

УДК 691.12:699.86:536.21

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОНИРОВАННОЙ СОСНОВОЙ КОРЫ В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

**А.Н. Пенкрат, А.А. Бакатович**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь  
e-mail: penkrat.aleksandr555@gmail.com, a.bakatovich@psu.by

**Джи Вэнь**

Школа городского строительства, Чжэцзянский Университет Шужень, Ханьчжоу, Китай  
e-mail: wenjie@zjsru.edu.cn

*Приведены результаты исследований влияния фракционного состава измельченной коры, а также области произрастания коры на стволе сосны, на показатели коэффициента теплопроводности структурообразующего материала. Наименьший коэффициент теплопроводности 0,047–0,05 Вт/(м×°С) получен на крупной и средней фракции сосновой коры с нижней части ствола. Установлено, что на процентное содержание фракций коры после измельчения существенно влияет область произрастания коры на стволе сосны и соответственно толщина коры.*

**Ключевые слова:** кора сосны, фракция, тепловая изоляция, коэффициент теплопроводности.

## TO THE QUESTION OF USING FRACTIONATED PINE BARK AS A STRUCTURE-FORMING MATERIAL FOR THERMAL INSULATION

**A. Penkrat, A. Bakatovich**

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus  
e-mail: penkrat.aleksandr555@gmail.com, a.bakatovich@psu.by

**Jie Wen**

School of Urban Construction, Zhejiang Shuren University, Hanzhou, China  
e-mail: wenjie@zjsru.edu.cn

*The results of studies on the influence of fraction composition of ground bark, as well as the area of growth of bark on a pine trunk, on the heat conductivity coefficient of structuring material are given. The lowest coefficient of thermal conductivity 0.047 - 0.05 W/(m×°C) is obtained on a large and medium fraction of the pine crust from the lower part of the trunk. It was found that the percentage of bark fractions after grinding is significantly affected by the area of bark production on the pine trunk and, accordingly, the thickness of the bark.*

**Keywords:** bark pine, fraction, heat insulation, coefficient of thermal conductivity.

**Введение.** Использование сосновой коры в качестве компонента строительных материалов и изделий является наиболее рациональным из всех существующих решений по утилизации отхода обработки древесины. Доля коры в заготовленной древесине может достигать 8–15% в зависимости от возраста и породы [1]. По данным Министерства лесного хозяйства, приведенным в Статистическом сборнике Республики Беларусь за 2023 год заготовлено

21,881 млн м<sup>3</sup> ликвидной древесины [2]. Следовательно, объемы полученной коры составили примерно 2,8–4,2 млн м<sup>3</sup>. В европейских странах объемы производства коры также значительны. В одной только Венгрии производят 500–600 тыс. м<sup>3</sup> древесной коры [3].

Наибольшее количество исследований в строительстве посвящено использованию сосновой коры в виде заполнителя для изготовления коробетона, как правило, на цементном вяжущем [4–6]. При этом ведутся исследования по получению тепловой изоляции на основе сосновой коры.

Российскими исследователями из Сибирского государственного технического университета предлагается производить плиты из коры и вторичного полиэтилена [7]. Производство таких композитов не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. В исследовательской работе [8] подтверждается, что кора сосны, модифицированная методом взрывного авто гидролиза, может использоваться для производства пористых плитных материалов.

Теплопроводность щепы коры сосны исследовалась российскими и венгерскими учеными [9]. Показатели коэффициента теплопроводности коры сосны зафиксированы на уровне 0,0667 Вт/(м·°С). В Северном (Арктическом) федеральном университете разработан экологически чистый изоляционный материал на основе коры сосны и водного экстракта коры в качестве связующего [10]. Технология получения теплоизоляционного материала из сосновой коры фракцией 5–30 мм и стружки разработана в Поволжском государственном технологическом университете [11]. Заполнители перемешивают с карбамидоформальдегидной смолой для склеивания.

Также проводятся исследования по изучению теплофизических и акустических характеристик коры сосны для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала [12]. Проведены исследования разных фракций коры в диапазоне от 20 мм до 0,25 мм. Насыпная плотность фракционированной коры изменяется от 185,3 до 254,2 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности равен 0,0474–0,056 Вт/(м·°С), индекс изоляции воздушного шума находится в пределах 15–25,8 дБ.

Сосновая кора имеет ограниченное применение в качестве тепловой изоляции, не смотря на то, что обладает значительным потенциалом в этом направлении. Исходя из достаточно высокой плотности в насыпном состоянии – 165 кг/м<sup>3</sup>, необходимо рассматривать кору сосны с позиции комплексной изоляции, обеспечивающую как теплофизические, так и высокие акустические показатели.

Таким образом, на сегодняшний день уже существуют технологии и ведутся исследования по использованию многотоннажных отходов - сосновой коры для производства различных композитов, включая тепловую изоляцию.

**Исходные материалы.** В исследованиях для получения тепловой изоляции использовали в качестве структурообразующего материала измельченную кору сосны обыкновенной (лат. *Pinus sylvestris*), произрастающую по всей территории Республики Беларусь. Наибольший ареол распространения сосны обыкновенной расположен на севере Беларуси, где произрастают сосновые леса на больших территориях.

В свежесрезанной коре сосны содержится: лигнина 43,6%, целлюлозы 16,4%, пентозанов 6,8%, гексозанов 6%, метоксидов 3,7%, спиртового экстракта 3,5%, суберина 2,8%, урсоловых кислот 2,2% [13].

Для получения фракционированного структурообразующего материала из коры использовали измельчитель типа «Эликор-1». Размер фракций на выходе регулируется диаметром ячейки используемого сита в измельчителе. Для дополнительного фракционирования и отсева пылеватых частиц использовали сита соответствующего размера ячейки.

**Методики исследований.** Плотность измельченной фракционированной коры определяли в соответствии с ГОСТ 17177 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

Коэффициент теплопроводности фракционированной коры в насыпном состоянии без вяжущего компонента измеряли согласно СТБ 1618 «Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» на образцах размером 250×250×30 мм. Необходимое количество измельченной коры засыпали и равномерно распределяли в измерительном устройстве прибора ИТП-МГ4, для установления показателя коэффициента теплопроводности.

Для определения массы образцов использовали весы настольные электронные ВНЭ-35. Сушку материала производили в сушильном шкафу SNOL60/300 LFN.

**Экспериментальная часть.** Перед тем, как приступить к разработке составов теплоизоляционных материалов, проведен комплекс исследований по определению основных параметров заполнителя на основе коры сосны. Для исследований использовали кору с нижней и средней части стволов деревьев. За нижнюю принималась часть ствола от уровня земли на высоту 2 м. Средняя часть ствола располагается на высоте от 2 до 5 м от уровня земли.

Крупные толстые фрагменты коры с нижней части ствола состоят из 5 и более слоев, имеют толщину от 5 мм до 20 мм (рисунок 1). В средней части ствола формируется тонкая кора, состоящая из 1–3 слоев толщиной 1–4 мм (рисунок 2).



**Рисунок 1. – Кора с нижней части  
ствола сосны (толстая)**

**Рисунок 2. – Кора со средней части  
ствола сосны (тонкая)**

Для изучения плотности и коэффициента теплопроводности крупную кору нарезали на фракции размером свыше 15–20 мм, свыше 10–15 мм, свыше 8–10 мм и проводили измерения показателей.

Так, для фракции свыше 15–20 мм коэффициент теплопроводности составил 0,08 Вт/(м×°С) при плотности 191 кг/м<sup>3</sup>. С уменьшением размера частиц коры до фракции свыше 10–15 мм коэффициент теплопроводности практически не изменился и соответствовал 0,082 Вт/(м×°С), а плотность уменьшилась на 14 кг/м<sup>3</sup> до 177 кг/м<sup>3</sup>. Тенденция на понижение коэффициента теплопроводности на 11% проявилась при использовании частиц коры размером свыше 8–10 мм: показатель равен 0,073 Вт/(м×°С) при плотности 180 кг/м<sup>3</sup>.

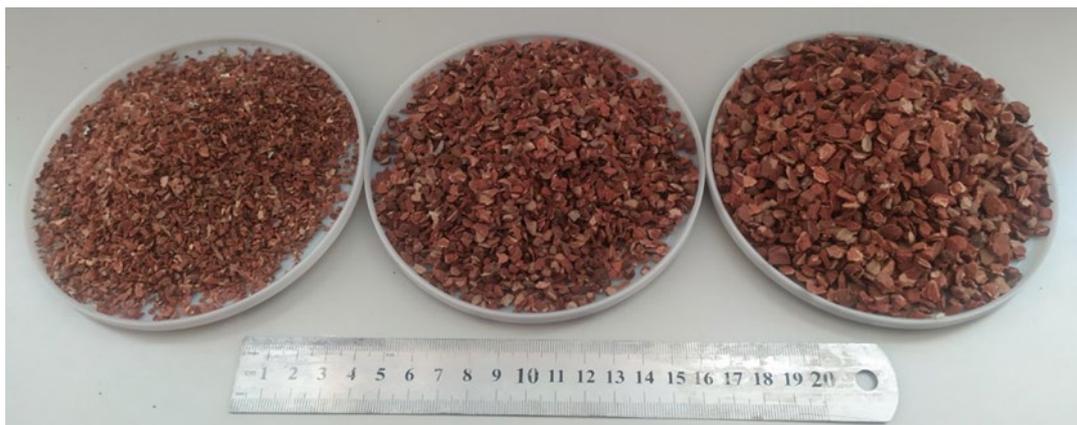
Далее частицы крупной коры фракции свыше 15–20 мм перерабатывали в измельчителе с использованием сита с диаметром отверстий 8 мм.

Из полученной пробы удаляли пылевидные и мельчайшие части коры путем отсева на сите с размером отверстий 2 мм. Затем частицы, прошедшие через сито с размером отверстий 2 мм, просеивали на сите с размером ячейки 1,25 мм. Таким образом, получали фракцию свыше 1,25–2 мм и отсев из мельчайших и пылевидных частиц коры.

Фракцию свыше 2–8 мм также получали из коры середины ствола. Полученную измельченную кору фракционировали по выше приведенной методике. Необходимо отметить, что частицы фракции, полученные из коры нижней и средней части ствола отличаются по внешнему виду и своей форме. Частицы, полученные из коры нижней части ствола, имеют форму близкую к округлой или эллипсоидной. Из коры средней части ствола при измельчении формируются частицы плосковидной или чешуйчатой формы, что обусловлено толщиной исходной коры. Можно предположить, что установленные отличия частиц коры по форме, могут повлиять на показатели плотности и теплопроводности. Для изучения данного предположения проведен ряд исследований, рассмотренный ниже.

Для фракции свыше 2–8 мм из коры нижней части ствола коэффициент теплопроводности равен 0,053 Вт/(м×°С), а для аналогичной фракции со средней части ствола показатель выше на 15% и составил 0,061 Вт/(м×°С). Коэффициент теплопроводности отличается незначительно для фракции свыше 1,25–2 мм и равен 0,061 Вт/(м×°С) и 0,064 Вт/(м×°С) соответственно.

Измельченную кору с размером частиц свыше 2–8 мм разделяли на три фракции: крупную (размеры частиц свыше 5–8 мм), среднюю (размеры частиц свыше 3–5 мм) и мелкую (размеры частиц свыше 2–3 мм). На рисунке 3 представлены фракции, полученные из крупных фрагментов коры нижней части ствола сосны.



**Рисунок 3. – Мелкая, средняя и крупная фракции коры (слева на право)**

Исследования влияния формы частиц на насыпную плотность и теплопроводность измельченной фракционированной коры приведены в таблице 1.

Мелкая фракция (свыше 2–3 мм) показывает наибольшие коэффициенты теплопроводности, совпадающие с показателями общей фракции свыше 2–8 мм. При этом коэффициент теплопроводности мелкой фракции из коры нижней части ствола меньше на 15% значения измельченной коры из средней части.

Показатели средних фракций также отличаются на 11% между собой. Коэффициент теплопроводности средней фракции коры из нижней части имеет более низкий показатель и соответствует 0,05 Вт/(м×°С).

Наименьшую теплопроводность обеспечивают крупные фракции размером свыше 5–8 мм. Фракция из нижней части ствола имеет наилучший коэффициент теплопроводности равный 0,047 Вт/(м×°С), что только на 6% ниже показателя измельченной коры со средней части ствола. Таким образом, можно говорить о незначительных отличиях полученных значений коэффициентов теплопроводности для крупных фракций.

Таблица 1. – Насыпная плотность и коэффициент теплопроводности измельченной сосновой коры

Фракция коры	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	
	нижняя часть ствола	средняя часть ствола	нижняя часть ствола	средняя часть ствола
Крупная, свыше 5–8 мм	165	168	0,047	0,05
Средняя, свыше 3–5 мм	165	170	0,05	0,056
Мелкая, свыше 2–3 мм	171	176	0,053	0,062

Следует отметить, что коэффициент теплопроводности крупной фракции нижней части ствола меньше показателя мелкой фракции только на 11%. Для средней части ствола коэффициент теплопроводности между крупной и мелкой фракциями коры имеет большее отличие и составляет 19%. При этом плотность в насыпном состоянии разных фракций коры, как для нижней, так и для средней части ствола имеет несущественные отличия и изменяется в пределах 165–176 кг/м<sup>3</sup>.

После измельчения проводили гранулометрический анализ полученной полифракционной смеси отдельно для коры с нижней и средней части ствола. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Гранулометрический состав коры после измельчения

Исходная кора	Содержание фракции, %				
	свыше 5–8 мм	свыше 3–5 мм	свыше 2–3 мм	свыше 1,25–2 мм	пылевидный отсев
средняя часть ствола	8	24,4	16,4	19,3	32,4
нижняя часть ствола	13,4	30,5	18,6	18,2	18,8

По результатам гранулометрического анализа установлено, что при измельчении коры нижней части ствола существенно сокращается образование пылевидных части в 1,72 раза относительно массы пылевидного отсева коры со средней части ствола. Для фракции свыше 1,25–2 мм содержание измельченной коры для проб из нижней и верхней части отличается незначительно. Существенные расхождения в сторону увеличения по процентному содержанию фракций в диапазоне свыше 2–8 мм отмечаются для измельченной коры с нижней части ствола. Так, для фракции свыше 2–3 мм прирост составляет 13% и содержание частиц соответствует 18,6%. Относительно количества частиц фракции свыше 3–5 мм со средней части ствола получение измельченной коры с нижней части ствола увеличилось на 25%. Содержание крупной фракции коры нижней части ствола возросло в 1,67 раза и достигает 13,4%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что предпочтительней измельчать крупные фрагменты коры, так как на выходе увеличивается на 35,5% доля крупной и средней фракции, обеспечивающих наилучшие теплотехнические показатели и значительно снижается количество пылевидных отсевов.

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

1. Фракционный состав измельченной коры, а также область произрастания коры на стволе сосны (толщина коры) влияет на коэффициент теплопроводности структурообразующего материала. Крупная фракция коры обеспечивает снижение коэффициента теплопроводности на 11,3–19,4% по сравнению с показателями мелкой фракции. Сосновая кора с нижней части ствола имеет на 6–14,5% более низкий коэффициент теплопроводности, чем коре со средней части.

2. Минимальные показатели коэффициента теплопроводности 0,047–0,05 Вт/(м×°С) достигаются на крупной и средней фракции сосновой коры с нижней части ствола. Достаточно низкие коэффициенты теплопроводности указывают на возможность использовать кору средней и крупной фракции в качестве засыпной изоляции.

3. Применение толстой коры с нижней части ствола наиболее целесообразно, так как дает возможность при измельчении увеличить количество крупной и мелкой фракции на 67% и 25% соответственно и снизить содержание пылевидных частиц в 1,72 раза по сравнению с использованием коры со средней части ствола сосны.

4. Для оценки эффективной работы фракционированной коры сосны в качестве структурообразующего материала необходимо выполнить комплекс исследований на плитном утеплителе, содержащим вяжущий компонент.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чемоданов А.Н., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Продукция комплексной переработки древесины и древесных материалов : учеб. пособие / Марийский гос. Техн. ун-т. Йошкар-Ола, 2008. – 444 с.
2. Статистический сборник. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск, 2019. – 200 с.
3. The utilization of tree bark / Z. Pastory, I.R. Mohacsine, G.A. Gorbacheva, Z. Borcsok // Bioresources. – 2016. – № 11(3). – P. 7859–7888.
4. Арболитовая смесь : а.с. 1733423 СССР / А.М. Краснов, З.С. Скибицкая, А.А. Краснов. – Оpubл. 05.15.1992, Бюл. № 24.
5. Скибицкая, З.С. Арболит на основе окорки древесины: коробетон : диссертация ... кандидата технических наук : 05.21.05 / Моск. лесотехн. ин-т. – Москва, 1990. – 191 с.
6. Волынский В. Переработка и использование древесной коры // Лес-ПромИнформ, 2012. – № 2 (84). – С. 168–170.
7. Руденко Б.Д., Плотников С.М. Режим изготовления плит из вторичного полиэтилена.
8. Ширяев Д.В., Гурунова В.С., Чемерис М.М., Мусько Н.П. Пористые плитные материалы на основе модифицированной коры // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4-1. – С. 258–260.
9. Пастори З., Мохачине И., Горбачева Г.А., Санаев В.Г. Исследования теплоизолирующей способности древесной коры // Лесотехнический журнал, №1, Деревообработка. Химические технологии. – 2017. – С. 157–161. DOI:12737/25206.
10. Килюшева Н.В., Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта // Строительные материалы. – 2016. – № 11. – С. 48–50.
11. Ахмедов С.Р., Микрюкова Е.В. Композиционный материал на основе коры и стружки // NovaUm, № 3, Технические науки. – 2018. – С. 14–16.
12. Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной тепловоздухоизоляции // Лесной журнал. – 2019. – № 2. – С. 111–118. DOI:10.17238/issn0536-1036.2019.2.111.
13. Цывин М.М. Использование древесной коры / Лесная промышленность. – Москва, 1973. – 96 с.