

## Вывод

Программа значительно автоматизирует светотехническую часть проекта, позволяет исключить ошибки при проектировании и расчете осветительных установок, а также повысить эффективность светотехнических расчетов с учетом особенностей конкретных объектов. Программный комплекс позволяет анализировать освещенность в помещениях любой формы и размеров (от офисного помещения до спортивных сооружений), а также автомобильных дорог. Кроме того, с помощью программного комплекса DIALux можно выполнять исследования осветительных установок аварийного освещения с возможностью выбора расчетных точек и поверхностей на требуемой высоте. Программный комплекс позволяет формировать проектную документацию с результатами выполненного светотехнического расчета для любого объекта. Результаты оценки могут быть использованы для формулирования рекомендаций по внедрению методики работы с данной программой в процесс курсового и дипломного проектирования, раздела расчета электрического освещения.

### Список использованных источников

1. Козловская, В. Б. Электрическое освещение: справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 255 с.
2. Пионкевич, В. А. Анализ эффективности применения комплекса DIALux для расчета освещенности производственных помещений / В. А. Пионкевич // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 11(130). – С. 114–122.
3. Dialux – Расчет и проектирование освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru>. – Дата обращения 03.05.2023.

УДК 677.027.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

*Завадская В.Д.<sup>1</sup>, студ., Масловская В.Г.<sup>1</sup>, студ., Парманчук В.В.<sup>2</sup>, м.т.н.,  
Ольшанский В.И.<sup>1</sup>, к.т.н., проф., Жерносек С.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.*

*<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Научно-технический центр ОАО «БЕЛАЗ» – Управляющая компания холдинга  
«БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», г. Жодино, Республика Беларусь*

Реферат. В статье представлены результаты теоретико-экспериментальных исследований основных теплофизических свойств многослойных материалов, полученных с использованием отходов текстильного производства.

Ключевые слова: многослойный теплоизоляционный материал, пакет, теплопроводность, температуропроводность, темп охлаждения, удельная теплоемкость.

Для производства многослойных теплоизоляционных материалов необходимо ориентироваться на местное сырье (импортозамещающий аспект), на низкосортные и не утилизируемые текстильные отходы (кноп, коротковолокнистые текстильные отходы, содержимое пылевых камер и др). Процесс производства теплоизоляционного материала может быть представлен в виде технологической последовательности операций [1]:

- приготовление раствора связующего;
- подготовка текстильных отходов;
- смешивание;
- формирование изделия;
- сушка;
- резка.

Оценка теплофизических свойств многослойных теплоизоляционных текстильных материалов и их сравнительный анализ позволяют определить перспективные способы повышения качественных и экономических показателей текстильных материалов с учетом сферы

применения, структурных особенностей и способа формирования, а также разработать основные рекомендации применения современных методов определения теплофизических свойств в инженерной практике [2].

В настоящее время в зависимости от условий задачи применяются различные методы определения теплопроводности материалов [3–7]:

- 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.

Перечисленные методы не отвечают условиям поставленной задачи и не позволяют получить точные результаты измерений, поэтому для проведения экспериментальных исследований на базе лаборатории кафедры теплоэнергетики разработана экспериментальная установка и экспресс-метод для определения теплофизических свойств материала при ограниченном числе наблюдений.

Кроме соответствия теплофизических характеристик к теплоизоляционным материалам в соответствии с [3] 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 в нормированное время;
- увеличения плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов до значения, превышающего 2,5 кВт/м<sup>2</sup> в нормированное время.

При выборе схемы расчета теплопроводности учитывается число слоев, форму и размеры изделий, характеристики используемых материалов, температурный градиент. В работе использовано решение одномерной задачи теплопроводности для плоской стенки при допущениях, что температуры поверхности во всех точках изменяются незначительно и все испытываемые образцы имеют плоскую форму. Для испытания подготовлены 7 образцов пакетов материалов. Состав пакетов и результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводные характеристики пакетов материалов

Номер образца	Состав	Температура поверхности $T_o, ^\circ\text{C}$	Средняя толщина пакета $\delta, \text{м}$	Площадь поверхности $F_p, \text{м}^2$
1	2	3	4	5
1	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства) стеклоткань + связующее (клей ADCOTE 675A + 675C)	16	0,003	0,04
2	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (нитрон), стеклоткань + связующее (клей ADCOTE 675A + 675C)	16	0,002	0,04
3	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклоткань, слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклопластик (РСТ) + связующее (клей ADCOTE 675A + 675C)	16	0,003	0,04

## Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
4	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (нитрон), стеклоткань + связующее (клей УР600)	16	0,0015	0,04
5	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклоткань, слой мелкодисперсного материала (отходы коврового производства), стеклопластик (РСТ) + (клей УР600)	16	0,003	0,04
6	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (флок), стеклоткань + связующее (клей ADCOTE 675A + 675C)	16	0,0014	0,04
7	Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (флок), стеклоткань + связующее УР600	16	0,0014	0,04

По результатам экспериментов расчетным способом определен коэффициент температуропроводности. Дополнительно произведены измерения мощности теплового потока  $Q = 60, 120, 240 \text{ Вт}$  при расчетной поверхности, нормальной к направлению теплового потока  $F_p = 0,04 \text{ м}^2$ . Далее по текущим значениям температур поверхности проведена аппроксимация и с учетом разности температур, определены значения коэффициента формы для данного образца и коэффициента теплопроводности. Усредненные значения коэффициента теплопроводности и коэффициента температуропроводности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Усредненные значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности

Образцы материалов	Коэффициент формы $K$ , м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ Вт/(м*К)	Коэффициент формы $K'$ , м <sup>2</sup> , * 10 <sup>-5</sup>	Коэффициент температуропроводности $\alpha$ , м <sup>2</sup> / ч, * 10 <sup>-6</sup>	Тепловое сопротивление $R$ , м <sup>2</sup> *ч х*град / ккал
Пакет 1	0,075	0,0911	0,365	0,183	0,0329
Пакет 2	0,05	0,04365	0,162	0,081	0,0458
Пакет 3	0,075	0,03820	0,365	0,183	0,0785
Пакет 4	0,0375	0,03221	0,913	0,456	0,0465
Пакет 5	0,075	0,04082	0,365	0,183	0,0734
Пакет 6	0,035	0,03219	0,795	0,398	0,0434
Пакет 7	0,035	0,03139	0,795	0,398	0,0445

Проведенный сравнительный анализ основных теплофизических характеристик показал, что рациональные для использования в качестве теплоизоляционного материала характеристики имеют пакеты № 2, 4, 6, 7, поскольку данные пакеты имеют более низкий коэффициент температуропроводности и коэффициент теплопроводности и наибольшее тепловое сопротивление.

На основе анализа показателя плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов установлено, что все образцы пакетов успешно прошли испытание, видимых повреждений материала верха для всех пакетов материалов не выявлено, полученные значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности находятся в пределах допустимого диапазона и не превышают показаний промышленно выпускаемых аналогов.

#### Список использованных источников

1. Парманчук, В. В. Теплофизические свойства многослойных теплоизоляционных материалов / В. В. Парманчук, В. И. Ольшанский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – № 27. – С. 87.
2. Лукьянова, Е. Л. Композиционные нетканые материалы из вторичных текстильных отходов : монография / Е. Л. Лукьянова ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2023. – 187 с.
3. ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний / Изд. стандартов. – 1994.
4. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва : Высшая школа, 1967. – 600 с.
5. Осипов, В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипов. – Москва : Энергия, 1969. – 391 с.
6. Гусаров, А. М. Оценка и прогнозирование теплозащитных свойств пакетов материалов для специальной защитной одежды пожарных : монография / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 173 с.
7. Ольшанский, В. И. Метод определения теплофизических свойств нетканых материалов / В. И. Ольшанский, В. Г. Мульц, Е. Л. Зимина // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. – № 2 (41). – С. 43–50.

УДК 66.047.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ И СУШКЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Дрюков В.В., к.т.н., доц., Котов А.А., асс., Кузьменков С.М., асс.  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Изложены результаты обработки экспериментальных данных по термической обработке в процессах сушки тонких теплоизоляционных материалов. В результате обработки опытных данных обобщенными комплексными переменными получены формулы для определения плотности тепловых потоков, среднеинтегральных температур, интенсивности испарения влаги, продолжительности процесса термической обработки материалов.

Ключевые слова: влагосодержание, температура, коэффициент сушки, время сушки, теплопроводность, коэффициент теплоотдачи, число Био.

Невозможность точного аналитического решения дифференциального уравнения массопереноса с переменными коэффициентами переноса, зависящими от влагосодержания и температуры материала в очень сложной форме, вызывает необходимость в разработке простых приближенных опытных уравнений для расчета длительности сушки.

Наиболее эффективными являются методы обработки опытных данных, основанные на устойчивых комплексных переменных, характеризующих наиболее общие закономерности протекания процесса и устанавливающие связь между различными параметрами при тепловой обработке материалов.

К обобщенным переменным следует отнести следующие: обобщенное время тепловой обработки  $N\tau$ , относительная скорость сушки  $N^*$ , относительное влагосодержание материала  $\bar{u} / \bar{u}_{кр}$ , отношение времени тепловой обработки в первом и втором периодах процесса сушки  $\tau_{II} / \tau_I$ .

Относительная скорость сушки  $N^*$  в периоде падающей скорости (второй период) не зависит от режимных параметров процесса и является лишь функцией влагосодержания материала. Анализ опытных данных по тепловой обработке различных влажных материалов показал, что комплексы  $\bar{u} / \bar{u}_{кр}$  и  $\tau_{II} / \tau_I$  также являются обобщенными переменными и связаны с величиной скорости сушки в первом периоде  $N$ , которая в этом случае также является обобщенной переменной.

Основное уравнение кинетики сушки А. В. Лыкова