

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-31-43

Романовский С.А.

Полоцкий государственный университет

E-mail: s.romanovskiy@psu.by

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, доказывающие эффективность применения теплоизоляционных плит, содержащих в качестве структурообразующего материала очесы льна.

Приведены сведения о натурных испытаниях в конструкции стенового ограждения с вентилируемой системой утепления эксплуатируемого одноэтажного жилого дома и исследований эксплуатационно-технологических характеристик теплоизоляционных материалов из льняных очесов. На основе экспериментальных данных рассчитаны значения сопротивления теплопередачи стенового ограждения при температуре воздуха от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ и построены зависимости распределения влаги по толщине теплоизоляционного слоя. По итогам испытаний установлено, что при эксплуатации наружного стенового ограждения с вентилируемой системой утепления влажность теплоизоляционного материала на основе очесов льна составляет $15,5\%$ и при температуре наружного воздуха $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ обладает близким с теплоизоляционной плитой «Акотерм флэкс» сопротивлением теплопередачи, равным $3,04\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$. Изучение технологических характеристик показали, что утеплитель из льняных очесов может разрезаться, распиливаться и монтироваться к стеновому ограждению с помощью дюбель-гвоздей. Проведенные испытания на огнестойкость выявили, что теплоизоляционные плиты на основе очесов льна не воспламеняются под воздействием огня, а происходит вытлевание волокон очесов. Материал относится к группе горючих Г4 и обладает малой дымообразующей способностью.

В результате исследований обосновано рациональное применение льняных очесов для производства теплоизоляционных плит.

Ключевые слова: льняные очесы, утеплитель, влажность, термическое сопротивление теплопередаче, огнестойкость.

Введение. Отрасль строительных материалов в настоящее время ориентируется на создание новых эффективных утеплителей, что обусловлено стратегией энергосбережения в условиях повышения цен на энергетические ресурсы [1]. 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: наличие в составе вредных веществ; отсутствие технологии утилизации полученных отходов при производстве и после

эксплуатации теплоизоляции, а также изначально высокие энергетические затраты на производство [2].

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 [3], поливинилацетатный клей [4], парафиновая эмульсия [5], а также без связующего с применением антисептика и антипирена [6]. При плотности $30\text{--}250\text{ кг/м}^3$ теплоизоляционные материалы обладают теплопроводностью от $0,041\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ до $0,06\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ [7].

Составы плит для изготовления утеплителей на основе вторичной волокнистой массы из тарного картона или фибриллированной бумажной макулатуры разработаны в Красноярске [8, 9]. Теплопроводность материалов составляет от $0,038\text{--}0,051\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ при плотности от 30 до 70 кг/м^3 .

Наиболее известным решением по применению переработанной макулатуры для производства утеплителя является эковата, состоящая на 80 % из волокнистого заполнителя и на 20 % из антипиренов. Теплоизоляционный материал

имеет плотность 30–75 кг/м³, обеспечивая теплопроводность 0,032–0,041 Вт/(м·°С) и паропроницаемость 0,3 мг/(м·ч·Па) [7, 10, 11].

Возможность применения волокон эвкалипта в виде заполнителя для утеплителя исследовали в Чили [12]. Связующим являлась фенольная смола. Теплоизоляционный материал при средней плотности от 80 кг/м³ до 250 кг/м³ обеспечивает теплопроводность 0,05–0,07 Вт/(м·°С).

В Вест-Индском университете разработан состав утеплителя на основе банановых волокон. Теплоизоляционный материал обладает теплопроводностью 0,041 Вт/(м·°С) при плотности 71 кг/м³ [13].

К инновационной разработке относится утеплитель на основе мха-сфагнума и жидкого стекла [14]. Теплопроводность материала равна 0,034–0,04 Вт/(м·К) при плотности 155–170 кг/м³. Однако, теплоизоляционные плиты имеют недостаток – усадочные деформации материала в процессе сушки. Для устранения данной проблемы предложено вводить дроблёную солому в количестве 20–30 % от массы мха. Новый теплоизоляционный материал обладает теплопроводностью 0,044–0,046 Вт/(м·°С), обеспечивает прочность на сжатие 0,2–0,21 МПа при средней плотности 156–190 кг/м³ [1, 15].

Существенным резервом в производстве местных теплоизоляционных строительных материалов являются волокнистые заполнители сельскохозяйственного происхождения. На основе конопли в Германии выпускают плиты «Thermo-Hanf» [16, 17]. Утеплитель включает следующие компоненты: 83–87 % волокнистый заполнитель, 10–12 % полиэстер, 3–5 % сода, применяемая в качестве антипирена. При средней плотности 35–40 кг/м³ теплоизоляционный материал обладает коэффициентом теплопроводности 0,038–0,04 Вт/(м·°С) [1].

Значительный интерес для стран центральной Азии представляет утеплитель из отходов хлопкового производства и натриевого жидкого стекла. При варьировании плотности в пределах 40–100 кг/м³ теплопроводность плит изменяется от 0,037 до 0,041 Вт/(м·°С) [18]. В условиях относительной влажности воздуха 60–70 % влажность теплоизоляционного материала равна 11–12 % [19].

В Технологическом университете PETRONAS изучали возможность использования волокон коры масличной пальмы в качестве структурообразующего материала утеплителя [20]. По результатам испытаний установлено, что при варьировании плотности от 66 кг/м³ до 110 кг/м³ коэффициент теплопроводности материала изменяется в пределах 0,03–0,09 Вт/(м·°С).

Исследования по получению теплоизоляционных плит из волокон коры масличной пальмы длиной до 4 см и натриевого жидкого стекла проводились в Полоцком государственном университете. Для повышения водостойкости связующего применялись добавки из извести и гипса [21]. Теплоизоляционный материал имеет плотность 135–168 кг/м³, обеспечивая теплопроводность 0,046–0,047 Вт/(м·°С) и прочность на сжатие при 10 % линейной деформации 0,2–0,24 МПа [7]. Означается высокая стойкость волокон к гниению при относительной влажности воздуха 97 %.

Экологический утеплитель из льняных волокон «Экотеплин» производят в России. Заполнителем в теплоизоляционных плитах являются льняные волокна. В качестве связующего используется крахмал [2]. Соли бора добавляются для улучшения огнезащиты и предотвращения образования плесени и грибков. Материал имеет следующие показатели: средняя плотность 32–34 кг/м³, теплопроводность 0,038–0,04 Вт/(м·°С), коэффициент звукопоглощения 0,74–0,98, паропроницаемость 0,403 мг/м·ч·Па, группа горючести Г1 [7, 22].

В Беларуси выпускают теплоизоляционные плиты торговой марки «Акотерм флак» [23]. Утеплитель содержит 85 % льняных волокон и 15 % полиэфирных волокон. Коэффициент теплопроводности материала соответствует 0,038–0,04 Вт/(м·°С), паропроницаемость равна 0,4 мг/м·ч·Па, звукопоглощение составляет 0,98 при средней плотности 30 кг/м³.

В настоящее время в лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого университета производятся комплексные исследования по разработке теплоизоляционных плит со структурообразующим материалом из льняных очесов [1, 7, 24]. Проведенные исследования подтверждают возможность применения теплоизоляционных материалов в качестве утеплителя для зданий и сооружений. Однако, окончательную эффективность плит возможно подтвердить только прямыми натурными испытаниями материалов в конструкциях эксплуатируемых зданий с постоянной фиксацией основных теплофизических характеристик и мониторингом общего состояния [25]. В альтернативных исследованиях применяли экспериментальный утеплитель из волокон льна и теплоизоляционные плиты «Акотерм флак». 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 [1].

Методология. 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 часов при температуре 20 ± 2 °С, а затем высушивали в течение 4 часов в сушильном шкафу при температуре 45–55 °С. Образцы на основе смеси льняных и полиэфирных волокон вырезали из плит «Акотерм флак» [24]. Структура исследуемых материалов представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структура теплоизоляционных материалов
а – из очесов льна, б – из волокон льна, в – из смеси льняных и полиэфирных волокон

Натурные исследования в условиях эксплуатации проводились на наружном стеновом ограждении с вентилируемой системой утеплителями.

На рисунке 2 приведена схема расположения термопар и датчиков теплового потока в стеновой конструкции с экспериментальными утеплителями.

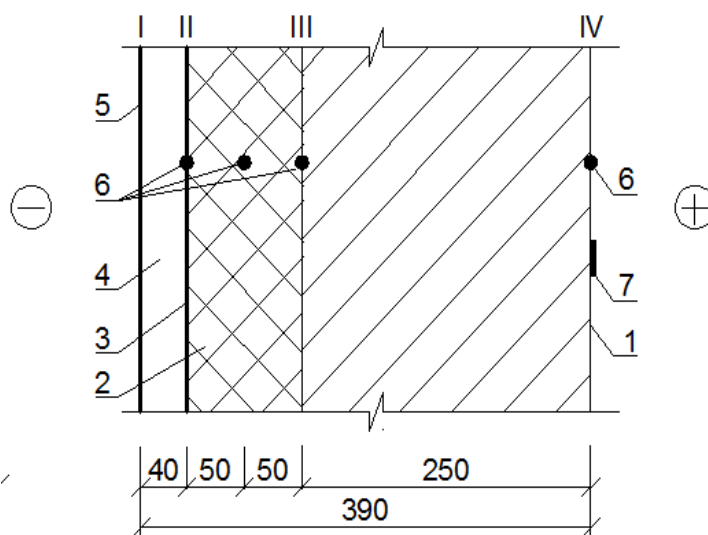


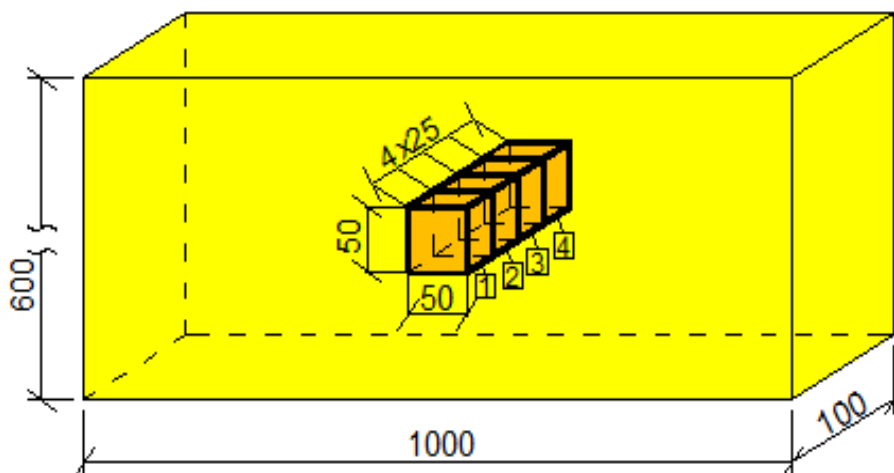
Рис. 2. Схема расположения термопар и датчиков тепловых потоков по сечению наружной стены с вентилируемой системой утепления
1 – керамический полнотелый кирпич; 2 – утеплитель; 3 – гидроветрозащитная мембрана; 4 – воздушная прослойка; 5 – слой стальной лист; 6 – термопара; 7 – датчик теплового потока
I, II, III, IV – границы слоев ограждения

Образцы из очесов или волокон льна изготавливали в виде плит размером $1000 \times 500 \times 100$ мм. Конструкция стенового ограждения включала в себя кирпичную кладку, теплоизоляцион-

ный материал из льняных очесов (стена 1), волокон льна (стена 2) и смеси льняных и полиэфирных волокон (стена 3), гидроветрозащитную мембрану, воздушную прослойку и стальной отделочный лист вентфасада. Теплофизические

свойства наружного ограждения определяли, применяя информационно-измерительный комплекс РТП-1-16Т.

Влажность утеплителей после испытаний в условиях эксплуатации определяли в соответствии с ГОСТ 17177. Схема выборки образцов представлена на рис. 3.



1, 2, 3, 4 - номера образцов-фрагментов

Рис. 3. Схема выборки образцов из теплоизоляционных плит

Предварительно по толще теплоизоляционных материалов вырезали образцы-призмы размером 50×50×100 мм. Образец-призму по поперечному сечению разрезали на отдельные фрагменты длиной 25 мм. Далее каждый образец-фрагмент взвешивали и помещали в сушильный шкаф. По достижении постоянной массы образцы снова взвешивали. Влажность определяли по величине изменения массы фрагментов до и после сушки [1].

Основная часть. В осенне-весенние периоды на протяжении 2018–2020 годов фиксировались изменения теплофизических процессов, происходящих в конструкции стенового ограждения одноэтажного жилого дома. Количественный состав, плотность и теплопроводность теплоизоляционных плит в сухом состоянии представлены в таблице 1 [24].

Таблица 1

Количественный состав, плотность и теплопроводность теплоизоляционных плит

№ состава	Расход компонентов на 1 м ³ , кг						Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м ² ·°С)
	волокно льна	очесы льна	жидкое стекло	полиэфирное волокно	известь	гипс		
1	–	90	9	–	0,5	0,5	100	0,038
2	90	–	9	–	0,5	0,5	100	0,045
3	29	–	–	5	–	–	34	0,04

Низкая плотность образцов «Акотерм флакс» обусловлена применяемой технологией структурообразования при формовке утеплителя, не позволяющий изготавливать материал более высокой плотности.

Для примера рассмотрен натуральный эксперимент в период с 4 по 13 января 2019 года, в течение 10 суток, с наиболее низкими ночными температурами наружного воздуха на территории Полоцкого района Витебской области (Беларусь). По результатам измерений установлено,

что распределение температур для теплоизоляционных плит из смеси льняных и полиэфирных волокон практически совпадает с утеплителями из очесов льна, поэтому на рисунке 4 представлены только графики распределения температур по толщине стеновых ограждающих конструкций с теплоизоляционными плитами из очесов и волокон льна. Значения температур приняты как средние величины показаний температур с 21 часа вечера до 7 часов утра.

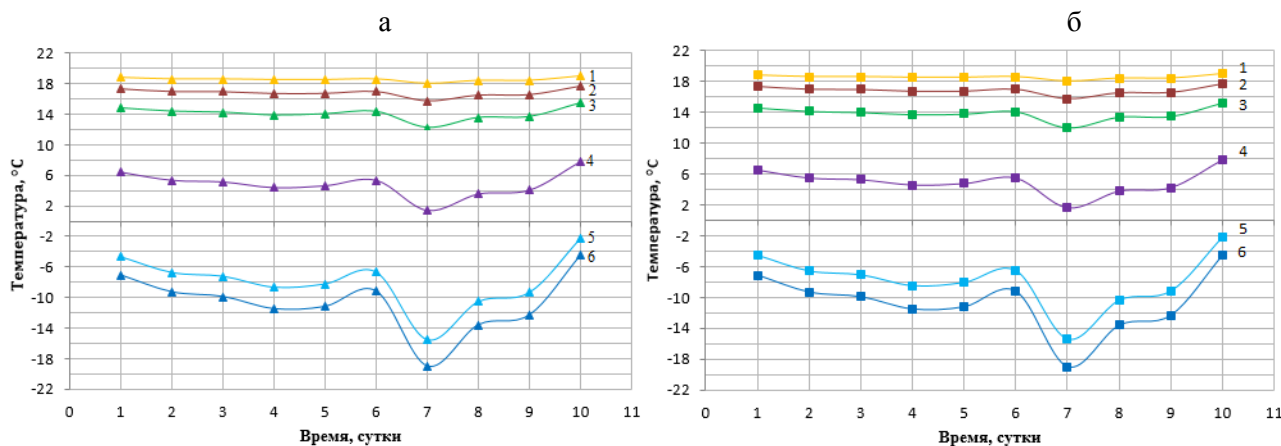


Рис. 4. Распределение температуры по толщине наружного стенового ограждения с вентилируемой системой утепления

- а – стена 1; б – стена 2; 1 – температура воздуха в помещении, °С;
- 2 – температура поверхности кирпичной кладки на границе I, °С;
- 3 – температура поверхности теплоизоляционного материала на границе II, °С;
- 4 – температура в середине теплоизоляционного материала, °С;
- 5 – температура поверхности теплоизоляционного материала на границе III, °С;
- 6 – температура наружного воздуха, °С

Из графиков распределения температур (рис. 4) установлено, что наиболее холодными являются ночные часы седьмых суток. Амплитуда температур на поверхностях стенового ограждения с теплоизоляционными плитами из очесов льна в ночные часы седьмых суток составляет 31,3 °С, что практически совпадает со значением стены 2, равным 29,8 °С и идентично с

показателем стенового ограждения 3. На основании графиков (рис. 4) в таблице 2 приведены средние значения распределения температур в жилом помещении, стеновом ограждении и наружного воздуха за рассматриваемый временной период.

Таблица 2

Средние показатели температур

Показатель	Стена 1	Стена 2	Стена 3
Температура наружного воздуха, °С	-10,8	-10,8	-10,8
Температура поверхности утеплителя на границе II, °С	-8	-7,1	-7,9
Температура в середине теплоизоляционного материала, °С	4,8	-4,1	-4,6
Температура поверхности теплоизоляционного материала на границе III, °С	14,1	13,2	14
Температура поверхности кирпичной кладки на границе IV, °С	16,9	16,3	16,7
Температура воздуха в помещении, °С	18,5	18,5	18,5

Анализ представленных данных таблицы 2 показывает, что для стены 1 средняя температура поверхности кирпичной кладки на границе IV за 10 суток выше на 0,6 °С, чем для стенового ограждения с теплоизоляционным материалом на основе льняных волокон и идентично ограждению с плитой «Акотерм флак». При сравнении средних показателей температур поверхности утеплителя на границе III за 10 суток установлено, что для наружного ограждения с материалом из очесов льна значение средней температуры выше на 0,8 °С, чем для стенового ограждения с теплоизоляционной плитой на основе льняных волокон и практически совпадает с показателем стены 3. За аналогичный период времени средняя температура утеплителя стены 1 на

0,7 °С ниже, чем у теплоизоляционного материала стены 2 и идентично значению плиты стены 3. Величина средней температуры ограждения с утеплителем из очесов за 10 суток на поверхности теплоизоляционного материала со стороны улицы не отличается от показателя стены с плитой состава 3 (табл. 1) и на 0,9 °С ниже, чем у стенового ограждения с материалом на основе льняных волокон.

Основываясь на полученных показателях плотностей тепловых потоков определены термические сопротивления теплопередачи конструкции стенового ограждения в зависимости от температуры наружного воздуха (рис. 5).

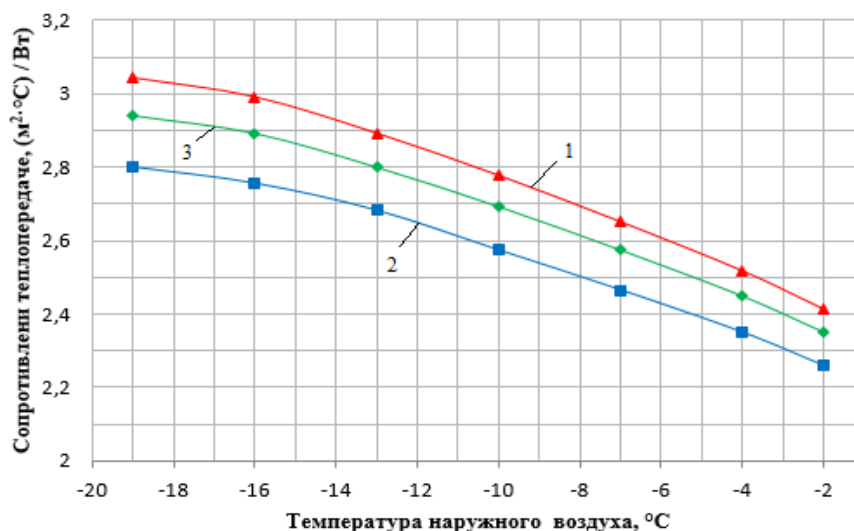


Рис. 5. Сопротивления теплопередачи стенового ограждения в зависимости от температуры наружного воздуха
Стеновое ограждение с утеплителем: 1 – из очесов льна, 2 – из волокон льна, 3 – из смеси льняных и полиэфирных волокон

Из зависимостей, представленных на рисунке 5 следует, что значение термического сопротивления стеновых ограждений с экспериментальными плитами при температуре наружного воздуха -2°C изменяется в пределах 2,26–2,41 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$). При температуре воздуха -19°C термическое сопротивление стены 1 соответствует 3,04 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$), что на 0,24 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$) больше величины термического сопротивления теплопередачи стенового ограждения с плитами (состав 2, табл. 1). Показатель ограждения, содержащий утеплитель «Акотерм флакс» имеет близкое значение с сопротивлением теплопередачи стены 1 и равен 2,95 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$). Изменение значения термического сопротивления стены с теплоизоляционными плитами из очесов с 2,41 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$) до 3,04 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$) при понижении температуры наружного воздуха до -19°C свидетельствует об эффективной работе теплоизоляционных материалов на основе льняных очесов.

Наиболее высокие значения сопротивления теплопередачи образцов из очесов льна достигаются за счет разнонаправленного расположения хаотично ориентированных элементарных волокон в структуре утеплителя, препятствующего конвективному переносу воздуха в результате уменьшения размеров тонких воздушных прослоек неправильной формы и их частичной локализации в виде отдельных замкнутых микропустот [7].

По окончании проведения мониторинга определены значения влажности теплоизоляционных материалов. Изменения показателя влажности по структуре теплоизоляционных плит представлены на рисунке 6. На основании полученных

данных установлена средняя величина влажности материала из очесов льна, равная 15,5 %. Полученное значение для состава 1 (табл. 1) ниже показателя влажности плиты из волокон на 16 % и больше на 20 % величины утеплителя из смеси льняных и полиэфирных волокон, соответствующие 18,4 % и 12,9 % соответственно. Влажность образца-фрагмента 1 теплоизоляционного материала из очесов на 12 % меньше показателя утеплителя (состав 2, табл. 1), равного 19,8 % и на 19 % выше, чем у плиты «Акотерм флакс». Максимальное количество влаги содержится в образцах-фрагментах 2. Так, влажность материала на основе очесов льна достигает 17,5 %, что на 13 % ниже влажности утеплителя из льняных волокон и на 19 % превышает значение плиты на основе льняных и полиэфирных волокон. Следует отметить, что участок наибольшего увлажнения образцов-фрагментов 2 по сравнению с фрагментами 1 связан с вертикальной циркуляцией воздуха вдоль наружной поверхности плит, способствующей испарению влаги из поверхностных слоев утеплителя. Влажность фрагмента 4 теплоизоляционного материала из очесов относительно фрагмента 2 уменьшается до 12,2%, что на 21% выше аналогичного показателя утеплителя «Акотерм флакс» и на 20 % ниже значения плиты на основе волокон льна.

Снижение показателя влажности в материале (состав 3, табл. 1) относительно значений плит на основе льняных очесов обусловлено присутствием в утеплителе «Акотерм флакс» полиэфирных волокон, приводящих к снижению поглощенной материалом влаги из воздуха относительно очесов.

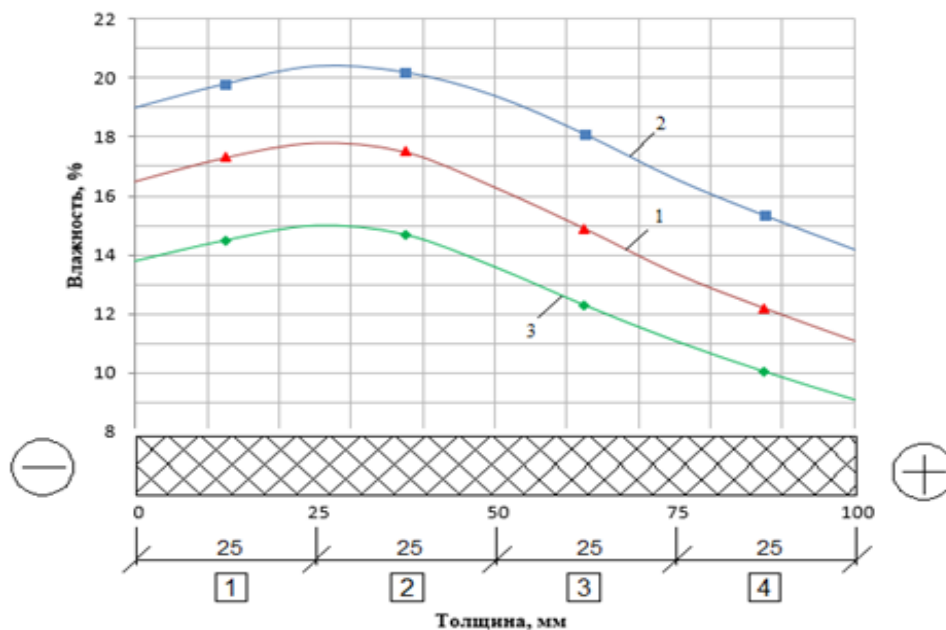


Рис. 6. – Распределение влажности в теплоизоляционных плитах
 1, 2, 3, 4 – фрагменты в образцах-призмах
 1 – утеплитель из очесов льна; 2 – утеплитель из волокон льна;
 3 – утеплитель из смеси льняных и полиэфирных волокон

На данный момент теплоизоляционные плиты в наружном стеновом ограждении с вентилируемой системой утепления функционирует 3 года. В процессе постоянно ведущегося мониторинга биоповреждений и смещений теплоизоляционных материалов не наблюдается.

После исследования физических показателей теплоизоляционных плит в натуральных условиях выполнены эксперименты по определению технологических характеристик утеплителей на основе льняных очесов. Проведены испытания по нарезке и распиливанию утеплителя различными видами режущего и пилящего инструмента, так как при укладке или монтаже теплоизоляцион-

ного материала существует необходимость в доборных элементах или в подрезке плит. Экспериментальные образцы размером 1000×500×100 мм подвергались разрезке в поперечном направлении. Внешний вид полученных разрезов и распилов показал, что утеплитель на основе очесов льна одинаково хорошо режется ножом с острым лезвием (рис. 7), а также пиляется угловой шлифмашиной и циркулярной пилой. К положительным характеристикам теплоизоляционного материала из льняных очесов относится отсутствие пыли в виде мелких частиц утеплителя во время резки или распиливания. Грани по разрезу имеют сплошную поверхность без видимых повреждений структуры утеплителя (рис. 8).



Рис. 7. Разрезание ножом плиты из очесов в поперечном направлении



Рис. 8. Поперечный разрез плиты

При устройстве вентилируемого фасада монтаж теплоизоляционных плит производится при помощи дюбель-гвоздей. Тип, длина и расположение дюбелей определяется в зависимости от толщины материала и состояния утепляемой стены.

Плотность плит из льняных очесов позволяет получать отверстия для дюбель-гвоздей используя стальной или полимерный заостренный стержень необходимого диаметра без нарушения структуры плиты вокруг отверстия. На рисунке 9 показан

монтаж утеплителя к кирпичной стене для проведения натуральных испытаний образцов-плит при

устройстве вентилируемой системы фасада здания жилого дома.



Рис. 9. Монтаж утеплителя на кирпичной стене

Способность материала сопротивляться воздействию огня при пожаре в течении определенного времени является одной из важнейшей эксплуатационной характеристикой теплоизоляционных плит. Испытания на огнестойкость проводили на фрагментах плит размером $500 \times 190 \times 100$ мм. В процессе проведения испытания по определению огнестойкости образцов на основе очесов, утеплитель в течении 30 минут непрерывно подвергался прямому воздействию огня (рис. 10). Теплоизоляционный материал в результате воздействия открытого пламени не воспламенялся, а происходило вытлевание под влиянием

высоких температур. При осмотре материала после устранения открытого пламени установлено, что в зоне воздействия огня произошло вытлевание волокон на глубину 80 мм. Диаметр вытлевшего участка составил 6 см (рис. 11). Необходимо отметить, что после устранения источника огня утеплитель не горел, но наблюдалось медленное тление материала на протяжении 4 часов, в результате чего большая часть материала подверглась разрушению. В процессе тления плиты дымообразования не наблюдалось.



Рис. 10. Воздействие огня на плиту из очесов во время испытания

Для сравнения проведены испытания по определению огнестойкости теплоизоляционных плит «Акотерм флак», имеющих группу горючести Г4. В процессе эксперимента под воздействием открытого огня в течении 3 минут верхняя часть образца утеплителя из льняных и полиэфирных волокон воспламенилась и сгорела



Рис. 11. Внешний вид плиты в момент устранения открытого пламени

(рис. 12). Затем газовую горелку затушили, но теплоизоляционные плиты продолжали самостоятельно гореть и тлеть с выделением едкого дыма по причине присутствия в составе утеплителя полиэфирных волокон. Образец теплоизоляционной плиты марки «Акотерм флак» полностью сгорел за 27 минут.



Рис. 12. Воздействие огня на плиту из льняных и полиэфирных волокон

Отсутствие процесса самостоятельного горения (поддержания пламени) для теплоизоляционного материала из очесов льна объясняется наличием в составе утеплителя связующего в виде модифицированного натриевого жидкого стекла. При изготовлении плит на стадии перемешивания компонентов вязущее образует сплошную оболочку вокруг волокон льняных очесов, препятствующую возгоранию волокнистого структурообразующего материала при воздействии огня. При повышении температуры стекловидный слой жидкого стекла трансформируется в пористую структуру в результате вспучивания с дальнейшим переходом в вязко-текучее состояние.

Испытания по определению группы горючести и дымообразующей способности утеплителя на основе очесов проводили в Гродненском областном управлении МЧС Республики Беларусь. По результатам испытаний в соответствии с протоколом № 101 от 02.09.2019 года плиты теплоизоляционные из льняных очесов относятся к группе горючести Г4 и к группе материалов с малой дымообразующей способностью Д1. В протоколе отмечается, что материал самостоятельно не горит, а продолжительность самостоятельного тления составляет 6,5 часов.

Эксперимент на огнестойкость позволил установить, что теплоизоляционные плиты имеют отличия в механизмах деструктивных процессов, происходящих в волокнистой структуре утеплителей при воздействии огня. В результате утеплитель из очесов льна, имеющий такой же показатель горючести, как и плиты «Акотерм флак», является более безопасным для здоровья человека в случае возникновения пожара в здании.

Выводы. По итогам проведенных испытаний установлена эффективность использования теплоизоляционных плит из очесов в стеновом ограждении с вентилируемой системой утепления. В сухом состоянии коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала на основе льняных очесов равен $0,038 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. При эксплуатации стенового ограждения утеплитель из очесов льна имеет показатель влажности, равный 15,5 % и обеспечивает при температуре наружного воздуха $-19 \text{ }^\circ\text{C}$ сопротивление теплопередачи $3,04 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. Аналогичные стеновые конструкции с теплоизоляционными материалами на основе волокон льна и смеси льняных и полиэфирных волокон по сопротивлению теплопередачи приближаются к установленному значению стены с утеплителями из очесов льна.

Проведенные исследования теплоизоляционных плит из очесов льна показали, что утеплитель одинаково хорошо разрезается ножом с острым лезвием, а также пилется угловой шлифмашиной и циркулярной пилой. Монтаж теплоизоляционного материала к стеновому ограждению может производиться при помощи дюбель-гвоздей. Отверстия для дюбелей в утеплителе возможно выполнять при помощи заостренного стального или полимерного стержня необходимого диаметра.

В процессе исследования установлено, что теплоизоляционный материал на основе льняных очесов относится к группе горючести Г4 и обладает коэффициентом дымообразования Д1. Воздействие открытого пламени не вызывает возгорания утеплителя, происходит только вытлевание волокон очесов утеплителя в течении длительного периода времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакатович А.А., Романовский С.А. Степень влияния факторов на основные физико-механические показатели теплоизоляционных плит из очесов // Вест. Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Прикладные науки. Строительство. 2018. № 16. С. 87–92.
2. Лучинин С.Г., Кожухов В.А., Алашкевич Ю.Д. Использование вторичного целлюлозного

волокна в производстве теплозвукоизоляционных материалов // Решетневские чтения. 2017. Том 2. С. 147–148.

3. Стрикун В.В., Баяднин М.А., Намятов А.В., Ермолин В.Н. Получение теплоизоляционного материала из древесного волокна на основе биоклея // Актуальные проблемы лесного хозяйства. 2017. № 48. С. 86–87.

4. Ермолина А.В., Миронов П.В., Бывшев А.В. Получение теплоизоляционного плитного материала на основе древесного волокна // Актуальная проблема лесного комплекса. 2010. № 25. С. 186–189.

5. Журавлева Л.Н., Журавлева А.Н. Мягкие древесноволокнистые плиты – теплоизоляционный материал // Вестник КрасГАУ. 2010. № 11. С. 181–184.

6. Пат. 2149148, Российская Федерация. Теплоизоляционный материал / Бирюков В.И., Данилов В.В., Пашков Н.М. Заявл. 06.03.98. Оpubл. 20.05.00.

7. Бакатович А.А., Романовский С.А. Применение микроскопического анализа для оценки перспективы использования очесов волокна льна в производстве теплоизоляционного материала // Вест. Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Прикладные науки. Строительство. 2017. № 8. С. 14–18.

8. Лучинкин С.Г., Кожухов В.А., Алашкевич Ю.Д. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 6. С. 151–155.

9. Ермолина А.В., Миронов П.В. Получение и свойства теплоизоляционного материала на основе вторичной волокнистой массы // ИВУЗ. Лесной журнал. 2011. № 4. С. 109–114.

10. Горегляд С.Ю. Экологически чистые материалы для строительства // Строительные материалы. 1996. № 4. С. 5–6.

11. Иванов Г.В. Новый экологически чистый теплоизоляционный материал – эковата // Строительные материалы. 1995. № 1. С. 21.

12. Bialosau A., Bakatovich A. Materiais compostos para isolamento termico de materias primas naturais e aglutinantes minerais // Livro de Resumos 30 Congresso Luso – Brasileiro de Materiais de construcao sustentaveis. Coimbra, Portugal. 2018. Pp. 16–27.

13. Manohar K., Adeyanju A. A Comparison of Banana Fiber Thermal Insulation with Conventional Building Thermal Insulation // British Journal of Applied Science & Technology. 2016. № 17 (3). Pp. 1–9.

14. Бакатович А.А. Микроструктура как основной критерий, определяющий использование мха сфагнума в качестве заполнителя для эффек-

тивного плитного теплоизоляционного материала // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. 2017. № 8. С. 42–46.

15. Becerra C., Montory J. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus // The 13 th pacific rim bio-based composites symposium «Bio-based composites for a sustainable future, Chile. 2016. Pp. 46–50.

16. Якунина Е.А. Современные теплоизоляционные материалы, как одна из тенденций экологического строительства // Синергия наук. 2018. № 24. С. 625–634.

17. Богатова Т.В., Двойцына А.И. Преимущества и особенности безопасных природных утеплителей // Инженерные сети и сооружения. 2016. № 3–4 (24–25). С. 14–19.

18. Rozyev M., Bakatovich A. Thermal insulation material, using waste cotton production as a placeholder // XI Junior Researchers Conference. European & national dimension in research. Architecture and civil engineering. Polotsk state University. Novopolotsk, PSU, 2019. № 11. Pp. 64–66.

19. Бакатович, А.А., Розыев М.А. Теплоизоляционный материал на заполнителе из отходов переработки хлопкового волокна // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. 2019. № 8. С. 29–33.

20. Hassan S., Tesfamichael A., Mohd Nor M. Comparison study of thermal insulation characteristics from oil palm fibre // MATEC Web of Conferences. ICPER 2014 - 4 th International Conference on Production, Energy and Reliability. 2014. № 13. P. 5.

21. Romanovskiy S., Bakatovich A. Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree // European and National Dimension in Research: IX Junior Researchers Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017: in 3 p. Polotsk stage University. Novopolotsk, PSU. 2017. P. 3. Pp. 104–107.

22. Советников Д.О., Семашкина Д.О., Баранова Д.В. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 12 (51). С. 7–19.

23. ТУ ВУ 391129716.001-2015. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия. Введ. 27.07.2015. Ореховск. 2015. 10 с.

24. Бакатович А.А., Романовский С.А. Особенности влияния влажности на теплопроводность волокнистого теплоизоляционного материала из очесов льна // Материалы II международной научной конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство». г. Омск, 18-19

апреля 2019 г. Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет. 2019. С. 432–439.

25. Давыденко Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего // дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. 2016. 104 с.

Информация об авторах

Романовский Сергей Александрович, ассистент кафедры строительного производства. E-mail: s.romanovskiy@psu.by. Полоцкий государственный университет. Республика Беларусь, 211446, Новополоцк, ул. Блохина, д. 29.

Поступила 18.05.2021 г.

© Романовский С.А., 2022

Romanovskiy S.A.

Polotsk state university

E-mail: s.romanovskiy@psu.by

EXPERIENCE OF APPLICATION OF HEAT-INSULATING PLATES BASED ON PLANT FIBERS

Abstract. The article presents the results of studies proving the effectiveness of the use of heat-insulation plates containing noil of flax as a structure-forming material.

Information on field tests in the construction of a wall enclosure with a ventilated insulation system of an operated one-story residential building and studies of the operational and technological characteristics of heat-insulating materials made of flax fiber is presented. On the basis of experimental data, the values of the heat transfer resistance of the wall enclosure are calculated at an air temperature of -2°C to -19°C . The dependences of the distribution of moisture over the thickness of the heat-insulating layer are constructed. The test results shows that during the operation of an external wall fence with a ventilated insulation system, the moisture content of the heat-insulating material based on noils of flax is 15.5%. The outside air temperature of -19°C it has a heat transfer resistance similar to that of the Acoterm Flax heat-insulating plate, equal to $3,04 (\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{W}$. The study of technological characteristics shows that flax noils insulation can be cut, sawn and mounted to a wall fence using dowel-nails. The fire resistance tests carried out shows that the heat-insulating plates based on flax fibers do not ignite under the influence of fire, but the fibers of the noils are pulled out. The material belongs to the G4 combustible group and has a low smoke-generating ability.

As a result of the research, the rational use of flax noils for the production of heat-insulating boards has been substantiated.

Keywords: flax noils, heater, humidity, thermal resistance of heat transfer, fire resistance.

REFERENCES

1. Bakatovich A.A., Romanovskiy S.A. The degree of influence of factors on the main physical and mechanical indicators of heat-insulating slabs from fleece [Stepen' vliyaniya faktorov na osnovnye fiziko-mekhanicheskie pokazateli teploizolyatsionnykh plit iz ochesov]. Herald of Polotsk State University. Ser. F, Civil engineering. Applied sciences. 2018. No. 16. Pp. 87–92.

2. Luchinin S.G., Kozhukhov V.A., Alashkevich Yu.D. The use of recycled cellulose fiber in the production of heat and sound insulation materials [Ispol'zovanie vtorichnogo tsellyuloznogo volokna v proizvodstve teplozvukoizolyatsionnykh materialov]. Reshetnev readings. 2017. Vol. 2. Pp. 147–148.

3. Strikun V.V., Bayadnin M.A., Namyatov A.V., Ermolin V.N. Obtaining heat-insulating material from wood fiber based on bio-adhesive [Poluchenie teploizolyatsionnogo materiala iz drevesnogo

volokna na osnove biokleya]. Actual problems of forestry. 2017. No. 48. Pp. 86–87.

4. Ermolina A.V., Mironov P.V., Byvshev A.V. Obtaining heat-insulating board material based on wood fiber [Poluchenie teploizolyatsionnogo plitnogo materiala na osnove drevesnogo volokna]. Actual problems of forestry. 2010. No. 25. Pp. 186–189.

5. Zhuravleva L.N., Zhuravleva A.N. Soft fibreboard - thermal insulation material [Myagkie drevesnovoloknistye plity – teploizolyatsionnyy material] KrasGAU Bulletin. 2010. No 11. Pp. 181–184.

6. Beryukov V.I., Danilov V.V., Pashkov N.M. Heat insulating material. Patent RF, no 2149148, 2000

7. Bakatovich A.A., Romanovskiy S.A. Application of microscopic analysis to assess the prospects for the use of flax fibers in the production of heat-insulating material [Primenenie mikroskopicheskogo analiza dlya otsenki perspektivy

ispol'zovaniya ochesov volokna l'na v proizvodstve teploizolyatsionnogo materiala]. Herald of Polotsk State University. Ser. F, Civil engineering. Applied sciences. 2017. No. 8. Pp. 14–18.

8. Luchinkin S.G., Kozhukhov V.A., Alashkevich Yu.D. Obtaining heat-insulating materials based on recycled cellulose fiber [Poluchenie teploizolyatsionnykh materialov na osnove vtorichnogo tsellyuloznogo volokna]. IVUZ. Forest Journal. 2017. No. 6. Pp. 151–155.

9. Ermolina A.V., Mironov P.V. [Obtaining and properties of heat-insulating material based on recycled fiber mass]. IVUZ. Forest Journal. 2011. No. 4. Pp. 109–114.

10. Goreglyad S. Yu. Environmentally friendly building materials [Ekologicheski chistye materialy dlya stroitel'stva]. Construction Materials. 1996. No. 4. Pp. 5–6.

11. Ivanov G.V. New environmentally friendly heat-insulating material – ecowool [Novyy ekologicheski chisty teploizolyatsionnyy material – ekovata] Construction Materials. 1995. No. 1. P. 21.

12. Bialosau A., Bakatovich A. Materiais compositos para isolamento termico de materias primas naturais e aglutinantes minerais. Livro de Resumos 30 Congresso Luso – Brasileiro de Materiais de construcao sustentaveis. Coimbra, Portugal. 2018. Pp. 16–27.

13. Manohar K., Adeyanju A. A Comparison of Banana Fiber Thermal Insulation with Conventional Building Thermal Insulation. British Journal of Applied Science & Technology. 2016. No. 17 (3). Pp. 1–9.

14. Bakatovich, A.A. Microstructure as the main criterion for the use of sphagnum moss as a filler for an effective plate heat-insulating material [Mikrostruktura kak osnovnoy kriteriy, opredelyayushchiy ispol'zovanie mkha sfagnuma v kachestve zapolnitelya dlya effektivnogo plitnogo teploizolyatsionnogo materiala]. Herald of Polotsk State University. Ser. F, Civil engineering. Applied sciences. 2017. No. 8. Pp. 42–46.

15. Becerra C., Montory J. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus // The 13 th pacific rim bio-based composites symposium «Bio-based composites for a sustainable future, Chile. 2016. Pp. 46–50.

16. Yakunina E.A. Modern thermal insulation materials as one of the green building trends [Sovremennyye teploizolyatsionnyye materialy, kak odna iz tendentsiy ekologicheskogo stroitel'stva]. Synergy of Sciences. 2018. No. 24. Pp. 625–634.

17. Bogatova T.V., Dvoytsyna A.I. Advantages and features of safe natural insulation [Preimush-

chestva i osobennosti bezopasnykh prirodnykh uteplyteley]. Engineering networks and structures. 2016. No 3–4 (24–25). Pp. 14–19.

18. Rozyev M., Bakatovich A. Thermal insulation material, using waste cotton production as a placeholder. XI Junior Researchers Conference. European & national dimension in research. Architecture and civil engineering. Polotsk state University. Novopolotsk, PSU, 2019. No. 11. Pp. 64–66.

19. Bakatovich A.A., Rozyev M.A. Heat-insulating material based on cotton fiber waste [Teploizolyatsionnyy material na zapolnitel' iz otkhodov pererabotki khlopokovogo volokna]. Herald of Polotsk State University. Ser. F, Civil engineering. Applied sciences. 2019. No. 8. Pp. 29–33.

20. Hassan S., Tesfamichael A., Mohd Nor M. Comparison study of thermal insulation characteristics from oil palm fibre. MATEC Web of Conferences. ICPER 2014 - 4 th International Conference on Production, Energy and Reliability. 2014. Volume 13. P. 5.

21. Bakatovich A.A., Romanovskiy S.A. Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree. European and National Dimension in Research: IX Junior Researchers Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017: in 3 p. Polotsk stage University. Novopolotsk, PSU. 2017. P. 3. Pp. 104–107.

22. Sovetnikov D.O., Semashkina D.O., Baranova D.V. The optimal thickness of the outer wall insulation to create an energy-efficient and environmentally friendly building in St. Petersburg [Optimal'naya tolshchina uteplatelya naruzhnoy steny dlya sozdaniya energoeffektivnogo i ekologichnogo zdaniya v usloviyakh Sankt-Peterburga]. Construction of unique buildings and structures. ISSN 2304-6295. 2016. No. 12 (51). Pp. 7–19.

23. TU BY 391129716.001-2015. Sound-absorbing heat-insulating plates. Technical conditions – Intr. 27.07.2015. Orekhovsk. 2015. 10 p.

24. Bakatovich A.A., Romanovskiy S.A. Features of the influence of moisture on the thermal conductivity of a fibrous heat-insulating material made of flax fleece [Osobennosti vliyaniya vlazhnosti na teploprovodnost' voloknistogo teploizolyatsionnogo materiala iz ochesov l'na]. Materials of the II International Scientific Conference «Education. Transport. Innovation. Construction». Omsk, April 18-19, 2019. Siberian State Automobile and Highway University. 2019. Pp. 432–439.

25. Davydenko N.V. Thermal insulation boards based on crop waste and inorganic binder [Teploizolyatsionnyye plity na osnove otkhodov rastenievodstva i neorganicheskogo vyazhushchego]. diss. ... Cand. tech. Sciences: 05.23.05. 2016. P. 104.

Information about the author

Romanovskiy, Sergey A. E-mail: s.romanovskiy@psu.by. Polotsk State University. Belarus.211446, Novopolotsk, st. Blokhin, 29.

Received 18.05.2021

Для цитирования:

Романовский С.А. Опыт применения теплоизоляционных плит на основе волокон растительного происхождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 31–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-31-43

For citation:

Romanovskiy S.A. Experience of application of heat-insulating plates based on plant fibers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 1. Pp. 31–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-31-43