

УДК 691.1

## ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОН КОРЫ ЭВКАЛИПТА

**Р.Л. ОБРОМПАЛЬСКИЙ**  
(Представлено: А.А. Бакатович)

*В данном исследовании освещены теплоизоляционные материалы, созданные на основе коры эвкалипта. Определён гранулометрический состав волокон коры. Установлено влияние плотности и фракции волокон на теплопроводность волокнистой структуры. Получены значения коэффициента теплопроводности структуры из волокон коры эвкалипта в пределах 0,042 – 0,062 Вт/(м·°С), при плотности 50-220 кг/м<sup>3</sup>. Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный 0,042 Вт/(м·°С) достигается при плотности 140 – 160 кг/м<sup>3</sup> на ультрамелкой фракции структурообразующего материала.*

На современном этапе развития в мире все больше внимания уделяется зеленым технологиям в строительстве зданий, и одним из важных аспектов становится экологическая безопасность утеплителей. В связи с этим, все большее внимание уделяется разработке теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья, включая использование коры различных пород древесины в качестве структурообразующего материала.

Эвкалипт относится к породам деревьев, имеющих широкий ареал распространения и произрастания. В настоящее время площадь посадок эвкалипта составляет около 20 миллионов гектаров и охватывает более чем 90 стран мира, с основными центрами в Бразилии (5,7 млн га), Индии (3,9 млн га) и Китае (4,5 млн га). Высокое качество древесины и быстрый рост делают эвкалипт привлекательным для выращивания на коммерческих плантациях с целью получения промышленного сырья (целлюлозно-бумажная промышленность, древесный уголь, пиломатериалы, деревянные панели), а также на небольших лесных участках для производства дров и древесного угля для бытового использования [1]. Однако использование древесины эвкалипта в промышленных масштабах приводит к большому количеству неиспользуемой коры, которая обычно сжигается для производства энергии. Однако данное решение не является эффективным, так как кора обладает низкой теплотворной способностью, в отличие от других видов топлива [2].

В университете Консепсьона (Чили) проведены исследования по использованию коры эвкалипта в качестве заполнителя для теплоизоляции. Волокна коры эвкалипта длиной более 20 мм подвергались механическому измельчению и использовались в качестве структурообразующего материала для изготовления теплоизоляционных плит. Связующим компонентом является 10 % фенолформальдегидная смола. Теплопроводность изоляции изменялась в пределах от 0,052 до 0,07 Вт/(м·°С) при плотности от 80 до 250 кг/м<sup>3</sup> и толщине плит 50 мм [3]. Отмечается, что полученные композиции обладают низкой устойчивостью к образованию плесени и горючестью. Кроме того, использование связующего на основе фенолформальдегида негативно сказывается на здоровье человека и окружающей среде.

Целью данного исследования являлось получение эффективного теплоизоляционного материала на основе волокна коры эвкалипта, безопасного для окружающей среды.

Основной задачей исследований являлось определение влияния фракции и плотности измельченной коры на теплопроводность волокнистой массы, не содержащей вяжущее вещество.

Для получения волокон кору механически перерабатывали с помощью измельчителя «Эликор 1». Размер частиц на выходе контролировали установленным в измельчителе ситом с диаметром ячеек 5 мм. После измельчения волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с ячейками диаметром 0,16 – 5 мм.

В процессе измельчения коры с естественной влажностью 5 – 6 % наблюдалась сильная запыленность с образованием пыли в количестве до 28,1 % от общей массы материала. Для устранения данной проблемы кору предварительно смачивали до влажности 20 – 30 %. После чего интенсивность запыления уменьшилась до 18,1 % и визуально отмечалось увеличение количества тонких волокон средних размеров.

После измельчения волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с размерами ячеек в диаметре 0,16 – 5 мм. Измельченную кору с размером частиц 0,16 – 5 мм разделяли на четыре фракции по размеру поперечного сечения (ширине) волокна: крупную (2,5 – 5мм), среднюю (1,25 – 2,5 мм), мелкую (0,63 – 1,25 мм) и ультрамелкую (0,16 – 0,63 мм).

Кроме размеров в поперечном сечении волокна отличались и по длине. Длина волокон крупной фракции соответствует 15 – 40 мм, средней – 8 – 15 мм, мелкой – 5 – 8 мм и ультрамелкой 2 – 5 мм. Результаты гранулометрического анализа смеси измельченных волокон приведены в таблице 1.

По результатам гранулометрического анализа установлено, что при измельчении увлажненной коры существенно сокращается образование пылевидных частиц в 1,54 раза относительно массы пылевид-

ного отсева коры без увлажнения. Для фракций 0,63 – 5 мм увеличение содержания измельченных волокон коры отличается незначительно и находится в пределах 6,5 – 7,4 %. Существенное различие в сторону увеличения по процентному содержанию – на 26,9 %, отмечается для измельченных волокон коры фракции 0,16 – 0,63 мм.

Таблица 1. – Гранулометрический состав коры после измельчения

Влажность коры, %	Содержание фракции, %				
	2,5 – 5 мм	1,25 – 2,5 мм	0,63 – 1,25 мм	0,16 – 0,63 мм	пылевидный отсев
5 – 6	15,4	16,8	14,9	24,9	28,1
20 – 30	16,4	17,9	15,9	31,6	18,1

Полученные данные свидетельствуют о том, что предварительное увлажнение коры, позволяет уменьшить образование пылевидных частиц на 35,4 %, увеличить общую массу получаемых волокон при измельчении на 13,8 % и в частности повысить содержание ультрамелких волокон до 31,6 %.

Для изучения плотности и коэффициента теплопроводности фракционированные волокна засыпали в камеру прибора «ИТП–МГ4», фиксировали крышкой и производили измерение. Необходимо отметить, что волокна обладают высокой способностью к сцеплению между собой с образованием связной структуры сохраняющей форму. При варьировании плотности 50 – 220 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности изменяется в диапазоне от 0,042 до 0,062 Вт/(м·°С).

Для крупной фракции волокон эвкалипта при плотности 50 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности равен 0,062 Вт/(м·°С). При постепенном увеличении средней плотности и достижении 140 кг/м<sup>3</sup> происходит снижение коэффициента теплопроводности на 19,4 % до 0,05 Вт/(м·°С). Повышение коэффициента теплопроводности на 12 % до 0,056 Вт/(м·°С) наблюдается при наибольшей плотности 220 кг/м<sup>3</sup>.

При изучении показателей средней фракции волокон установлено, что для минимальной плотности 50 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности соответствует 0,053 Вт/(м·°С). Уменьшение коэффициента теплопроводности до 0,049 Вт/(м·°С) зафиксировано при плотности 70 кг/м<sup>3</sup>. Данный показатель теплопроводности сохраняется и для структуры с плотностью 90 кг/м<sup>3</sup>. Для максимальной средней плотности 220 кг/м<sup>3</sup> прирост коэффициента теплопроводности составил 20,4 % и достиг значения 0,058 Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта мелкой фракции плотностью 50 кг/м<sup>3</sup> равен 0,054 Вт/(м·°С). Минимальный показатель теплопроводности соответствует 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 90 кг/м<sup>3</sup>. Последующее постепенное возрастание плотности волокнистой структуры способствует повышению коэффициента теплопроводности. Так при плотности 220 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта равен 0,061 Вт/(м·°С), то есть на 19,6 % превышает минимальный показатель.

Наилучшие показатели коэффициента теплопроводности зафиксированы на волокнах ультрамелкой фракции. Так при плотности 70 – 90 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности составил 0,043 Вт/(м·°С). При увеличении плотности до 120 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности практически не изменяется и равен 0,044 Вт/(м·°С). Наименьшее значение коэффициента теплопроводности зафиксировано при плотности 140 – 160 кг/м<sup>3</sup>, и соответствует 0,042 Вт/(м·°С). Дальнейшее увеличение средней плотности приводит к постепенному росту коэффициента теплопроводности на 9,5 % и достигает 0,046 Вт/(м·°С) при плотности 220 кг/м<sup>3</sup>.

Следующим этапом изучали возможность получения теплоизоляционных плит без вяжущего компонента используя метод варки коры в щелоке. Для формовки сырьевой смеси использовали следующие технологические решения:

1. Полученные пластинки коры послойно укладывали в форму в горизонтальной плоскости, формируя слои с минимальными зазорами между пластинками (вариант 1);
2. Пластинки коры разделяли на узкие полосы шириной 3 – 4 мм после чего смесь из полос укладывали в форму и равномерно распределяли (вариант 2);
3. Кору разбивали на отдельные волокна. Полученную смесь равномерно укладывали в форму (вариант 3).

Уложенную в форму смесь закрывали крышкой и прессовали. После распалубки плиты высушивали и определяли среднюю плотность, коэффициент теплопроводности образцов.

Наименьший коэффициент теплопроводности 0,055 Вт/(м·°С) при плотности 200 кг/м<sup>3</sup> получен на плитах, отформованных из узких разнонаправленных полос коры (вариант 2). Плиты обладают низкой жесткостью, но при этом не разрушаются по причине сформированной связной структуры разнонаправленными узкими полосами коры.

Для плит с горизонтально уложенными послойно пластинками коры при плотности 250 кг/м<sup>3</sup> (вариант 1), коэффициент теплопроводности достиг 0,059 Вт/(м·°С). Отмечается, что плиты обладают низкой связностью слоев коры между собой в объеме плиты, так как пластинки коры и соответственно волокна ориентированы только в горизонтальной плоскости в рамках каждого слоя коры.

Также аналогичный показатель равный  $0,059 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ , зафиксирован на плитах из волокон коры (рисунок 1) разбитых строительным миксером, при плотности  $230 \text{ кг}/\text{м}^3$  (вариант 3). При этом плиты обладают связанной структурой и жесткостью.



Рисунок 1. – Плита из волокон коры разбитых строительным миксером

Полученные экспериментальные образцы плит подтверждают возможность производства теплоизоляционного материала в виде плит без вяжущего путем предварительной варки коры эвкалипта в растворе древесной золы. Кроме того, можно предположить, что плиты также эффективно могут использоваться для звукоизоляции, так как имеют достаточно высокую плотность и волокнистую структуру.

#### Заключение

1. Предварительное увлажнение коры эвкалипта перед измельчением позволяет снизить образование пылевидных частиц на 35,4 % и уменьшить массу пыли до 18,1 %. При этом наибольший прирост по массе на 26,9 % фиксируется для фракции 0,16 – 0,63 мм, образующийся в количестве 31,6 % от общей массы измельченной коры и являющейся основной фракцией по массе.

2. Наименьшее значение коэффициента теплопроводности равное  $0,042 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  зафиксировано на волокнах коры эвкалипта ультрамелкой фракции, при плотности  $140 - 160 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

3. Получение волокнистого сырья способом варки в древесной золе с дальнейшей формовкой под давлением без связующего, дает возможность получать плиты с относительно низким коэффициентом теплопроводности равным  $0,055 - 0,059 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  при плотности  $200 - 220 \text{ кг}/\text{м}^3$ , что на 31 – 41 % превышает показатель ультрамелких волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mark Adams, Resilience of primary metabolism of eucalypts to variable water and nutrients/ Mark Adams, Heinz Rennenberg, Jorg Kruse // Eucalyptus 2018: Managing Eucalyptus Plantations under Global Changes; IUFRO, Ed.; Montpellier: Le Corum, France, 2018. – С. 4.
2. Arteaga-Pérez, L. Torrefaction of wood and bark from Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens: Focus on volatile evolution vs feasible temperatures / L. Arteaga-Pérez, C. Segura, V. BustamanteGarcía and O. J. R. Cápiro, // International Journal «Energy» (Elsevier) – 93 (2015) – p. 1731–1741.
3. Fuentealba, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. / C. Fuentealba, J. Salazar, J. Vega-Lara, J. Norambuena-Contreras // The 13th Pacific Bim Bio-Based Composites Symposium "Bio-based composites for a sustainable future", Concepcion, Chile, 13–15 November, 2016 // University of Concepcion. – Concepcion, 2016, p. 46 – 50.