

УДК 691.1

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ,  
СОДЕРЖАЩЕЙ БЕРЁЗОВУЮ БЕРЕСТУ****Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович, Н.В. Бакатович**Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусьe-mail: [r.abrampalski@psu.by](mailto:r.abrampalski@psu.by), [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by), [n.bakatovich@psu.by](mailto:n.bakatovich@psu.by)

*Рассмотрена возможность использования измельчённой бересты в качестве засыпной изоляции. Приведены результаты исследований по получению плитной тепловой изоляции, содержащей измельчённую бересту берёзы в виде структурообразующего материала, а жидкое стекло в качестве вяжущего компонента. Изучено влияние расходов вяжущего и бересты, на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных плит.*

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, плотность, береста, жидкое стекло.

**MAIN CHARACTERISTICS OF THERMAL INSULATION CONTAINING BIRCH BARK****R. Obrompalsky, A. Bakatovich, N. Bakatovich**

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: [r.abrampalski@psu.by](mailto:r.abrampalski@psu.by), [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by), [n.bakatovich@psu.by](mailto:n.bakatovich@psu.by)

*The possibility of using crushed birch bark as a backfill insulation is considered. The results of studies on obtaining slab thermal insulation containing crushed birch bark as a structure-forming material and liquid glass as a binder component are presented. The effect of the consumption of the binder and birch bark on the thermal conductivity coefficient of the thermal insulation slabs is studied.*

**Keywords:** thermal conductivity coefficient, density, birch bark, liquid glass.

**Введение.** В Республике Беларусь лес относится к экономически важным природным ресурсам с разнообразным породным составом. Одной из основных лесообразующих пород лесного фонда является берёза, занимающая 18,8% территории покрытой лесом [1; 2]. Кора берёзы, побочный продукт деревообработки, составляет до 15% от объёма дерева, не находит широкого применения в промышленности [3, 4]. Нахождение рациональных путей применения ежегодно образующихся объёмов берёзовой коры, весьма актуальная задача современного природопользования.

На текущем этапе строительства чётко прослеживается тенденция использования экологически чистых материалов и повышения требований по термическому сопротивлению ограждающих конструкций, что стимулирует повышенный интерес к разработке новых эффективных теплоизоляционных материалов, экологически безопасных для здоровья человека и окружающей среды [5]. Как свидетельствуют литературные источники в качестве структурообразующего материала такой тепловой изоляции возможно использовать берёзовую кору [6–8].

Технология получения тепловой изоляции из измельчённой бересты и гидролизованного суберина в качестве связующего исследована в работе [9]. Плиты формовались методом горячего прессования. Коэффициент теплопроводности полученных плит равнялся 0,041 Вт/(м·С°) при плотности 200–210 кг/м<sup>3</sup>. Следует отметить, что в исследовании отсутствуют сведения о горючести плит.

Способ получения композитных теплоизоляционных плит без связующего компонента, содержащих наружный слой коры берёзы и гидролизованную древесину лиственницы рассматривался в исследовании [10]. Полученные методом горячего прессования теплоизоляционные плиты имели коэффициент теплопроводности равный  $0,08 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$  и предел прочности при изгибе 12 Мпа, при средней плотности  $620 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Основными недостатками данного материала являются высокие показатели коэффициента теплопроводности и средней плотности.

**Экспериментальная часть.** В приведенных ниже исследованиях структурообразующим материалом для экспериментальной тепловой изоляции является береста берёзы, полученная при переработке древесины на предприятиях Витебской области.

Береста имеет белый цвет и представляет собой наружную область коры берёзы. Согласно источнику [11] на долю бересты приходится до 5,4% от веса березы.

**1. Получение фракционированной бересты для изоляции.** Подготовка структурообразующего материала заключалась в механическом измельчении с применением измельчителя «Эликор 1». После измельчения максимальный размер частиц соответствовал 10 мм. Часть смеси подвергали фракционированию через сита с ячейками диаметром 0,16–5 мм. На полученных фракциях для разных плотностей определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП–МГ4. Результаты изменения коэффициента теплопроводности бересты в зависимости от средней плотности по фракциям приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Изменение коэффициента теплопроводности бересты в зависимости от плотности и фракции частиц

Средняя плотность фракции, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности бересты, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{С}^\circ$				
	нефракционированная (диаметр ячейки 10 мм)	после фракционирования			
		фракция 5-10 мм	фракция 2,5-5 мм	фракция 1,25-2,5 мм	фракция 0,63-1,25 мм
50	0,043	0,051	0,043	0,045	0,042
75	0,042	0,047	0,041	0,044	0,039
100	0,039	0,044	0,041	0,04	0,039
125	0,039	0,044	0,04	0,039	0,037
150	0,042	0,046	0,041	0,038	0,037
175	0,043	0,046	0,043	0,04	0,04
200	0,051	0,052	0,044	0,043	0,041

Для нефракционированной бересты наименьший коэффициент теплопроводности  $0,039 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$  соответствует средней плотности в пределах 100–125  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Снижение или повышение плотности влечёт возрастание коэффициента теплопроводности на 10,2–30,7%.

Следует отметить, что для фракции 5–10 мм в сравнении с нефракционированной берестой значения коэффициента теплопроводности показали тенденцию в сторону увеличения до 18,6%, при минимальной величине  $0,044 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$  для образцов плотностью 100–125  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Показатели коэффициента теплопроводности фракции 2,5–5 мм практически совпадают со значениями нефракционированной бересты. Наименьшие показатели коэффициента теплопроводности  $0,04–0,041 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$  получены на плотностях 75–150  $\text{кг}/\text{м}^3$ . При этом отмечается существенное снижение коэффициента теплопроводности на 15,4% до показателя  $0,044 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$  при плотности 200  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Уменьшение размеров частиц до фракции 1,25–2,5 мм позволяет при плотности 150  $\text{кг}/\text{м}^3$  получить коэффициент теплопроводности бересты равный  $0,038 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С}^\circ)$ , что на 7,3–17,4% ниже значений более крупных фракций. Повышение или понижение плотности частиц влечёт повышение коэффициента теплопроводности на 13,1–18,4%.

При исследовании фракции 0,63–1,25 мм установлено, что в основном береста имеет показатели коэффициента теплопроводности на 7,7–19,6% ниже значений нефракционированной смеси. Аналогичная тенденция сохраняется при сравнении с фракционированной берестой. Так для фракции 1,25–2,5 мм показатель коэффициента теплопроводности в основном выше значений фракции 0,63–1,25 мм на 5–13%.

При плотности 125–150 кг/м<sup>3</sup> на фракции 0,63–1,25 мм удаётся получить минимальный коэффициент теплопроводности 0,037 Вт/(м·°С). В случае снижения плотности до 50 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности повышается на 13,5%, но при этом имеет наименьший показатель из рассматриваемых фракций. С повышением показателя плотности до 200 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности увеличивается на 10,8% и является минимальным из полученных по фракциям.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности использования механически измельчённой бересты без фракционирования с размером частиц по ширине менее 10 мм и после фракционирования с размерами частиц по ширине 1,25–2,5 мм и 0,63–1,25 мм в качестве высокоэффективной изоляции обеспечивающей коэффициент теплопроводности на уровне 0,037–0,4 Вт/(м·°С).

**2. Получение образцов-плит из измельчённой бересты и жидкого стекла.** Предварительно производили дозировку всех компонентов. Жидкое стекло добавляли к измельчённой бересте и перемешивали до равномерного распределения вяжущего в смеси, после чего производили формовку плиты. Далее форму накрывали крышкой и устанавливали под пресс. Крышку опускали до требуемой высоты плиты и фиксировали в нагруженном состоянии при давлении 0,01 МПа на 6 часов. Затем плиту высушивали в течение 10 часов в сушильном шкафу при температуре 45–50 °С до постоянной массы. Плотность и коэффициент теплопроводности плит определяли после остывания до температуры 20±2 °С.

Исследование влияния вяжущего компонента на коэффициент теплопроводности плит из измельчённой бересты проводили на фракции 2,5–5 мм, составляющей 50% от общей массы бересты, получаемой после измельчения. Содержание остальных фракций не превышает 11–18%. По результатам исследований построены зависимости представленные на рисунке 1.

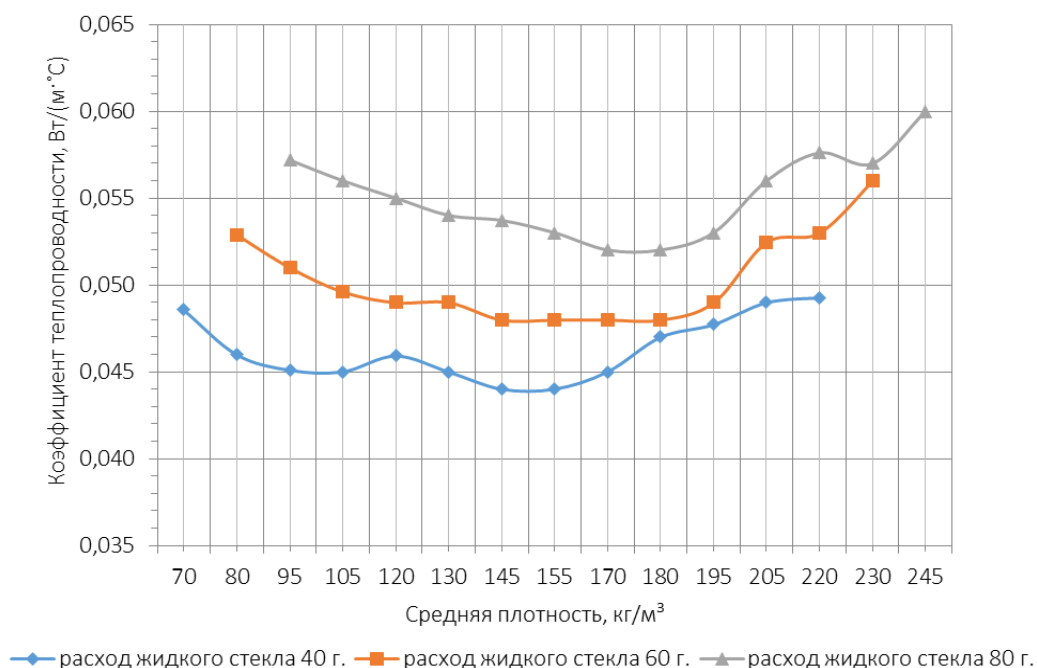


Рисунок 1. – Влияния расхода жидкого стекла и плотности измельчённой бересты на коэффициент теплопроводности плит

Предварительные исследования по выбору оптимального расхода структурообразующего материала показали, что для формирования плотной структуры плит с минимальным количеством пустот требуемая средняя плотность измельчённой бересты составляет  $125 \text{ кг/м}^3$ . Уменьшение средней плотности структурообразующего материала приводит к недостаточной жесткости отформованных плит.

В процессе подбора оптимальных составов учитывался не только коэффициент теплопроводности, но и состояние плит после сушки. При введении жидкого стекла в количестве 20–30 грамм по сухому веществу, на поверхности плит наблюдалось шелушение частиц бересты или фиксировалась слабосвязанная структура, не обеспечивающая жесткость и геометрию тепловой изоляции. Жесткие плиты без шелушения поверхности получены при расходе жидкого стекла в пределах 40–80 грамм на образец.

При введении жидкого стекла в количестве 40 грамм минимальный показатель коэффициента теплопроводности равный  $0,044 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  зафиксирован при плотности плит  $145\text{--}155 \text{ кг/м}^3$ . Повышению или понижению средней плотности приводит к увеличению коэффициента теплопроводности на 11,3%, достигающего значения  $0,049 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  при средней плотности плит  $70 \text{ и } 220 \text{ кг/м}^3$ . Прирост коэффициента теплопроводности относительно показателей бересты без связующего находится в пределах 9,8–13%. Следует отметить, что использование жидкого стекла совместно с измельчённой берестой приводит к повышению плотности плит относительно показателей структурообразующего материала без вяжущего компонента. Так масса бересты в плите плотностью  $70 \text{ кг/м}^3$  равна массе бересты без жидкого стекла плотностью  $50 \text{ кг/м}^3$  (см. таблицу 1).

Присутствие 60 грамм жидкого стекла в экспериментальных плитах, влечёт увеличение коэффициента теплопроводности в пределах 4,2–13,6% относительно расхода 40 грамм вяжущего на плиту. Так при плотности плит  $80 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплопроводности равен  $0,057 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , что на 8,8% выше значения состава при той же массе бересты с меньшим расходом жидкого стекла. Постепенное увеличение средней плотности плит до  $145 \text{ кг/м}^3$ , приводит к понижению коэффициента теплопроводности на 9,4%, достигая минимального значения  $0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . Данный показатель коэффициента теплопроводности сохраняется при плотности плит до  $180 \text{ кг/м}^3$ , после чего постепенно повышается на 16,7% и при плотности  $230 \text{ кг/м}^3$  достигает  $0,056 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

Повышение расхода жидкого стекла на образец-плиту до 80 грамм обеспечивает, прирост коэффициента теплопроводности в пределах 16,3–22% относительно составов с минимальным расходом вяжущего. Наименьший коэффициент теплопроводности равный  $0,052 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  получен при плотности плит  $170\text{--}180 \text{ кг/м}^3$ . Увеличение или понижение средней плотности плит приводит к приросту коэффициента теплопроводности на 9,6% при плотности  $85 \text{ кг/м}^3$  и на 15,3% при плотности  $245 \text{ кг/м}^3$ .

#### **Заключение.**

1. Использование нефракционированной измельчённой бересты (фракция 10 мм и менее), а также фракции 0,63–2,5 мм дает возможность получать при плотности смеси  $100\text{--}150 \text{ кг/м}^3$  засыпную теплоизоляцию с коэффициентом теплопроводности  $0,037\text{--}0,039 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

2. Введение жидкого стекла в качестве связующего компонента, обеспечивает формирование жёстких плит из бересты фракции 2,5–5 мм с коэффициентом теплопроводности  $0,044\text{--}0,052 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , плотностью  $145\text{--}180 \text{ кг/м}^3$ . Минимальное значение коэффициента теплопроводности для плитной изоляции равное  $0,044 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  зафиксировано при плотности  $145 \text{ кг/м}^3$  и расходе жидкого стекла на образец-плиту 40 грамм по сухому веществу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белаш, К. А. Современное состояние лесов и основные направления развития лесного хозяйства в республике Беларусь / К. А. Белаш // Современное общество: глобальные и региональные процессы: материалы VI Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 16–17 марта 2021 года / Научно-издательский центр «Открытие». – Моррисвилль: Лулу Пресс, 2021. – С. 13–17.
2. Бухтик, М. И. Лесное хозяйство Беларуси: эффективное использование / М. И. Бухтик, Д. С. Трухнова // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: сборник трудов XVI международной научно–практической конференции, Пинск, 29 апреля 2022 г.: в 2 ч. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.]; редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2022. – Ч. 1. – С. 21–25.
3. Апокина, Л. Ю. Изучение рациональной технологии получения биологически активных веществ из отходов деревообрабатывающей промышленности (коры березы) / Л. Ю. Апокина, М. Ю. Лежнева // Актуальные проблемы естественных наук: Материалы IX международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Н.П. Белецкой, Петропавловск-Барнаул-Сургут, 19 февраля 2021 года. – Сургут-Петропавловск: Сургутский государственный педагогический университет, 2021. – С. 6–9.
4. Федорук, М. И. Применение коры в изготовлении отделочных, конструкционных материалов и мебели / М. И. Федорук // 71-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов, 20–25 апреля 2020 г., Минск: в 4 ч. Ч. 1. - Минск: БГТУ, 2020. - С. 155–156.
5. Рудык, Н.В. Современные тенденции развития инноваций в жилищном строительстве / Н. В. Рудык, Е. К. Чиркунова // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2018. – Т. 9. – №. 1. – С. 33–37.
6. Композиционный материал на основе древесной коры: пат RU 182306 U1 / Е. В. Микрюкова, М. А. Седых, С. Р. Ахмедов. – Опубл. 14.08.2018.
7. Коновалов, К. Э. Определение водостойкости плитных материалов из березовой и сосновой коры / К. Э. Коновалов, Е. В. Микрюкова // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сборник статей II Международной научно-технической конференции, Минск, 6 – 9 декабря 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 110–113.
8. Микрюкова, Е. В. Изготовление плитных материалов из сосновой и березовой коры / Е. В. Микрюкова, С. Б. Меликиен // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 06–07 июня 2022 года / Отв. редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022. – С. 93–95.
9. Способ получения композиционного материала из коры березы: пат RU 2739888 C1 / А. С. Черных, А. С. Сысоев. – Опубл. 29.12.2020.
10. Способ получения изоляционных композитных плит из растительных отходов: пат RU 2 440 234 C1 / Ю. Г. Скурыдин, Е. М. Скурыдина. – Опубл. 20.01.2012.
11. Ведерников, Д. Н. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (Betulaceae) по высоте дерева / Д. Н. Ведерников, Н. Ю. Шабанова, В. И. Рошин // Химия растительного сырья. – 2010. – №. 2. – С. 43–48.