

УДК 666.973.2

DOI 10.52928/2070-1683-2022-31-8-38-45

## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ СОСНОВОЙ КОРЫ И ВИД ВЯЖУЩЕГО КОМПОНЕНТА КАК ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ

канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ, канд. техн. наук, доц. Н.В. БАКАТОВИЧ  
(Полоцкий государственный университет)  
А.Н. ПЕНКРАТ  
(ООО «Витгорстрой», Витебск)

*Рассмотрена возможность получения тепловой изоляции на основе сосновой коры как структурообразующего материала. Исследован гранулометрический состав с определением процентного содержания фракций в зависимости от толщины сосновой коры. Определен коэффициент теплопроводности измельченной коры по фракциям для оптимизации размеров частиц структурообразующего материала теплоизоляционных плит. В качестве вяжущих компонентов применяли модифицированное жидкое стекло и канифоль. Введение канифоли в виде мелкодисперсного порошка позволило уменьшить коэффициент теплопроводности жестких плит на крупной фракции (5–8 мм) до 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 304 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент теплопроводности составов на канифоли снизился на 10–13% по сравнению с образцами на жидком стекле.*

**Ключевые слова:** сосновая кора, канифоль, жидкое стекло, фракция коры, коэффициент теплопроводности, плотность, теплоизоляционная плита.

**Введение.** Древесная сосновая кора является массовым отходом деревообрабатывающего производства, не имеющим масштабного промышленного применения. Однако в последнее время наметилось стремление предприятий перейти к безотходным и малоотходным ресурсосберегающим технологиям, предусматривающим утилизацию сосновой коры [1].

В настоящее время кору используют в качестве удобрения, брикетов или гранул для твердотопливных отопительных котлов и для извлечения химических соединений. Но все же основная доля коры вывозится на свалки или сжигается, что приводит к крайне нежелательным последствиям (повышение пожарной опасности, загрязнение окружающей среды). Кроме того, вывоз коры, содержание отходов, аренда территорий требуют материальных затрат [2].

Наиболее простой способ утилизации – использование коры в виде мульчи разных фракций в садоводстве и ландшафтном дизайне<sup>1</sup>. На примере мульчи можно отметить ряд положительных свойств сосновой коры. Сосновая кора, уложенная вокруг основания кустарников и деревьев, хорошо проявляет себя при засухе и при затяжных дождях, так как не пропускает излишнюю влагу в почву и, вместе с тем, препятствует интенсивному испарению из грунта. Благодаря высокой стойкости к загниванию кора может оставаться на поверхности почвы 2–3 года без каких-то видимых разрушений.

В строительной отрасли наибольшее количество исследований посвящено использованию сосновой коры в виде заполнителя для изготовления коробетона, как правило, на цементном вяжущем<sup>23</sup> [3]. Также известна технология получения материалов различного назначения на основе древесных отходов и термопластичных полимеров под названием WPC (Wood-Polymer-Composites) [4]. Аналогично данной технологии российскими исследователями из Сибирского государственного технического университета предлагается производить плиты из коры и вторичного полиэтилена [5].

Мировой опыт получения тепловой изоляции на основе коры различных пород деревьев указывает на перспективность таких исследований. Известно использование волокон коры масличной пальмы, коры пробкового дуба, эвкалипта, белой акации, тополя, лиственницы, ели в виде исходного сырья для теплоизоляционных материалов<sup>45</sup> [6–9]. Анализ литературных источников показал, что сосновая кора имеет крайне ограниченное применение в качестве тепловой изоляции, однако обладает значительным потенциалом в этом направлении.

Экологически чистый изоляционный материал на основе коры сосны получен в Северном (Арктическом) федеральном университете [10]. Прочность полученных образцов составила 0,46–0,51 МПа, а теплопроводность равна 0,124–0,204 Вт/(м·°С). В Поволжском государственном технологическом университете (г. Йошкар-Ола) разработана технология получения теплоизоляционного материала из сосновой коры фракцией 5–30 мм и древесной стружки [11].

Проведены исследования по изучению теплофизических и акустических характеристик коры сосны для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала [12]. Исследования проводили на фракции коры 0,5–1,0 мм. После обработки частицами базальта насыпная плотность коры составила 313 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,0651 Вт/(м·°С), индекс изоляции 28,5 дБ.

<sup>1</sup> Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clipping and Rock. 2009. URL: <https://cmg.extension.colostate.edu/Gardennotes/245.pdf>.

<sup>2</sup> Арболитовая смесь : а. с. 1733423 СССР / А.М. Краснов, З.С. Скибицкая, А.А. Краснов. – Оpubл. 05.15.1992, Бюл. № 24.

<sup>3</sup> Скибицкая, З.С. Арболит на основе окорки древесины: коробетон. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008106835>.

<sup>4</sup> Особенности утепления стен пробкой. URL: <https://vashdizajn.ru/steny/uteplenie-sten-iznutri-probkoi/>.

<sup>5</sup> Becerra, C.F., Montory, J.S, Vega-Lara, J., Norambuena-Contreras, J. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. URL: [https://www.researchgate.net/publication/314240239\\_New\\_Biobased\\_composite\\_material\\_using\\_bark\\_fibres\\_Eucalyptus](https://www.researchgate.net/publication/314240239_New_Biobased_composite_material_using_bark_fibres_Eucalyptus).

Из приведенной информации следует, что потенциал сосновой коры как самостоятельного структурообразующего материала для тепловой изоляции исследован недостаточно и требует дополнительного изучения. Таким образом, целью приведенных в работе исследований являлось получение теплоизоляционных плит на основе измельченной фракционированной сосновой коры и экологически безопасных вяжущих материалов.

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

Доля коры в заготовленной древесине может достигать 8–15% в зависимости от возраста и породы [2]. По данным Министерства лесного хозяйства, приведенным в Статистическом сборнике Республики Беларусь<sup>6</sup> за 2018 год, заготовлено 28,59 млн м<sup>3</sup> ликвидной древесины. Следовательно, объемы полученной коры составили примерно 2,8–4,2 млн м<sup>3</sup>. Ежегодно в России производится около 30 млн м<sup>3</sup> древесной коры [13]. В европейских странах объемы производства коры также значительны. В одной только Венгрии производят 500–600 тыс. м<sup>3</sup> древесной коры [14]. Основными веществами, содержащимися в коре сосны, являются лигнин – 44%, целлюлоза – 16%, пентозаны – 7% и гексозаны – 6% [15].

Для получения фракционированного структурообразующего материала из коры использовали измельчитель типа Эликор-1. Лабораторные сита соответствующего размера ячейки использовали для дополнительного фракционирования и отсева пылеватых частиц.

При формовке экспериментальных теплоизоляционных плит в качестве вяжущего применяли натриевое жидкое стекло, произведенное на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (Беларусь) и отвечающее требованиям ГОСТ 13078.

В качестве модифицирующих добавок в жидкое стекло вводили известь и гипс. Гидратная известь II сорта без добавок производства ОАО «Забудова» (Беларусь) соответствует требованиям СТБ ЕН 459-1. Гипс, изготовленный на ОАО «Белгипс» (Беларусь), соответствует требованиям ГОСТ 125-79.

Также использовали канифоль из смолы сосны как вяжущий экологически безопасный компонент теплоизоляционных плит. Канифоль (лат. *colophonia resina*) – колофонская смола, представляет собой достаточно хрупкое аморфное вещество стекловидной структуры, имеющее характерный стеклянный блеск. Производится канифоль из живицы – смолянистого вещества, выделяемого хвойными деревьями при их механическом повреждении. Для изготовления образцов тепловой изоляции использовали сосновую канифоль марки А производства ООО «СДС-Группа» (Россия). Канифоль применяли в виде тонкодисперсного порошка. Предварительно канифоль измельчалась и просеивалась через сито № 0.315. В итоге получали светло-желтый порошок.

**Методики исследований.** Основные физические показатели теплоизоляционных плит – плотность, влажность – определяли в соответствии с ГОСТ 17177 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний». Коэффициент теплопроводности экспериментальных утеплителей измеряли согласно СТБ 1618 «Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» на образцах-плитах размером 250×250×30 мм.

Первоначально определяли коэффициент теплопроводности фракционированной коры в насыпном состоянии без вяжущего компонента. Необходимое количество измельченной коры засыпали и равномерно распределяли в измерительном устройстве прибора ИТП-МГ4 для установления показателя теплопроводности.

Во второй серии образцов измельченную кору перемешивали с модифицированным жидким стеклом. Предварительно производили дозировку компонентов. В жидкое стекло вводили сначала известь и перемешивали до однородной консистенции, а затем добавляли гипс. Сырьевую смесь равномерно укладывали в форму и подпрессовывали. Образцы выдерживали в форме 4 часа при температуре 20±2 °С, а затем высушивали в течение 10 часов в сушильном шкафу при температуре 45–50 °С. После определяли среднюю плотность и теплопроводность плит.

В третьей серии измельченную кору перемешивали с порошком канифоли. Технология подготовки сырьевой массы и получения плит приведена в экспериментальной части работы.

**Результаты экспериментальных исследований.** Перед тем как приступить к разработке составов теплоизоляционных материалов, проведен комплекс исследований по определению основных параметров структурообразующего материала из 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 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 кора, состоящая из 1–3 слоев толщиной 1–4 мм (рисунок 2).

Так, для фракции 20 мм коэффициент теплопроводности составил 0,08 Вт/(м·°С) при плотности 191 кг/м<sup>3</sup>. С уменьшением размера частиц коры до 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 понижения коэффициента теплопроводности на 11% проявилась при использовании частиц коры размером 10 мм: показатель равен 0,073 Вт/(м·°С) при плотности 180 кг/м<sup>3</sup>.

Далее частицы крупной коры фракции 20 мм перерабатывали в измельчителе, используя сито с диаметром отверстий 8 мм. Из полученной пробы удаляли пылевидные и мельчайшие части коры путем отсева на сите с раз-

<sup>6</sup> URL: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index\\_14055/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index_14055/).

мером 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 1,25–2 мм и отсев из мельчайших и пылевидных частиц коры.



Рисунок 1. – Кора с нижней части ствола сосны



Рисунок 2. – Кора со средней части ствола сосны

Фракцию 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. Первые имеют форму, близкую к округлой или эллипсоидной. Вторые – 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, рассмотренных ниже.

Для фракции 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 1,25–2 мм и равен 0,061 Вт/(м·°С) и 0,064 Вт/(м·°С) соответственно.

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



Рисунок 3. – Крупная, средняя фракции коры (слева направо)

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

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, 5–8 мм	165	168	0,047	0,05
Средняя, 3–5 мм	165	170	0,05	0,056
Мелкая, 2–3 мм	171	176	0,053	0,062

Мелкая фракция (2–3 мм) показывает наибольшие коэффициенты теплопроводности, совпадающие с показателями общей фракции 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 фракции из измельченных крупных фрагментов коры имеет меньший показатель и соответствует 0,05 Вт/(м·°С).

Наименьшую теплопроводность обеспечивают крупные фракции размером 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.

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, %				
	5–8 мм	3–5 мм	2–3 мм	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 частиц в 1,72 раза относительно массы пылевидного отсева коры со средней части ствола. Для фракции 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 2–8 мм отмечаются для измельченной коры с нижней части ствола. Так, для фракции 2–3 мм прирост составляет 13% и содержание частиц соответствует 18,6%. Относительно количества частиц фракции 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 27% доля фракций, обеспечивающих наилучшие теплотехнические показатели и значительно снижается количество пылевидных отсевов.

Основываясь на полученных значениях коэффициента теплопроводности для измельченной коры в насыпном состоянии (см. таблицу 1), дальнейшие исследования проводили на крупной и средней фракции. Для крупной фракции расход коры на плиту равен 470 г, для средней фракции – 420 г. Количество жидкого стекла по сухому веществу на образец принято 60–100 г. Содержание воды составляло 520–570 г на плиту.

При использовании жидкого стекла предварительно производили смачивание измельченной коры с помощью распылителя. По причине высокой открытой пористости частиц коры невозможно произвести равномерное распределение жидкого стекла по всей массе заполнителя. Вода, содержащаяся в жидком стекле, мгновенно впитывается в структуру частиц коры. Твердая фаза жидкого стекла остается на поверхности коры, быстро переходя из вязкой фазы в рыхлую с дальнейшим формированием твердой структуры, теряет склеивающее свойство и способность к равномерному покрытию поверхности всех частиц коры.

Предварительное смачивание водой коры существенно замедляет процесс поглощения воды из жидкого стекла пористой поверхностью частиц заполнителя. Также установлено, что количество необходимой воды для смачивания коры зависит от размера частиц заполнителя. Для изготовления образца-плиты из крупной фракции коры при смачивании расход воды сокращается на 50 г, что объясняется меньшей общей геометрической площадью поверхности крупных частиц по сравнению с показателем частиц средней фракции.

Для обеспечения плотной структуры плиты формовали под небольшим давлением 0,008–0,009 МПа на прессе. На формирование структуры и плотность образцов также оказывали влияние расход жидкого стекла и измельченной коры. Предварительные исследования по подбору расхода заполнителя показали, что для формирования плотной структуры плиты с минимальной пустотностью требуется на 12% (50 г) больше крупного заполнителя, чем для образцов на средней фракции измельченной коры.

Результаты исследований приведены в таблице 3. Наименьшим показателем теплопроводности равным 0,053 Вт/(м·°С) обладают плиты с крупной фракцией коры нижней части ствола и расходом жидкого стекла 60 г (состав 1). При исследовании влияния жидкого стекла на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных плит установлено, что увеличение расхода вяжущего с 60 до 100 г влечет за собой повышение показателя на 15%.

Таблица 3. – Составы и свойства плит из измельченной коры на жидком стекле

№ состава	Масса образца, г	Фракция коры, мм	Расход на образец-плиту			Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Состояние плиты
			сосновая кора, г	жидкое стекло, г	вода, г			
1	530	Крупная, 5–8 мм (нижняя часть ствола)	470	60	520	282,7	0,053	шелушение жесткая жесткая
2	550		470	80	520	293,3	0,057	
3	570		470	100	520	304,0	0,061	
4	480	Средняя, 3–5 мм (нижняя часть ствола)	420	60	570	256,0	0,056	слабая структура жесткая жесткая
5	500		420	80	570	266,7	0,059	
6	520		420	100	570	277,3	0,066	
7	530	Крупная, 5–8 мм (средняя часть ствола)	470	60	520	282,7	0,055	шелушение жесткая жесткая
8	550		470	80	520	293,3	0,058	
9	570		470	100	520	304,0	0,063	
10	480	Средняя, 3–5 мм (средняя часть ствола)	420	60	570	256,0	0,059	слабая структура жесткая жесткая
11	500		420	80	570	266,7	0,064	
12	520		420	100	570	277,3	0,068	

Максимальные значения коэффициента теплопроводности получены на заполнителе средней фракции из коры средней части ствола. В сравнении с составами 1–3 коэффициент теплопроводности плит на средней фракции (составы 10–12) возрастает в среднем на 11%.

В процессе подбора оптимальных составов учитывался не только коэффициент теплопроводности, но и состояние плит после сушки. После введения жидкого стекла в количестве 60 г на поверхности плит наблюдалось шелушение частиц заполнителя или фиксировалась слабосвязанная структура, не обеспечивающая жесткость и геометрию тепловой изоляции. Жесткие плиты без шелушения поверхности получены при расходе жидкого стекла в пределах 80–100 г на образец-плиту. С учетом обеспечения жесткости плит минимальный показатель коэффициента теплопроводности 0,057 Вт/(м·°C) и 0,058 Вт/(м·°C) обеспечивают плиты составов 2 и 8 на крупной фракции. Полученные значения коэффициентов теплопроводности ниже наименьших показателей средней фракции (составы 6 и 12) на 14–15%.

Следует отметить, что после интенсивного смачивания водой кора темнеет и после сушки плиты имеют темно-коричневый цвет (рисунок 4).

Для формовки плит на канифоли расход фракционированной коры принят согласно таблице 3. Порошок канифоли использовали в количестве 50–150 г на одну плиту.

При введении порошка канифоли существует проблема, связанная с его осыпанием на дно емкости при перемешивании с заполнителем. В работе<sup>7</sup> предложен «мокрый» способ введения порошка канифоли в виде водной суспензии. Разработанная «мокрая» технология предусматривает достаточно длительный по времени режим сушки в два этапа с изменением ее температуры.

По указанным причинам предлагается новая технология перемешивания вяжущего и заполнителя. Для предотвращения осыпания порошка с частиц коры на первом этапе вводилось не более 50 г канифоли. После перемешивания заполнитель распределяли тонким слоем на противне и помещали в сушильный шкаф при температуре 80 °C на 10 минут. Частицы канифоли подплавляются при такой температуре и заполняют открытые поры коры, одновременно формируя микрооболочку вокруг каждой частицы коры. Затем коре давали остыть и перемешивали со следующей порцией канифоли (не более 50 г), после чего помещали в сушильный шкаф. Количество циклов зависит от массы вводимого порошка. На последнем этапе, после обработки канифолью, заполнитель помещали в форму и подпрессовывали с помощью пресса при давлении 0,016–0,018 МПа. Крышку формы фиксировали и в таком виде форму помещали в сушильный шкаф, где выдерживали 1,5 часа при температуре 90 °C. При использовании канифоли получали плиты естественного коричневого цвета сосновой коры (рисунок 5). Результаты экспериментов приведены в таблице 4.

<sup>7</sup> Болтрушевич, Н.А. Изоляционные материалы, содержащие заполнитель на основе тростника и соломы : дис. ... магистра техн. наук : 70.80.01 / Н.А. Болтрушевич. – Полоцк, 2021. – 62 л.





Рисунок 4. – Плита из измельченной коры (фракция 5–8 мм, нижняя часть ствола) и жидкого стекла



Рисунок 5. – Плита измельченной коры (фракция 5–8 мм нижней части ствола) и канифоли в приборе ИТП-МГ4

Таблица 4. – Составы и свойства теплоизоляционных плит на канифоли

№ состава	Фракция коры, мм	Расход на образец-плиту		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Состояние плиты
		сосновая кора, г	канифоль, г			
1	Крупная, 5–8 мм (нижняя часть ствола)	470	50	277,3	0,049	шелушение
2		470	100	304,0	0,051	жесткая
3		470	150	330,7	0,054	жесткая
4	Средняя, 3–5 мм (нижняя часть ствола)	420	50	250,7	0,051	шелушение
5		420	100	277,3	0,054	жесткая
6		420	150	304,7	0,055	жесткая
7	Крупная, 5–8 мм (средняя часть ствола)	470	50	277,3	0,051	шелушение
8		470	100	304,0	0,053	жесткая
9		470	150	330,7	0,056	жесткая
10	Средняя, 3–5 мм (средняя часть ствола)	420	50	250,7	0,053	шелушение
11		420	100	277,3	0,056	жесткая
12		420	150	304,7	0,059	жесткая

По значению коэффициента теплопроводности наименьший показатель получен на образце из крупной фракции и дозировке канифоли 50 г (состав 1). Однако при осмотре плиты выявлено поверхностное шелушение и осыпание частиц коры, что указывает на недостаточное количество вяжущего. Аналогичный недостаток проявлялся и на других составах с такой же дозировкой канифоли (составы 4, 7, 10). При увеличении дозировки порошка канифоли отмеченный недостаток отсутствовал, а образцы-плиты имели жесткость.

Таким образом, наименьший коэффициент теплопроводности равный 0,051 Вт/(м·°С) для жестких плит обеспечивает состав 2. Коэффициенты теплопроводности образцов на крупной фракции средней части ствола (составы 8, 9) незначительно отличаются от составов 2, 3.

Максимальное значение коэффициента теплопроводности равное 0,059 Вт/(м·°С) соответствует составу 12 на средней фракции со средней части ствола и превышает показатель состава 2 на 16%.

Необходимо отметить, что показатели экспериментальных плит с применением порошка канифоли имеют более низкие показатели по сравнению с образцами на жидком стекле (см. таблицу 3). Коэффициент теплопроводности составов на канифоли снизился на 10–13% по сравнению с образцами на жидком стекле. Значение наименьшего показателя состава 2 понизилось на 11%.

Полученные результаты объясняются значительно более низким коэффициентом теплопроводности канифоли по сравнению с жидким стеклом, что подтверждается данными исследований в работе<sup>8</sup>.

**Заключение.** В результате можно сделать следующие выводы.

1. После измельчения коры на частицы размером не более 8 мм по результатам гранулометрического анализа установлено, что для коры с нижней части ствола на фракцию 3–5 мм приходится максимальное количество частиц равное 30,5%. При этом содержание крупных частиц с нижней части ствола увеличивается в 1,67 раза по сравнению с аналогичной фракцией со средней части и составляет 13,4%. Также в 1,72 раза сокращается масса пылевидного отсева и достигает 18,8%. Таким образом, при использовании коры с нижней части ствола получается больший выход по массе рабочих фракций равный 62,5% для получения тепловой изоляции.

<sup>8</sup> См. сноску 7.

2. Эксперименты по определению коэффициента теплопроводности фракционированных частиц коры позволили установить, что кора с нижней части ствола обладает более низкой теплопроводностью по сравнению с показателями коры средней части ствола. На крупной и средней фракции коры достигаются минимальные показатели 0,047–0,05 Вт/(м·°С). Достаточно низкие коэффициенты теплопроводности указывают на возможность использовать кору средней и крупной фракции в качестве засыпной изоляции.

3. Использование модифицированного жидкого стекла в качестве вяжущего компонента обеспечило формовку жестких плит с коэффициентом теплопроводности 0,057–0,058 Вт/(м·°С) при плотности 293 кг/м<sup>3</sup>. Полученные показатели ниже минимальных значений теплопроводности плит из средней фракции на 14–15%.

4. Введение канифоли в виде мелкодисперсного порошка позволило снизить коэффициент теплопроводности жестких плит на крупной фракции до 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 304 кг/м<sup>3</sup>. Максимальный коэффициент теплопроводности равен 0,059 Вт/(м·°С) для средней фракции частиц коры. Коэффициент теплопроводности составов на канифоли снизился на 10–13% по сравнению с образцами на жидком стекле.

5. Снижение коэффициента теплопроводности в составах с применением канифоли происходит благодаря разработанному технологическому решению по введению и премешиванию порошка вяжущего с фракционированной корой «сухим» способом, что также позволяет существенно сократить время изготовления плит и расход энергоносителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чемоданов, А.Н. Продукция комплексной переработки древесины и древесных материалов : учеб. пособие / А.Н. Чемоданов, Е.М. Царев, С.Е. Анисимов. – Йошкар-Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 2008. – 444 с.
2. Тащюн, М.В. Современное состояние ЛПК России и пути его развития / М.В. Тащюн. – М. : ООО «РИАПресс», 2006. – С. 24.
3. Волынский, В. Переработка и использование древесной коры / В. Волынский // ЛесПромИнформ. – 2012. – № 2 (84). – С. 168–170.
4. Holz ist ein innovativer Werkstoff // НК: Holz- und Kunststoffverarb.: Internationale Fachzeitschrift fur Unternehmer und Führungskräfte. – 2006. – Vol. 41, iss. 7–8. – P. 22–26.
5. Руденко, Б.Д. Режим изготовления плит из коры и вторичного полиэтилена / Б.Д. Руденко, С.М. Плотников // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – № 24. – С. 146–149.
6. Romanovskiy, S. Effect of Modified Liquid Glass on Absorption Humidity and Thermal Conductivity of Flax Fiber Slabs / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – № 660. DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012072.
7. Обромпальский, Р.Л. Теплоизоляционные композиты на основе волокон коры эвкалипта / Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. II междунар. науч. конф., Новополюцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоц. гос. ун-т ; под ред. Л.М. Парфеновой. – Новополюцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – С. 405–410.
8. Веретенник, Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве / Д.Г. Веретенник. – М. : Лесная пром-сть. – 1976. – 117 с.
9. Исследования теплоизолирующей способности древесной коры / З. Пастори [и др.] // Лесотехнический журнал. Деревообработка. Химические технологии. – 2017. – № 1. – С. 157–161. DOI: 10.12737/25206.
10. Килошева, Н.В. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта / Н.В. Килошева, В.Е. Данилов, А.М. Айзенштадт // Строительные материалы. – 2016. – № 11. – С. 48–50.
11. Ахмедов, С.Р. Композиционный материал на основе коры и стружки / С.Р. Ахмедов, Е.В. Микрюкова // NovaUm. Технические науки. – 2018. – № 13. – С. 14–16.
12. Данилов, В.Е. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции / В.Е. Данилов, А.М. Айзенштадт // Лесной журнал. – 2019. – № 2. – С. 111–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111.
13. Мелехов, В.И. Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения / В.И. Мелехов, Т.В. Тюрикова, Н.Г. Пономарева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 9–3 (20–3). – С. 106–110.
14. The Utilization of Tree Bark / Z. Pastory [et al.] // Bioresources. – 2016. – № 11 (3). – P. 7859–7888.
15. Цывин, М.М. Использование древесной коры / М.М. Цывин. – М. : Лесная пром-сть, 1973. – 96 с.

#### REFERENCES

1. Chemodanov, A.N., Tsarev, E.M. & Anisimov, S.E. (2008). *Produktsiya kompleksnoi pererabotki drevesiny i drevesnykh materialov*. Ioshkar-Ola: Mariiskii gos. tekhn. un-t. (In Russ.).
2. Tatsyun, M.V. (2006). *Sovremennoe sostoyanie LPK Rossii i puti ego razvitiya*. Moscow: ООО «РИАПресс». (In Russ.).
3. Volynskii, V. (2012). Pererabotka i ispol'zovanie drevesnoi kory. *LesPromInform*, (2), 168–170. (In Russ.).
4. Holz ist ein innovativer Werkstoff (2006). *HK: Holz- und Kunststoffverarb.: Internationale Fachzeitschrift fur Unternehmer und Führungskräfte*, 41 (7–8), 22–26.
5. Rudenko, B.D. & Plotnikov, S.M. (2009). Rezhim izgotovleniya plit iz kory i vtorichnogo polietilena. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, (24), 146–149. (In Russ.).
6. Romanovskiy, S. & Bakatovich, A. (2019). Effect of Modified Liquid Glass on Absorption Humidity and Thermal Conductivity of Flax Fiber Slabs. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, (660). DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012072.
7. Obrompal'skii, R.L. & Bakatovich, A.A. (2020). Teploizolyatsionnye kompozity na osnove volokon kory evkalipta [Thermal insulation composites based on eucalyptic bark fibers]. In L.M. Parfenova (Eds.) *Arkhitekturno-stroitel'nyi kompleks: problemy, perspektivy, innovatsii*: elektron. sb. st. II mezhdunar. nauch. konf., Novopolotsk, 28–29 noyab. 2019 g. (405–410). Novopolotsk: Polots. gos. un-t. (In Russ., abstr. in Engl.).

8. Veretennik, D.G. (1976). *Ispol'zovanie drevesnoi kory v narodnom khozyaistve*. Moscow: Lesnaya prom-st'. (In Russ.).
9. Pastori, Z., Mokhachine, I.R., Gorbacheva, G.A. & Sanaev, V.G. (2017). Issledovaniya teploizoliruyushchei sposobnosti drevesnoi kory [Investigation of thermal insulation capacity of tree bark]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal]*, (1), 157–161. DOI: 10.12737/25206. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Kilyusheva, N.V., Danilov, V.E. & Aizenshtadt, A.M. (2016). Teploizolyatsionnyi material iz kory sosny i ee ekstrakta [Heat Insulation Material Produced from Pine Bark and Its Extract]. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, (11), 48–50. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Akhmedov, S.R. & Mikryukova, E.V. (2018). Kompozitsionnyi material na osnove kory i struzhki. *NovaUm*, (13), 14–16. (In Russ.).
12. Danilov, V.E. & Ajzenshtadt, A.M. (2019). Ispol'zovanie modifitsirovannoi drevesnoi kory sosny obyknovЕННОI v kachestve zasypnoi teplozvukoizolyatsii [The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation]. *Lesnoi zhurnal [Forestry Journal]*, (2), 111–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Melekhov, V.I., Tyurikova, T.V. & Ponomareva, N.G. (2015). Energeticheskii potentsial drevesnoi kory v programme resursosbere-zhenie [The energy potential of the wood bark in the program of resource-saving]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledo-vanii XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice]*, 3 (9–3), 106–110. (In Russ., abstr. in Engl.).
14. Pastory, Z., Mohacsine, I.R., Gorbacheva, G.A. & Borcsok, Z. (2016). The Utilization of Tree Bark. *Bioresources*, (11), 7859–7888.
15. Tsyvin, M.M. (1973). *Ispol'zovanie drevesnoi kory*. Moscow: Lesnaya prom-st'. (In Russ.).

Поступила 25.05.2022

## THE FRACTIONAL COMPOSITION OF CRUSHED PINE BARK AND THE TYPE OF BINDER COMPONENT AS THE MAIN FACTORS AFFECTING THE THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF THERMAL INSULATION PLATES

*A. BAKATOVICH, N. BAKATOVICH, A. PENKRAT*

*The possibility of obtaining thermal insulation based on pine bark as a structure-forming material is considered. The granulometric composition was studied with the determination of the percentage of fractions depending on the thickness of the pine bark. The coefficient of thermal conductivity of crushed bark by fractions is determined to optimize the particle sizes of the structure-forming material of thermal insulation boards. Modified liquid glass and rosin were used as binding components. The introduction of rosin in the form of fine powder made it possible to reduce the thermal conductivity coefficient of rigid plates on a large fraction (5–8 mm) to 0.051 W / (m×°C) at a density of 304 kg/m<sup>3</sup>. The thermal conductivity coefficient of compositions on rosin decreased by 10–13% compared to samples on liquid glass.*

**Keywords:** pine bark, rosin, liquid glass, bark fraction, thermal conductivity coefficient, density, thermal insulation plate.