатой и полистирольным пенопластом все шире используют вспененный фенопласт, различные композиции на основе терморепактивных связующих и наполнителей, в частности стекловолокна, льнокостры, текстильных отходов [2]. В то же время по-прежнему актуальна задача повышения эффективности тепловой изоляции при одновременном снижении ее стоимости.

**Основная часть.** Оценивали теплофизические свойства и пригодность использования для изготовления теплоизоляционных изделий композиций, полученных путем совмещения бытовых текстильных отходов и полипропиленовой мешковины (по 50 мас. %).

Образцы для определения показателей теплофизических и механических свойств вырезали из плит, изготовленных на экспериментальной установке по методу пласт-формования при режимах, которые указаны в табл. 1.

Определяли плотность, коэффициенты тепло- и температуропроводности, показатели механических свойств – модули упругости и разрушающие напряжения.

Коэффициент теплопроводности определяли по ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме на приборе ИТС-1» (НПП «Интерприбор», г. Челя-

бинск). Условия соответствуют требованиям к определению теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов.

Таблица 1

### Режимы изготовления образцов

Показатель	Значение
Пластикация в экструдере	
Температура, °С	170–210
Прессование	
Давление, МПа	8
Температура формы, °С	20
Время выдержки, мин	5
Охлаждение	
Температура, °С	80
Продолжительность, мин	10

Коэффициент теплопроводности вычисляли по формуле

$$\lambda = \frac{dq}{\Delta T},$$

где  $d$  – толщина образца, м;  $q$  – плотность теплового потока, проходящего через образец, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Delta T$  – разность температур между противоположными гранями образца, К.

Коэффициент температуропроводности находили по времени достижения заданной температуры в центре плоского образца, нагреваемого между плоскопараллельными плитами, из соотношения

$$a = \frac{h^2}{\pi^2 t} \ln \left[ \frac{4}{\pi} \frac{T_1 - T_0}{T_1 - T(t)} \right],$$

где  $h$  – высота образца, мм;  $t$  – время достижения заданной температуры в центре образца, с;  $T_0$  – начальная температура образца, °С;  $T_1$  – температура плит, °С;  $T(t)$  – заданная температура в центре образца, °С.

Плотность определяли по результатам измерения массы и объема образцов. Удельную теплоемкость оценивали по свойствам компонентов и составу композиции.

Показатели теплофизических свойств материала связаны известным соотношением

$$a = \frac{\lambda}{c\rho},$$

где  $a$  – температуропроводность,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $c$  – удельная теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\rho$  – плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Водопоглощение и механические свойства определяли по стандартизованным методикам.

Значения теплофизических и физико-механических свойств представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Теплофизические и механические свойства материала

Показатель	Значение показателя
Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	1,1
Коэффициент температуропроводности, $\text{мм}^2/\text{с}$	0,11
Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,165
Модуль упругости, ГПа:	
– при изгибе	3,8
– при растяжении	2,5
Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	41,8
Прочность при разрыве, МПа	19,3
Водопоглощение за 24 ч, %	0,57
Открытая пористость, %	5,0

Анализ структуры материала показал, что пористость материала обусловлена наличием промежутков между волокнами, при этом поры имеют неопределенную форму и образуют систему сообщающихся между собой воздушных прослоек (рис. 1, а).

Как видно из табл. 2, полученный материал имеет показатели свойств в диапазоне значений, типичных для теплоизоляционных материалов.

Из композиции текстильных и полимерных волокон по методу пласт-формования могут быть изготовлены, например, элементы изоляции труб, размеры и форма которых оптимальна по условиям монтажа и последующей эксплуатации. При этом возможно также создание воздушных промежутков, повышающих теплоизолирующую способность изделий и эффективность конструкции.

По методу конечных элементов рассчитывали толщину и другие геометрические параметры теплоизолирующих элементов для труб диаметром от 75 до 250 мм при температуре теплоносителя  $95^\circ\text{C}$ . Теплоизоляционные свойства элементов сравнивали с пенополиуретановой изоляцией труб, используемой в промыш-

ленности, по мощности теплового излучения с наружной поверхности.

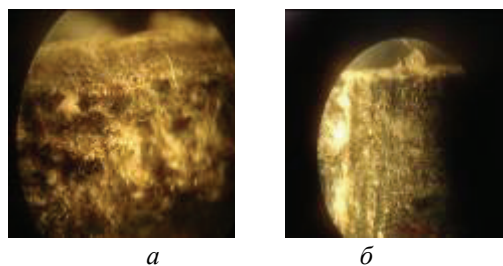


Рис. 1. Микрофотографии места разрушения (а) и поверхности образца (б) после старения

Расчетная толщина теплоизолирующего слоя в конструкции, показанной на рис. 2, составляет 20–45 мм в зависимости от диаметра трубы.

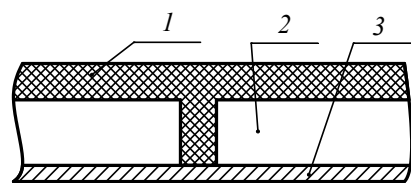


Рис. 2. Теплоизоляция трубы:  
1 – теплоизоляционный кожух;  
2 – воздушная прослойка; 3 – труба

Теплоизоляционные элементы труб, получаемые по методу пласт-формования из бытовых отходов текстиля и полипропилена, имеют себестоимость не более 2500 руб. за 1 кг в изделии, поэтому вполне конкурентоспособны.

Композиционный материал (КМ) получали путем прессования (пласт-формования) пластицированной композиции из разволокненных текстильных отходов и полипропиленовой мешковины. Комплексное климатическое воздействие на материал моделировали путем фотостарения в условиях облучения ртутно-кварцевой лампой. Испытания проводили в климатической испытательной камере «Feutron».

Образцы экспонировали на расстоянии 400 мм от источника излучения при включенной приточно-вытяжной вентиляции.

Климатический режим светотеплового старения: температура в климатической камере –  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ ; относительная влажность воздуха –  $(60 \pm 2)\%$ ; режим облучения – УФ –  $61,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , ИК –  $454 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , видимый диапазон –  $512 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ; временной интервал – 1464 ч (2 мес.).

Стойкость КМ к воздействию излучения оценивали по результатам визуального осмотра поверхности и изменению показателей физико-механических свойств – плотности, разрушающих напряжений при растяжении и изгибе и модулей упругости при растяжении и изгибе, а также влагопоглощения экспонированных образцов.

Коэффициент старения вычисляли по следующей формуле:

$$K = \frac{D_1}{D},$$

где  $D_1$  и  $D$  – показатели свойств соответственно после и до воздействия внешнего фактора.

Энергию активации термоокислительной деструкции находили по результатам термогравиметрического анализа образцов в воздушной среде в динамическом режиме на дериватографе системы Паулик-Паулик-Эрдей (тип ОД-103 фирмы «МОМ»). Скорость линейного повышения температуры до 500°C составляла 5°C/мин. Навеска 200 мг. Эффективную энергию активации рассчитывали по кривым потери массы, построенным путем двойного логарифмирования, удовлетворяющим уравнению [3]:

$$\ln \ln \left( \frac{100}{100 - \Delta m} \right) = \frac{E_d}{RT} + \ln \frac{A\Delta T}{V_{\text{нагр}}},$$

где  $\Delta m$  – потеря массы образца, %;  $E_d$  – энергия активации термоокислительной деструкции, кДж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль · К);  $T$  – абсолютная температура, К;  $A$  – предэкспоненциальный множитель;  $\Delta T$  – разность температур, соответствующая  $\Delta m$ , К;  $V_{\text{нагр}}$  – скорость нагрева, К.

Энергию активации определяли по углу наклона линейной зависимости  $\ln \ln \left( \frac{100}{100 - \Delta m} \right)$  от  $1/T$  по формуле

$$E_d = Rtg\alpha.$$

В каждом случае проверяли линейность зависимости в диапазоне температур 290–390°C. Погрешность оценки эффективной энергии активации процесса деструкции находилась в пределах 5%. В табл. 3 представлены результаты определения основных эксплуатационных характеристик материала.

Полученные значения плотности практически не изменяются после ускоренного старения в течение 2 мес. Коэффициенты снижения характеристик в этом случае практически равны единице.

Модуль упругости и прочность при изгибе в результате воздействия почти не изменились и имеют значения, близкие к исходным. Модуль упругости и прочность при растяжении изменились значительно – на 11,6 и 34,5% соответственно. Изменения прочностных характеристик связаны, очевидно, с более интенсивными разрушениями тканого наполнителя, особенно в поверхностных слоях. Об этом свидетельствуют исследования микроструктуры поверхностного слоя и мест разрушения образцов после ускоренного старения (рис. 2).

Относительное снижение большинства исследованных показателей свойств КМ не превышает 10%.

Таблица 3

Показатели свойств материала

Показатель	Значения показателя свойств	
	до старения $D$	после старения $D_1$
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1011	1002
Разрушающее напряжение, МПа:		
– при изгибе	37,43	36,06
– при растяжении	18,8	12,3
Модуль упругости, ГПа:		
– при растяжении	1,41	1,3
– при изгибе	2,5	2,21
Энергия активации термоокислительной деструкции, кДж/моль	47,8	46,3

На основании этого можно сделать вывод о том, что процесс фотостарения не приводит к существенному снижению основных физико-механических свойств и энергии активации термоокислительной деструкции КМ, а исследуемый композиционный материал достаточно стабилен в условиях фотостарения.

**Заключение.** Материалы, получаемые из бытовых отходов текстиля и полимеров, удовлетворяют требованиям к теплоизоляционным материалам. Эффективность теплоизоляционных элементов труб может быть повышена за счет создания воздушных промежутков, например ячеистой структуры изделия. Показана достаточная стабильность композиционного материала, получаемого из отходов текстиля и полипропиленовой мешковины, в условиях фотоокислительного старения. Полученные данные могут быть использованы при разработке конструкции изделий и определении области и условий их эффективного применения.

Исследования выполнены по заданию 4.03 ГНТП «Ресурсосбережение-2010».

### Литература

1. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов / В. Д. Глуховский [и др.]. – Киев: Будівельник, 1986. – 320 с.
2. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю. П. Горлов. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
3. Райх, Л. Динамический гравиметрический анализ при деструкции полимеров / Л. Райх, Д. Леви // Новое в методах исследования полимеров: сб. переводов и обзоров из иностранной периодической литературы / под ред. З. А. Роговина. – М.: Мир, 1968. – С. 148–199.