

УДК 691.12:699.86:536.21

## СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ИЗ КОРЫ ОСИНЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

**Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь  
e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*В статье рассмотрено влияние фракционного состава и средней плотности структурообразующего материала из коры осины на теплопроводность изоляционных материалов. Проведены исследования гранулометрического состава для различных фракций коры измельчённой в сухом и увлажнённом состоянии. Установлено, что наибольшим теплоизолирующим эффектом обладает кора осины фракции 0,16–2,5 мм при плотности 175–225 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности составляет 0,053–0,055 Вт/(м·°С).*

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, плотность, кора осины.

## ASPEN BARK STRUCTURE-FORMING MATERIAL FOR THERMAL INSULATION

**R. Obrompalsky, A. Bakatovich**

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus  
e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

*This article examines the influence of the particle size distribution and average density of aspen bark structure-forming material on the thermal conductivity of insulating materials. The particle size distribution was analyzed for various bark fractions, crushed in dry and wet conditions. It was found that aspen bark with a particle size distribution of 0,16–2,5 mm and a density of 175–225 kg/m<sup>3</sup> exhibits the greatest thermal insulation effect, with a thermal conductivity coefficient of 0,053–0,055 W/(m·°C).*

**Keywords:** thermal conductivity coefficient, density, aspen bark.

**Введение.** Перспективным направлением повышения экологической безопасности строительных материалов выступает применение отходов биомассы как возобновляемого сырья для производства теплоизоляционных композитов, что позволяет одновременно обеспечивать эффективное теплосбережение и снижать нагрузку на экосистему [1].

Возможным источником сырья для производства тепловой изоляции является древесная кора, обладающая пористой структурой и сравнительно низкой плотностью, что обуславливает пониженную теплопроводность [2; 3].

Теплоизоляционный материал на основе коры лиственницы разработан учёными из Словакии [4]. Плиты формовались методом горячего прессования, в качестве связующего компонента использовали мочевиноформальдегидный клей. Коэффициент теплопроводности изоляции варьировался в пределах 0,065–0,107 Вт/(м·°С), при средней плотности от 362 до 688 кг/м<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что при производстве и эксплуатации изделий, содержащих мочевиноформальдегидные смолы, выделяется формальдегид – токсичный канцероген, способный вызывать раздражение слизистых, аллергические реакции, головные боли, а при длительном воздействии, повышает риск развития онкозаболеваний [5; 6].

Использование термически модифицированной коры тополя в качестве структурообразующего материала для получения изоляционных панелей предложено в работе [7]. Коэффициент теплопроводности плит, полученных методом горячего прессования находился в пределах 0,064–0,067 Вт/(м·°C), при средней плотности 336–352 кг/м<sup>3</sup>. Отмечается, что предварительная термическая обработка коры снижает водопоглощение и набухание готовых плит.

Сотрудники лаборатории «Green constructions» Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой исследовали возможность получения тепловой изоляции содержащей измельчённую бересту в качестве структурообразующего материала и жидкого стекла, как связующего компонента [8; 9]. Полученные теплоизоляционные плиты обеспечивают коэффициент теплопроводности 0,044–0,052 Вт/(м·°C), при плотности 145–180 кг/м<sup>3</sup>.

**Экспериментальная часть.** В приведенных ниже исследованиях структурообразующим материалом для экспериментальной тепловой изоляции является кора осины, полученная при переработке древесины на предприятиях Полоцкого района.

Согласно исследованию [10] массовая доля коры по отношению к массе ствола составляет от 13,3 до 16,9% в зависимости от возраста дерева.

*Определение гранулометрического состава механически измельчённой коры осины.* В рамках экспериментальной работы проведена подготовка образцов коры осины. Кора осины измельчалась механически, с использованием измельчителя, снабжённого внутренним ситом с диаметром ячеек 10 мм. После чего, измельчения кора подвергалась фракционированию с помощью набора сит, имеющих размеры ячеек от 0,16 до 5 мм. Гранулометрическое исследование позволило выделить отдельные фракции, отличающихся не только размером, но и формой частиц.

Для исследования влияние влажности материала на процесс разрушения коры и получения частиц разного размера, кора измельчалась в двух состояниях: высушенной до естественной влажности 5–6% и при влажности 20–30%. Гранулометрический состав по фракциям приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Гранулометрический состав коры осины после механического измельчения

Влажность коры, %	Содержание фракции, %					
	5–10 мм	2,5–5 мм	1,25–2,5 мм	0,63–1,25 мм	0,16–0,63 мм	пылевидный отсев
5–6	14,1	32,8	11,5	15,1	20,5	6
20–30	12,8	31,8	13,9	17,7	20,7	3

Из дроблёной в сухом состоянии коры максимальное количество 32,8% приходится на фракцию 2,5–5 мм. Пятую часть полученной массы составляет фракция 0,16–0,63 мм, а пылевидный отсев равен 6%. Таким образом можно отметить, что кора в сухом состоянии разрушается, как твердый хрупкий материал. На крупные фракции 2,5–10 мм приходится 46,9%, на мелкие 0,16–1,25 мм – 35,6% при разнице в 11,4%. Причём количество наиболее мелкой фракции 0,16–0,63 мм составляет 20,5%.

При повышении влажности до 20–30% фиксируется незначительное уменьшение содержания частиц фракции 2,5–10 мм. Содержание средних частиц фракции 1,25–2,5 мм возрастает на 20,9%. Количество частиц фракции 0,63–1,25 мм увеличивается на 17,2%. Процентное содержание фракции 0,16–0,63 мм остается на уровне фракции коры естественной влажности, а содержание пылевидного отсева снижается в 2 раза.

Таким образом, при увеличении влажности кора измельчается с уменьшением содержания крупных фракций 2,5–10 мм и увеличением количества средних и мелких фракций. Кроме того, существенно сокращается образование пыли. Разница между количеством крупных и мелких фракций сокращается почти в 2 раза до 6,2%.

*Определение плотности и коэффициента теплопроводности коры осины, измельчённой механически.* После отсева коры осины на полученных фракциях, для разных плотностей определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП-МГ4. Результаты изменения коэффициента теплопроводности коры осины в зависимости от средней плотности по фракциям приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Изменения коэффициента теплопроводности коры осины в зависимости от средней плотности по фракциям

Состав	Фракции	Средняя плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности смеси, Вт/(м·°С)
1	Нефракционированная	210	0,057
2		240	0,062
3		280	0,071
4	5–10 мм	150	0,069
5		175	0,070
6		200	0,074
7	2,5–5 мм	160	0,069
8		175	0,067
9		200	0,071
10	1,25–2,5 мм	165	0,056
11		175	0,055
12		200	0,057
13	0,63–1,25 мм	185	0,058
14		200	0,055
15		225	0,06
16	0,16–0,63 мм	200	0,057
17		225	0,053
18		250	0,059

Для нефракционированного состава наблюдается постепенное увеличение коэффициента теплопроводности при росте плотности: от 0,057 Вт/(м·°С) при 210 кг/м<sup>3</sup> до 0,071 Вт/(м·°С) при 280 кг/м<sup>3</sup>. Повышение плотности на 33% сопровождается увеличением коэффициента теплопроводности на 24,6%, что указывает на снижение общего объема замкнутых пустот в структуре материала. Таким образом наименьший коэффициент теплопроводности достигается при плотности 210 кг/м<sup>3</sup>.

Составы 4 и 5 при изменении плотности со 150 до 175 кг/м<sup>3</sup> демонстрируют практически идентичные показатели коэффициента теплопроводности, при дальнейшем увеличении плотности до 200 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности равен 0,074 Вт/(м·°С), что соответствует приросту на 7,2%. Из чего следует, что формирование более плотной структуры матрицы вызывает увеличение площади соприкосновения крупных частиц в контактных точках.

Для фракции 2,5–5 мм при плотности 160 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности составляет 0,069 Вт/(м·°С). Незначительное снижение коэффициента теплопроводности до 0,067 Вт/(м·°С) фиксируется при плотности 175 кг/м<sup>3</sup>. Дальнейшее повышение плотности до 200 кг/м<sup>3</sup> влечёт увеличение коэффициента теплопроводности на 6% относительно минимального значения и достигает 0,071 Вт/(м·°С).

В диапазоне плотностей от 165 до 200 кг/м<sup>3</sup> (составы 10–12) коэффициент теплопроводности находится в пределах 0,055–0,057 Вт/(м·°С). Минимальное значение коэффициента теплопроводности 0,055 Вт/(м·°С) соответствует плотности 175 кг/м<sup>3</sup> (состав 11). По полученным данным видно, что для фракции 1,25–2,5 мм в сравнении с фракцией 2,5–5 мм показатели коэффициента теплопроводности значительно уменьшились на 17,9–19,7% и находятся в пределах 0,055–0,057 Вт/(м·°С).

Аналогичная зависимость наблюдается для фракции 0,63–1,25 мм. При увеличении плотности до 200 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности снижается на 5,2% с 0,058 до 0,055 Вт/(м·°С). Дальнейший рост плотности вызывает увеличение коэффициента теплопроводности до 0,06 Вт/(м·°С), то есть наблюдается прирост на 9,1% относительно минимального значения.

Коэффициент теплопроводности фракции 0,16–0,63 мм при плотности 225 кг/м<sup>3</sup> снижается на 7% относительно показателя 0,057 Вт/(м·°С) при плотности 200 кг/м<sup>3</sup>. Фиксируется повышение коэффициента теплопроводности на 11,3% с возрастанием плотности до 250 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, минимальное значение коэффициента теплопроводности равное 0,053 Вт/(м·°С) достигается при плотности 225 кг/м<sup>3</sup>.

Для мелких фракций (составы 10–18) минимальный коэффициент теплопроводности равен 0,053–0,055 Вт/(м·°С). Однако наблюдается зависимость, что с уменьшением фракции повышается показатель плотности, соответствующий минимальному коэффициенту теплопроводности. Данная зависимость обусловлена формированием более плотной матрицы из структурообразующего материала с замкнутыми пустотами минимальных размеров. При этом увеличение точек контактов между частицами компенсируется повышением количества замкнутых микропустот.

**Заключение.** На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Проведённые исследования гранулометрического состава показали, что при механическом измельчении коры осины с влажностью 20–30% доля средних и мелких фракций увеличивается на 17,2–20,9%, а количество пылевидных частиц сокращается в 2 раза.

2. Эксперименты с механически измельчённой корой осины позволили установить, что применение фракций 0,16–2,5 мм позволяет получить структурообразующий материал со средней плотностью 175–225 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности 0,053–0,055 Вт/(м·°С).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lisowski, P. Promising biomass waste-derived insulation materials for application in construction and buildings / P. Lisowski, M.A. Glinicki // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2025. – Т. 15. – № 1. – С. 57–74. DOI: 10.1007/s13399-023-05192-8.
2. Pásztor, Z. The thermal insulation capacity of tree bark / Z. Pásztor, I. Ronyecz // Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. – 2013. – Т. 9. – С. 111–117.
3. Giannotas, G. Tree bark utilization in insulating bio-aggregates: a review / G. Giannotas, V. Kamperidou, I. Barboutis // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 1989–1999. <https://doi.org/10.1002/bbb.2291>.
4. Kristak, L. Thermophysical Properties of Larch Bark Composite Panels / L. Kristak, I. Ruziak, E.M. Tudor, M.C. Barbu, G. Kain, R. Reh, // Polymers 2021, 13, 2287. <https://doi.org/10.3390/polym13142287>.

5. Salthammer, T. Formaldehyde in the Indoor Environment / T. Salthammer, S. Mentese, R. Marutzky // *Chemical Reviews*. – 2010. – Vol. 110, № 4. – С. 2536–2572. – DOI: 10.1021/cr800399g.
6. Swenberg, J.A. Formaldehyde carcinogenicity research: 30 years and counting for mode of action, epidemiology, and cancer risk assessment / J.A. Swenberg, B.C. Moeller, K. Lu, J.E. Rager, R.C. Fry, T.B. Starr // *Toxicologic Pathology*. – 2013. – Vol. 41, № 2. – С. 181–189. – DOI: 10.1177/0192623312466459.
7. Pásztor, Z. Insulation panels made from thermally modified bark / Z. Pásztor, D. Tsalagkas, N. Horváth, Z. Börösök // *Acta silvatica et lignaria hungarica: an international journal in forest, wood and environmental sciences*. – 2019. – Т. 15. – № 1. – С. 23–34. DOI:10.2478/aslh-2019-0002.
8. Обромпальский, Р.Л. Основные характеристики тепловой изоляции, содержащей берёзовую бересту / Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович, Н.В. Бакатович // *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. VI междунар. науч. конф., Новополоцк, 30-31 окт. 2024 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; Редкол.: Д.Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2025. – С. 227–231.*
9. Бакатович, А.А. Оценка эффективности березовой коры по физическим показателям в качестве сырьевого источника для производства тепловой изоляции / А.А. Бакатович, Р.Л. Обромпальский // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. – 2024. – № 2. – С. 24–30. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2024-37-2-24-30>.
10. Дейнеко, И.П. Элементный и групповой химический состав коры и древесины осины / И.П. Дейнеко, Н.М. Фаустова // *Химия растительного сырья*. – 2015. – № 1. – С. 51–62.