

УДК 691: 035.267

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКНИСТЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ**С.А. РОМАНОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ**
(*Полоцкий государственный университет*)

В статье представлены результаты исследований, доказывающие эффективность теплоизоляционных плит, содержащих в качестве структурообразующего материала очесы льна. Приведены результаты исследований теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов волокнистой структуры в климатической камере. На основании экспериментальных данных построены графики распределения температур по толщине утеплителей, после чего определены показатели плотности теплового потока, термического сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопроводности. Построены кривые распределения влажности по толщине теплоизоляционных плит. По итогам испытаний установлено, что влажность материала на основе льняных очесов составляет 14,6%; при температуре воздуха $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в холодном отделении климатической камеры коэффициент теплопроводности равен $0,47\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о большей эффективности теплоизоляционных материалов из очесов льна по сравнению с утеплителями на основе льняных и минеральных волокон.

Ключевые слова: *утеплитель, очесы и волокна льна, жидкое стекло, термическое сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопроводности, влажность.*

Введение. Отрасль строительных материалов в настоящее время ориентируется на создание новых эффективных утеплителей, что обусловлено стратегией энергосбережения в условиях повышения цен на энергетические ресурсы. Развитие экологического «зеленого» строительства за последние годы в значительной степени изменило самосознание многих застройщиков, и теперь, наряду с традиционными показателями качества, к возводимым зданиям часто предъявляют требования по экологической безопасности объектов. Необходимо отметить, что строительная отрасль как в Беларуси, так и в других странах не всегда готова обеспечить экологические требования заказчиков. В первую очередь данная проблема связана с ограниченным наличием и выпуском экологически чистых строительных материалов. Наибольшие проблемы производственного сектора связаны с изготовлением теплоизоляционных материалов, так как традиционные утеплители (пенополистирол и минеральная вата) не отвечают требованиям по экологии. При этом, кроме экологического аспекта, у данных материалов имеются и другие существенные недостатки: ограниченная теплостойкость и повышенная горючесть; наличие в составе вредных веществ; отсутствие технологии утилизации полученных отходов при производстве и после эксплуатации теплоизоляционных материалов, а также изначально высокие энергетические затраты на производство.

В странах с большими запасами древесины, в т.ч. и в России, ведутся исследования по разработке утеплителей на основе древесных волокон и различных связующих, таких как биоклей [1], поливинилацетатный клей [2], парафиновая эмульсия [3], а также без связующего с применением антисептика и антипирена [4]. При плотности $30\text{--}250\text{ кг}/\text{м}^3$ теплоизоляционные материалы обладают коэффициентом теплопроводности от $0,041\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ до $0,06\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Исследования по получению утеплителей из волокон эвкалипта проводились в Чили [5]. Связующим являлась фенольная смола. Теплоизоляционный материал при средней плотности от $80\text{ кг}/\text{м}^3$ до $250\text{ кг}/\text{м}^3$ обладает теплопроводностью $0,05\text{--}0,07\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

К инновационной разработке относится утеплитель на основе мха сфагнума и жидкого стекла с теплопроводностью $0,034\text{--}0,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ при плотности $155\text{--}170\text{ кг}/\text{м}^3$. Однако теплоизоляционные плиты имеют недостаток – усадочные деформации материала в процессе сушки. Для устранения данной проблемы предложено вводить дробленую солому в количестве $20\text{--}30\%$ от массы мха. Новый теплоизоляционный материал обладает теплопроводностью $0,044\text{--}0,046\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, обеспечивает прочность на сжатие $0,2\text{--}0,21\text{ МПа}$ при средней плотности $156\text{--}190\text{ кг}/\text{м}^3$ [6].

Существенным резервом в производстве местных теплоизоляционных строительных материалов являются волокнистые наполнители сельскохозяйственного происхождения. На основе конопли в Германии выпускают плиты «Thermo-Hanf» [7; 8]. Утеплитель включает следующие компоненты: $83\text{--}87\%$ волокнистый наполнитель, $10\text{--}12\%$ полиэфир, $3\text{--}5\%$ сода, применяемая в качестве антипирена. При средней плотности $35\text{--}40\text{ кг}/\text{м}^3$ теплоизоляционный материал обладает коэффициентом теплопроводности $0,038\text{--}0,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Значительный интерес для стран центральной Азии представляет утеплитель из отходов хлопкового производства и натриевого жидкого стекла. При варьировании плотности в пределах $40\text{--}100\text{ кг}/\text{м}^3$ теплопроводность плит изменяется от $0,037\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ до $0,041\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. В условиях относительной влажности воздуха $60\text{--}70\%$ влажность теплоизоляционного материала равна $11\text{--}12\%$ [9].

Возможность использования волокон коры масличной пальмы в качестве структурообразующего материала утеплителя изучали в Технологическом университете PETRONAS [10]. По результатам испытаний установлено, что при варьировании плотности от 66 кг/м^3 до 110 кг/м^3 коэффициент теплопроводности материала изменяется в пределах $0,03\text{--}0,09 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Экологический утеплитель из льняных волокон «Экотеплин» производят в России. Заполнителем в теплоизоляционных плитах являются льняные волокна. В качестве связующего используется крахмал. Для повышения огнезащитных свойств и предотвращения возникновения плесени и грибков добавляются соли бора. Материал имеет следующие показатели: средняя плотность $32\text{--}34 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, коэффициент звукопоглощения $0,74\text{--}0,98$, коэффициент паропроницаемости $0,403 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$, группа горючести Г1 [11].

Теплоизоляционные плиты торговой марки «Акотерм флакс» выпускают в Беларуси [12]. Утеплитель содержит 85% льняных волокон и 15% полиэфирных волокон. Коэффициент теплопроводности материала составляет $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, коэффициент паропроницаемости равен $0,4 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$, коэффициент звукопоглощения составляет $0,98$ при средней плотности 30 кг/м^3 .

В настоящее время в лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета производятся комплексные исследования по разработке теплоизоляционных плит со структурообразующим материалом из льняных очесов [13]. Использование очесов льна для изготовления теплоизоляционных материалов решает проблему утилизации растительных отходов льнопереработки, расширяет номенклатуру эффективных волокнистых утеплителей и обеспечивает получение полностью экологически безопасного материала. Проведенные исследования подтверждают возможность применения теплоизоляционных материалов в качестве утеплителя для зданий и сооружений. Однако эффективность плит как тепловой изоляции возможно подтвердить только испытаниями материалов в условиях эксплуатации или с помощью моделирования температурно-влажностных режимов на лабораторном оборудовании с определением теплофизических показателей.

Методика испытаний. Натурные исследования теплоизоляционных плит из льняных очесов проводили в климатической камере, моделируя различные температурно-влажностные режимы. В альтернативных исследованиях применяли экспериментальный утеплитель из волокон льна и теплоизоляционные плиты «Акотерм флакс» на основе смеси льняных и полиэфирных волокон. Образцы на основе волокон и очесов льна изготавливали, соблюдая определенную последовательность выполнения технологических операций. Предварительно производили дозировку компонентов. Для получения модифицированного вяжущего в жидкое стекло сначала вводили известь и перемешивали до однородной консистенции, а затем добавляли гипс. После распределения модифицированного жидкого стекла по поверхности волокон структурообразующего материала и формовки образцы утеплителей выдерживали в форме 6 ч при температуре $20\pm 2 \text{ °C}$, а затем высушивали в течение 4 ч в сушильном шкафу при температуре $45\text{--}55 \text{ °C}$. Образцы на основе смеси льняных и полиэфирных волокон вырезали из плит «Акотерм флакс».

Образцы утеплителей размером $300\times 200\times 100 \text{ мм}$ устанавливали между теплым и холодным отделением камеры. Плотность теплоизоляционных материалов на основе льняных очесов (образец 1) или волокон (образец 2) с модифицированным жидким стеклом составляла 100 кг/м^3 , а плит из смеси льняных и полиэфирных волокон (образец 3) – 34 кг/м^3 . Низкая плотность образцов «Акотерм флакс» обусловлена применяемой технологией структурообразования при формовке утеплителя. Предварительно образцы выдерживали в климатической камере на протяжении трех недель при температуре воздуха $+18 \text{ °C}$ и относительной влажности воздуха $50\text{--}60\%$. Теплофизические показатели утеплителей определяли, применяя информационно-измерительный комплекс РТП-1-16Т. Схема расположения датчиков температур и теплового потока на поверхности и внутри теплоизоляционных материалов представлена на рисунке 1.

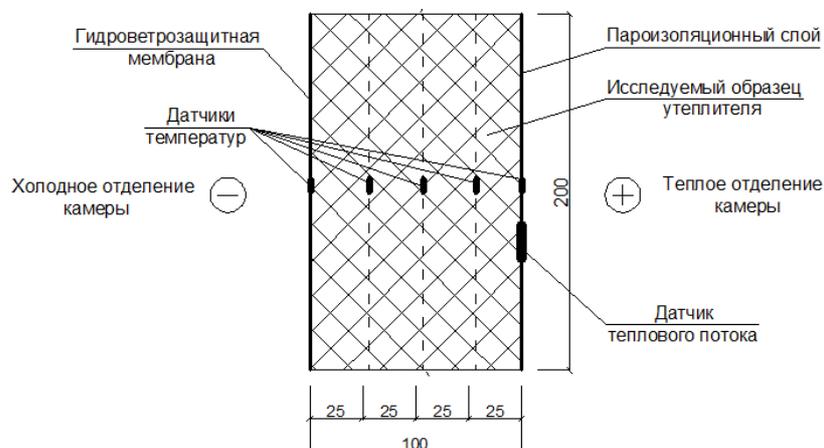


Рисунок 1. – Схема расположения датчиков на поверхности и внутри теплоизоляционного материала

При выполнении исследований в холодном отделении климатической камеры температуру варьировали от 0 до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ с интервалом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы выдерживали при каждом значении температуры в течении 120 ч. В теплом отделении камеры температура воздуха поддерживалась на постоянном уровне $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности воздуха в пределах 50–60%. Температуры фиксировали, начиная от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в холодном отделении камеры. Для определения температур в толщине материала каждый образец условно разделили на 4 участка толщиной по 25 мм. Со стороны холодного отделения камеры для защиты утеплителей от водяных паров, находящихся в воздухе, устанавливалась гидроветрозащитная мембрана, а со стороны теплого отделения – пароизоляционный слой. Первоначальные исследования без защитных мембран выявили образование наледи в материалах. Толщина слоя наледи в структуре утеплителей на основе очесов или волокон льна со стороны холодного отделения климатической камеры составила 15 мм, а образца «Акотерм флакс» – 50 мм, что отрицательно влияет на теплофизические свойства и долговечность теплоизоляционных материалов.

Влажность утеплителей после испытаний определяли в соответствии с ГОСТ 17177. Схема отбора образцов представлена на рисунке 2. Предварительно в поперечном направлении из теплоизоляционных материалов вырезали призмы размером $50 \times 50 \times 100\text{ мм}$ (см. рисунок 2). Призму по поперечному сечению разрезали на отдельные образцы (слои) по 25 мм (рисунок 3). Далее каждый образец взвешивали и помещали в сушильный шкаф. По достижении постоянной массы образцы снова взвешивали. Влажность определяли по величине изменения массы образцов до и после сушки.

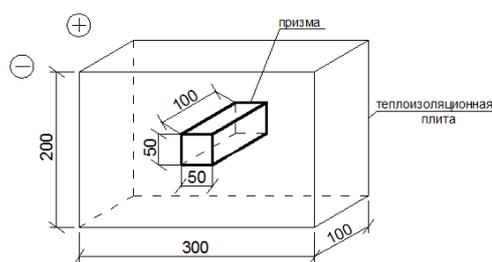


Рисунок 2. – Схема отбора образца в виде призмы из теплоизоляционных плит

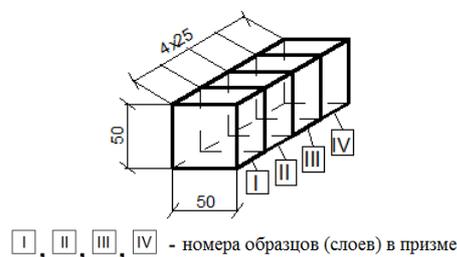


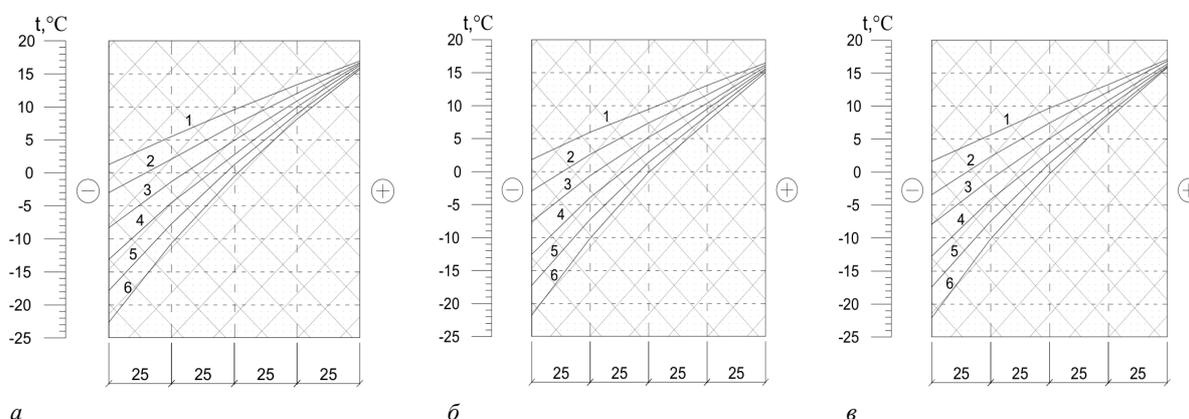
Рисунок 3. – Схема получения образцов из призмы для определения влажности материалов

Результаты и обсуждения. Для исследования теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон приняты составы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. – Состав и средняя плотность образцов теплоизоляционных материалов

Составы образцов	Расход компонентов на 1 м ³ , кг						Средняя плотность, кг/м ³
	волокно льна	очесы льна	жидкое стекло	полиэфирное волокно	известь	гипс	
1	–	90	9	–	0,5	0,5	100
2	90	–	9	–	0,5	0,5	100
3	29	–	–	5	–	–	34

В процессе исследований значения температур фиксировали круглосуточно. По полученным данным построены графики распределения температур на поверхности и по толщине образцов теплоизоляционных плит (рисунок 4).



а – на основе очесов льна; **б** – на основе волокон льна; **в** – на основе смеси льняных и полиэфирных волокон; 1 – $t_{\text{н}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $t_{\text{н}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $t_{\text{н}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $t_{\text{н}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – $t_{\text{н}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – $t_{\text{н}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рисунок 4. – Кривые распределения температур теплоизоляционных материалов

На основании полученных значений температур и плотностей теплового потока утеплителей определены коэффициенты теплопроводности и термические сопротивления теплопередаче образцов при заданных значениях температуры воздуха в холодном отделении климатической камеры. Результаты экспериментальных и расчетных показателей представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов

Температура воздуха в холодном отделении камеры, °С	Плотность теплового потока, Вт/м ²			Термическое сопротивление теплопередаче, (м ² ·°С)/Вт			Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)		
	образец 1	образец 2	образец 3	образец 1	образец 2	образец 3	образец 1	образец 2	образец 3
0	10,34	11,43	10,38	1,52	1,28	1,49	0,066	0,078	0,067
-5	12,54	13,82	12,54	1,61	1,37	1,61	0,062	0,073	0,062
-10	14,15	15,78	14,23	1,75	1,49	1,72	0,057	0,067	0,058
-15	15,56	17,98	15,72	1,89	1,56	1,85	0,053	0,064	0,054
-20	16,53	19,59	17,09	2,04	1,67	1,96	0,049	0,06	0,051
-25	18,00	20,99	18,55	2,13	1,75	2,04	0,047	0,057	0,049

При температуре 0 °С в холодном отделении климатической камеры плотность теплового потока через плиту из очесов льна (образец 1) составляет 10,34 Вт/м², что на 10% ниже значения образца 2 и идентично показателю материала на основе смеси льняных и полиэфирных волокон (образец 3). Снижение температуры до -25 °С приводит к повышению плотности теплового потока экспериментальных материалов в 1,7–1,8 раза. Исследуемый показатель при температуре -25 °С для утеплителя из льняных очесов (образец 1) составляет 18 Вт/м², что на 17% ниже величины образца 2 и практически совпадает со значением теплоизоляционного материала «Акотерм флак» (образец 3).

Термические сопротивления теплопередаче образцов 1 и 3 (см. таблицу 2) при температуре воздуха -25 °С в холодном отделении камеры практически не отличаются и превышают значение для плит на основе волокон льна (образец 2), равное 1,75 (м²·°С)/Вт, на 22%. Установлено, что после достижения максимальной отрицательной температуры воздуха термическое сопротивление теплопередаче утеплителей возрастает в 1,4 раза по сравнению с показателями при температуре 0 °С в холодном отделении климатической камеры.

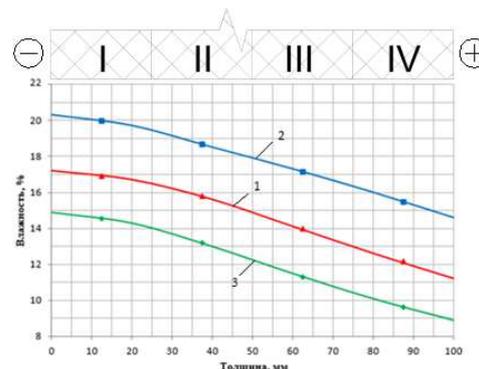
Коэффициент теплопроводности материала из очесов льна (образец 1) при температуре воздуха 0 °С в холодном отделении климатической камеры практически идентичен значению для плит на основе смеси льняных и полиэфирных волокон (образец 3) и ниже показателя утеплителя из волокон льна (образец 2) на 15%. Теплопроводность образца 1 при температуре воздуха -25 °С понизилась на 29%, а образцов 2 и 3 – на 27% относительно показателей при температуре 0 °С в холодном отделении камеры. При температуре -25 °С коэффициент теплопроводности образца 2 выше значений образцов 1 и 3 на 21% и 16% соответственно.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают эффективную работу экспериментальных плит из льняных очесов при отрицательных температурах.

По окончании проведения испытаний также определена влажность теплоизоляционных плит. Изменение влажности в структуре материалов представлено на рисунке 5. Из полученных зависимостей следует, что среднее значение влажности утеплителей из очесов льна (образец 1) составляет 14,6%, что превышает на 21% показатель влажности плит на основе смеси льняных и полиэфирных волокон (образец 3) и на 18% ниже значения утеплителя из волокон льна (образец 2). Влажность утеплителя из очесов льна (образец 1) в слое IV достигает 12,2%, что меньше показателя плит из волокон льна (образец 2) на 21% и больше значения плит на основе смеси льняных и полиэфирных волокон (образец 3) на 27%. В слое I влажность всех образцов повышается в 1,4–1,7 раза и достигает максимальных значений. Так, влажность материала из очесов льна (образец 1) на 15% ниже значения образца 2, равного 20%, и на 17% превышает показатель образца 3.

- I-IV – слои в образце материала;
 1 – образец из волокон льна; 2 – образец из очесов льна;
 3 – образец из смеси льняных и полиэфирных волокон.

Рисунок 5. – Изменение влажности по толщине теплоизоляционных материалов



На следующем этапе проведены исследования по определению теплофизических характеристик теплоизоляционных плит «Белтеп Фасад» (образец 4) из базальтовых волокон [14] и утеплителей «Isover фасад мастер» (образец 5) на основе стекловолокон [15]. Средняя плотность и коэффициент теплопроводности образцов в сухом состоянии указанных материалов приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Средняя плотность и теплопроводность минераловатных утеплителей

№ образца	Наименование	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
4	«Белтеп Фасад»	110	0,042
5	«Isover фасад мастер»	100	0,04

По полученным значениям температур и плотностей теплового потока теплоизоляционных материалов определены теплопроводности и термические сопротивления теплопередаче образцов при заданных температурах воздуха в холодном отделении климатической камеры. Результаты экспериментальных и расчетных данных представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Теплотехнические характеристики утеплителей

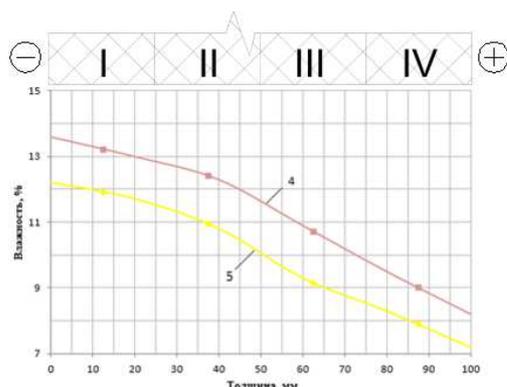
Температура воздуха в холодном отделении камеры, °C	Плотность теплового потока, Вт/м ²		Термическое сопротивление теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	
	образец 4	образец 5	образец 4	образец 5	образец 4	образец 5
0	11,04	10,96	1,33	1,35	0,075	0,074
-5	13,38	13,18	1,43	1,47	0,07	0,068
-10	15,44	15,1	1,52	1,59	0,066	0,063
-15	17,26	16,91	1,61	1,69	0,062	0,059
-20	18,51	18,17	1,72	1,79	0,058	0,056
-25	20,39	20,02	1,81	1,89	0,055	0,053

На основании полученных данных (см. таблицу 4) установлено, что при температуре 0 °C в холодном отделении камеры плотность теплового потока материала из очесов льна (см. таблицу 2, образец 1) равна 10,3 Вт/м², что незначительно меньше, чем у образцов 4 и 5 на основе базальтовых и стеклянных волокон. После достижения максимальной отрицательной температуры воздуха плотность теплового потока образца 1 (см. таблицу 2) из очесов льна увеличивается до 18 Вт/м², что на 13% и 10% ниже значений материалов «Белтеп Фасад» (образец 4) и «Isover фасад мастер» (образец 5) соответственно.

Термическое сопротивление теплопередаче изоляционного материала на основе льняных очесов (см. таблицу 2, образец 1) при температуре 0 °C в холодном отделении климатической камеры на 13% и 18% превышает величины утеплителей из базальтовых волокон (образец 4) и стекловолокон (образец 5), равные 1,81 (м²·°C)/Вт и 1,89 (м²·°C)/Вт соответственно. Уменьшение температуры воздуха до -25 °C вызывает прирост показателя на 36–40%, при этом термическое сопротивление теплопередаче образца 1 (см. таблицу 2) на 13–18% выше значений образцов 4 и 5.

Коэффициент теплопроводности утеплителя на основе очесов льна (см. таблицу 2, образец 1) при температуре воздуха -25 °C в холодном отделении камеры равен 0,047 Вт/(м·°C), что на 15% и 11% ниже величин материалов «Белтеп Фасад» (образец 4) и «Isover фасад мастер» (образец 5) соответственно. При температуре -25 °C коэффициент теплопроводности образцов 4 и 5 на 11–14% превышает значение образца 1 (см. таблицу 2).

Для утеплителей на основе базальтовых и стеклянных волокон исследовали изменение влажности по толщине утеплителей (рисунок 6).



I-IV – слои в образце материала
 4 – образец из базальтовых волокон;
 5 – образец из стекловолокон.
 Рисунок 6. – Изменение влажности по толщине теплоизоляционных материалов

Из приведенного графика изменения влажности по толщине теплоизоляционных плит (см. рисунок 6) установлено, что среднее значение влажности утеплителя на основе льняных очесов (см. рисунок 5, образец 1) превышает в 1,3–1,5 раза показатели влажности материалов «Белтеп Фасад» (образец 4) и «Isover фасад мастер» (образец 5), равные 11,3% и 9,9% соответственно. Величина влажности плит из очесов льна в слое I равна 17% (см. рисунок 5), что в 1,3–1,4 раза больше значений влажности образцов 4 и 5. В слое IV влажность утеплителя на основе льняных очесов (см. рисунок 5, образец 1) превышает показатели теплоизоляционных материалов из базальтовых (образец 4) и стеклянных волокон (образец 5) в 1,35–1,5 раза.

В результате проведенных исследований установлено, что теплоизоляционные плиты «Акотрем флакс», «Белтеп Фасад» и «Isover фасад мастер» имеют близкие значения влажности. Меньшая влажность в указанных материалах относительно значений плит на основе очесов льна обусловлена присутствием в утеплителях полиэфирных и минеральных волокон, обладающих низкой сорбцией водяных паров из воздуха по сравнению с очесами льна.

Заключение. Исследования теплотехнических параметров теплоизоляционных плит в климатической камере показали, что с уменьшением температуры воздуха увеличивается плотность теплового потока и возрастает термическое сопротивление теплопередаче, а коэффициент теплопроводности материалов уменьшается. Установлено, что наиболее эффективно теплоизоляционные материалы работают при температуре воздуха ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ полученных данных показывает, что при температуре воздуха $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплоизоляционный материал из очесов льна обладает более высокими теплотехническими характеристиками по сравнению с утеплителями на основе льняных волокон. Термическое сопротивление теплопередаче образцов из очесов льна толщиной 100 мм при достижении минимальной отрицательной температуры воздуха составляет $2,13\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$, что превышает аналогичный показатель тепловой изоляции из волокон льна на 22%. Коэффициент теплопроводности утеплителя из очесов льна меньше значения образцов на основе льняных волокон, равного $0,057\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, на 18%. Утеплитель «Акотрем флакс» обеспечивает термическое сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопроводности на уровне с показателями изоляции на основе очесов льна.

Не смотря на то, что влажность утеплителя из очесов льна достигает 14,6% и превышает в 1,2–1,5 раза показатели образцов «Акотрем флакс», «Белтеп Фасад» и «Isover фасад мастер» при температуре $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ термическое сопротивление теплопередаче утеплителя, содержащего льняные очесы, на 13–18% превышает значения вышеперечисленных материалов. При этом коэффициент теплопроводности утеплителя из очесов льна на 11–14% ниже соответствующих показателей образцов на основе базальтовых и стеклянных волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение теплоизоляционного материала из древесного волокна на основе биоклея / В.В. Стрикун [и др.] // Актуальные проблемы лесного хозяйства. – 2017. – № 48. – С. 86–87.
2. Ермолина, А.В. Получение теплоизоляционного плитного материала на основе древесного волокна / А.В. Ермолина, П.В. Миронов, А.В. Бывшев // Актуальная проблема лесного комплекса. – 2010. – № 25. – С. 186–189.
3. Журавлева, Л.Н. Мягкие древесноволокнистые плиты – теплоизоляционный материал / Л.Н. Журавлева, А.Н. Журавлева // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – № 11. – С. 181–184.
4. Теплоизоляционный материал : пат. RU 2149148 / В.И. Берюков, В.В. Данилов, Н.М. Пашков. – Опубл. 20.05.2000.
5. Bialosau, A. Materiais compositos para isolamento termico de materias primas naturais e aglutinantes minerais / A. Bialosau, A. Bakatovich // Livro de Resumos 3 0 Congresso Luso – Brasileiro de Materiais de construcao sustentaveis. – Coimbra, Portugal, 2018. – P. 16–27.
6. Бакатович, А.А. Микроструктура как основной критерий, определяющий использование мха сфагнума в качестве заполнителя для эффективного плитного теплоизоляционного материала / А.А. Бакатович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 42–46.
7. Якунина, Е.А. Современные теплоизоляционные материалы, как одна из тенденций экологического строительства / Е.А. Якунина // Синергия наук. – 2018. – № 24. – С. 625–634.
8. Богатова, Т.В. Преимущества и особенности безопасных природных утеплителей / Т.В. Богатова, А.И. Двойцина // Инженерные сети и сооружения. – 2016. – № 3–4 (24–25). – С. 14–19.
9. Бакатович, А.А. Теплоизоляционный материал на заполнителе из отходов переработки хлопкового волокна / А.А. Бакатович, М.А. Розыев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. – С. 29–33.
10. Hassan, S. Comparison study of thermal insulation characteristics from oil palm fibre / S. Hassan, A. Tesfamichael, M. Mohd Nor // MATEC Web of Conferences. ICPER 2014 – 4 th International Conference on Production, Energy and Reliability. – 2014. – Vol. 13. – P. 5.
11. Советников, Д.О. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга / Д.О. Советников, Д.О. Семашкина, Д.В. Баранова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 12 (51). – С. 7–19.

12. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия : ТУ BY 391129716.001-2015. – Введ. 27.07.2015. – Ореховск. – 2015. – 10 с.
13. Romanovskiy, S. Physical parameters of insulation with a structure-forming material from flax noils / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // E3S Web of Conferences 212, 02014 (2020), 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020). – DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202021202014.

Поступила 22.06.2021

STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS OF FIBROUS INSULATOR IN A CLIMATE CHAMBER

S. ROMANOVSKIY, A. BAKATOVICH

The article presents the results of studies proving the effectiveness of thermal insulation boards containing flax noils as a structure-forming material. The results of investigations of thermos-physical characteristics of heat-insulating materials of fibrous structure in a climatic chamber are presented. On the basis of the experimental data, graphs of the temperature distribution over the thickness of the insulation were built, after which the indicators of the heat flux density, thermal resistance to heat transfer and the coefficient of thermal conductivity were determined. Curves of moisture distribution over the thickness of heat-insulating plates are plotted. According to the results of the tests, it was found that the moisture content of the material based on linen noils is 14,6%; at an air temperature of -25°C in the cold compartment of the climatic chamber, the thermal conductivity coefficient is $0,47\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. The results of the studies carried out indicate the highest efficiency of heat-insulating materials made from flax noils in comparison with heat-insulating materials based on linen and mineral fibers.

Keywords: insulation, noils and flax fibers, liquid glass, thermal resistance to heat transfer, coefficient of thermal conductivity, humidity.