

УДК 691.1

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН КОРЫ ЭВКАЛИПТА

Р.Л. Обромпальский, А.А. Бакатович

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

В работе обобщён зарубежный и отечественный опыт получения теплоизоляционных материалов волокнистой структуры. Исследовано влияние влажности коры эвкалипта на фракционный состав волокон получаемых при измельчении сырьевого материала. Установлено влияние плотности и фракции волокон на теплопроводность волокнистой структуры. Получены значения коэффициента теплопроводности структуры из волокон коры эвкалипта в пределах 0,049–0,062 Вт/(м·°С), при плотности 50–220 кг/м³. Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный 0,049 Вт/(м·°С) достигается при плотности 70–90 кг/м³ на средней фракции структурообразующего материала.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, волокна эвкалипта, плотность, влажность, теплопроводность.

THERMAL INSULATION COMPOSITES BASED ON EUCALYPTIC BARK FIBERS

R. Obrompalsky, A. Bakatovich

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: r.abrampalski@psu.by, a.bakatovich@psu.by

The paper summarizes the foreign and domestic experience in obtaining heat-insulating materials of a fibrous structure. The effect of humidity of the eucalyptus bark on the fractional composition of the fibers obtained by grinding raw material is studied. The effect of fiber density and fraction on the thermal conductivity of the fibrous structure is established. The values of the thermal conductivity coefficient of the structure of the fibers of the eucalyptus bark were obtained in the range of 0,049–0,062 W/(m·°C), at a density of 50–220 kg/m³. The best indicator of the coefficient of thermal conductivity equal to 0.049 W/(m·°C) is achieved at a density of 70–90 kg/m³ in the middle fraction of the structure-forming material.

Keywords: heat-insulating material, eucalyptus fibers, density, humidity, thermal conductivity.

Введение. В последние годы по всему миру наблюдается рост потребности в энергетических ресурсах, что вызывает увеличение уровня загрязнения окружающей среды и выбросов парниковых газов [1]. Согласно оценке программы ООН по окружающей среде [2], здания потребляют примерно 30–40 % мировых энергетических ресурсов, 25 % всего объёма воды, а также выбрасывают в атмосферу одну треть от мирового объёма выбросов парниковых газов.

Значительно повлиять на снижение потребления энергии зданиями возможно благодаря применению эффективного теплоизоляционного материала. Материалы традиционно используемые для теплоизоляции зданий получены из нефтехимических продуктов (в основном полистирола) или из сырья природного происхождения со значительными энергозатратами (стеклянная и каменная вата). Соответственно одной из важных задач строительного производства, на современном этапе, является повышение эффективности разрабатываемых утеплителей и обеспечение экологической чистоты. В странах Европы и России особое внимание уделяется технологии получения теплоизоляционных материалов содержащих волокна растительного происхождения [3]. Использование утеплителей на волокнистом сырье природного происхождения способствует значительной экономии топливно-энергетических ресурсов, снижению себестоимости и повышению экологичности выпускаемой продукции.

Теплоизоляционные материалы на основе натуральных органических волокон являются перспективной альтернативой неорганическим волокнам благодаря большому разнообразию и доступности источников волокон, низкой плотности, хорошим акустическим и теплоизоляционным свойствам [4]. Результаты многих исследований подтверждают техническую и экологическую конкурентоспособность теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон: конопли [5], рогоза [6], льна [7, 8], коры эвкалиптах [9–13].

К основным странам, занимающимся производством технической конопли относятся: Китай, Франция, Чили, Нидерланды, Германия, Литва и Украина. Волокна из конопли используют в текстильной промышленности, а также в конструкциях зданий в виде теплоизоляционных материалов. В Германии компанией «Носк» производится утеплитель марки «Thermo-Hanf» из волокон конопли. Данный утеплитель реализован в виде плит или рулонов толщиной от 30 до 110 мм. В состав теплоизоляционного материала входит: 83-87 % волокон конопли, 10–12 % полиэстера, 3–5 % антипирена (сода). Значения коэффициента теплопроводности находятся в пределах 0,038–0,04 Вт/(м·°С) при плотности 35–40 кг/м³. К преимуществам данного материала можно отнести легкость монтажа, устойчивость к плесени и гниению. Недостатками является низкая жесткость по причине малой плотности и высокая себестоимость производства продукции [5].

Рогоз относится к растениям принадлежащих роду *Typha* (лат.), считается сорняком и оказывает негативное влияние на другие растения. К ареолу произрастания относятся тропические районы Юго-Восточной Азии и Тихоокеанского региона Северной Америки. В университете Касетсарт (Таиланд) предложено производить теплоизоляционные плиты из листьев рогоза измельченных до состояния волокна с использованием в качестве связующего метиленового дифенил диизоцианата. При плотности от 200 до 400 кг/м³ теплопроводность панелей составляет от 0,044 до 0,061 Вт/(м·°С) [6]. Данный материал характеризуется высокой плотностью и жесткостью, что позволяет расширить область его применения. К недостаткам можно отнести токсичность метиленового дифенил диизоцианата, являющегося аллергеном.

Распространённой сельскохозяйственной культурой в умеренных зонах Европы, Северной Африки, Азии, а также Северной Америки является лён. На его основе произ-

водят товары различного назначения, в том числе и теплоизоляционные материалы. Белорусская компания ОАО «АКОТЕРМ ФЛАКС» производит теплоизоляционные плиты на основе льноволокна, связующим компонентом выступает полиэфирное волокно, равномерно распределённое по всему объёму структуры. Плиты толщиной от 20 до 200 мм, применяют для утепления стен и перекрытий в малоэтажном строительстве. При плотности плит 30 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности составляет $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. Утеплитель рассчитан на срок службы не менее 70 лет [7]. Основной недостаток плит – горючесть с выделением запаха от полиэфирного волокна.

Так же на основе волокон льна в России выпускаются плиты «Экотеплин». Связующим веществом является обычный крахмал, а для огне- и биозащиты используется пропитка – соль бора. Плиты толщиной 50 и 100 мм при плотности $32\text{--}34 \text{ кг/м}^3$ обеспечивают теплопроводность в пределах $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ [8]. Утеплитель имеет высокую стоимость, а также технологические особенности формования не позволяют производить жёсткие плиты.

Посадки эвкалипта занимают вторые по значимости промышленные лесные плантации в мире, общая площадь которых в 2012 году составляла 14,1 млн. га (26 % от общей площади суши). При этом самая высокая доля посадок приходится на Европу, за ней следует Азия и Латинская Америка [9]. По причине быстрого роста и высокого качества древесного волокна эвкалипты являются ценным сырьём для целлюлозно-бумажной промышленности [10]. В результате использования эвкалипта в промышленных масштабах, образуется значительное количество коры, сжигаемой в дальнейшем для производства энергии. Утилизация коры путём сжигания не является рациональным решением по сравнению с другими видами топлива так как обладает низкой теплотворной способностью равной $13,34 \text{ МДж/кг}$ [11]. Для эвкалипта характерен быстрый рост в первые 10-15 лет жизни. К десяти годам высота дерева достигает 20–25 м при диаметре ствола 25–30 см. В процессе жизненного цикла рост коры не успевает за развитием дерева и в результате происходит естественный ежегодный сброс коры у всех видов эвкалипта [12].

Исследование по применению коры эвкалипта в виде заполнителя для теплоизоляционных материалов проводилось в университете Консепсьона (Чили). Сырьём для теплоизоляционных плит служили волокна коры эвкалипта длиной более 20 мм, измельчённые механическим способом. Связующим компонентом являлась 10% фенолформальдегидная смола. Коэффициент теплопроводности утеплителя варьировался в пределах $0,052\text{--}0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ при плотности $80\text{--}250 \text{ кг/м}^3$ и толщине плит равной 50 мм [13]. Отмечалось, что полученные композиции имеют низкую стойкость к появлению плесени и обладают горючестью. Кроме этого применение синтетической смолы на основе фенолформальдегида оказывает негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Экспериментальная часть: В настоящее время в лаборатории теплоизоляционных материалов Полоцкого государственного университета, совместно с учеными из политехнического института г. Лейрия (Португалия) проводятся исследования, направленные на получение утеплителя на основе волокон коры эвкалипта. В качестве исходного сырья применяется кора эвкалиптов, произрастающих на территории Португалии (рис. 1).



Рисунок 1. – Кора эвкалипта



Рисунок 2. – Измельчённая кора крупной фракции

Кора измельчалась механическим способом с использованием зернодробилки «Эликор 1». В процессе измельчения коры с естественной влажностью 5–6 % наблюдалась сильная запылённость и образование пыли в количестве 10–12 % от общей массы материала. Для устранения данной проблемы кору предварительно смачивали до влажности 20–30%. После измельчения пыльная фракция не превышала 2–3 % и визуально отмечалось увеличение количества тонких волокон средних размеров. Затем волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с размерами ячеек в диаметре 5, 2 мм. Полученные крупная, средняя и мелкая фракции кроме размеров в поперечном сечении отличались и по длине. Длина волокон крупной фракции соответствует 15–40 мм (рис. 2), средней – 8–15 мм и мелкой – 3–8 мм. По результатам фракционирования процентное содержание волокон по фракциям составило: крупная 30–40 %, средняя 20–30 % и мелкая 25–35 %.

На начальном этапе ставилась задача по определению влияния фракции и плотности измельченной коры на теплопроводность волокнистого массива, не содержащего вяжущее вещество. Определение коэффициента теплопроводности фракционированных волокон проводили на приборе «ИТП МГ 4». Волокна засыпались в камеру прибора и фиксировали крышку. Отмечается, что волокна обладают высокой способностью к сцеплению между собой с образованием связной структуры сохраняющей форму.

В результате получены зависимости изменения коэффициента теплопроводности от средней плотности волокон, по фракциям (рис. 3). При варьировании плотности 50–220 кг/м³ коэффициент теплопроводности изменяется в диапазоне от 0,049 до 0,062 Вт/(м·°С).

Для крупной фракции волокон эвкалипта при плотности 50 кг/м³ коэффициент теплопроводности равен 0,062 Вт/(м·°С). При постепенном увеличении средней плотности и достижении 140 кг/м³ происходит снижение коэффициента теплопроводности на 19,4 % до 0,05 Вт/(м·°С). Повышение коэффициента теплопроводности равного 0,056 Вт/(м·°С) на 12 % наблюдается при наибольшей плотности 220 кг/м³.

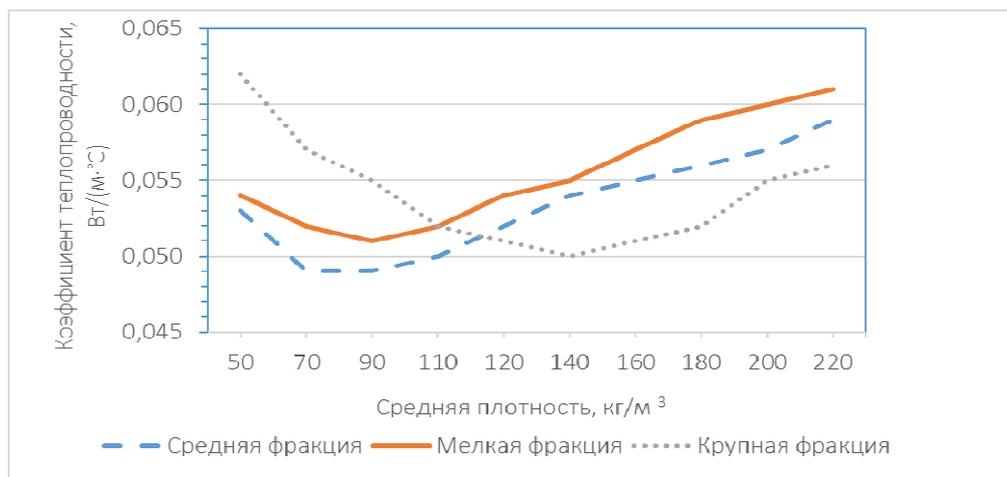


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента теплопроводности от плотности волокон эвкалипта

При изучении показателей средней фракции волокон установлено, что для минимальной плотности 50 кг/м³ коэффициент теплопроводности соответствует 0,053 Вт/(м·°С). Уменьшение коэффициента теплопроводности до 0,049 Вт/(м·°С) зафиксировано при плотности 70 кг/м³. Данный показатель теплопроводности сохраняется и для структуры с плотностью 90 кг/м³. Для максимальной средней плотности 220 кг/м³ прирост коэффициента теплопроводности составил 20,4 % и достиг значения 0,059 Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта мелкой фракции плотностью 50 кг/м³ равен 0,054 Вт/(м·°С). Минимальный показатель теплопроводности соответствует 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 90 кг/м³. Последующее постепенное возрастание плотности волокнистой структуры способствует повышению коэффициента теплопроводности. Так при плотности 220 кг/м³ коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта равен 0,061 Вт/(м·°С), то есть на 19,6 % превышает минимальный показатель.

Заключение.

1. Предварительное исследование коры эвкалипта позволяет сделать вывод, что на основе волокон возможно получение структурообразующего материала для производства утеплителей на природном сырье.
2. Применение коры эвкалипта с влажностью 20–30 % при измельчении снижает количество получаемой пыли в 4–5 раз и способствует увеличению средней фракции до 20–30 % в общей массе волокон.
3. Наилучший показатель теплопроводности обеспечивает средняя фракция волокон коры эвкалипта. При плотности 70–90 кг/м³ коэффициент теплопроводности волокон коры эвкалипта составляет 0,049 Вт/(м·°С)
4. В дальнейших исследованиях возможно введение второго растительного компонента с целью дополнительного снижения коэффициента теплопроводности структурной композиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Building and Construction Sector [Electronic resource] / Global Status Report, 2018. – Mode of access: <https://www.worldgbc.org/news->

- media/2018-global-status-report-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and. – Date of access: 27.11.2019.
2. Environment for development [Electronic resource] / United Nation Environment Programme. – Mode of access: <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>. – Date of access: 27.11.2019.
 3. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. – Новополюцк, 2016. – 1 с.
 4. Asdrubali, F. A review of unconventional sustainable building insulation materials. / Asdrubali, F., Alessandro, F.D., Schiavoni, S. // International Journal «Sustainable Materials and Technologies» (Elsevier) – 4 (2015) – p. 1–17.
 5. Термо-Нанф (Германия) – экологический утеплитель из конопли [Электронный ресурс] / сайт «Центр экоматериалов» – Режим доступа: http://www.center-eko.ru/index/uteplitel_iz_konopli_thermo_hanf_germanija/0-5/ - Дата доступа: 27.11.2019
 6. Luamkanchanaphan, T. A Study of Physical, Mechanical and Thermal Properties for Thermal Insulation from Narrow-leaved Cattail Fibers/ T. Luamkanchanaphan, S. Chotikaprakhan S. Jarusombati // International Journal « International Conference on Environmental Science and Development » (Elsevier) – 1 (2012) – p. 46–52.
 7. ОАО «АКОТЕРМ ФЛАКС» [Электронный ресурс] / сайт компании ОАО «Акотерм Флак» – Режим доступа: <http://akoterm-flaks.deal.by/> – Дата доступа: 27.11.2019 г;
 8. Обзор Экотеплина [Электронный ресурс] / сайт «TutKnow.ru» - Режим доступа: <http://tutknow.ru/building/uteplenie/6610-obzor-ekoteplina.html> / – Дата доступа: 16.02.2020;
 9. Strategic Review on the Future of Forest Plantation [Electronic resource] / Forest Stewardship Council. – Mode of access: <http://www.fao.org/forestry/42701-090e8a9fd4969cb334b2ae7957d7b1505.pdf> – Date of access: 27.11.2019.
 10. Jorge, F. Variability of fibre length in wood and bark in Eucalyptus globulus / F. Jorge, T. Quilho and H. Pereira, // IAWA Journal – 21 (2000) p.41–48.
 11. 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. Bustamante-García and O. J. R. Cápiro, // International Journal «Energy» (Elsevier) – 93 (2015) – p. 1731–1741.
 12. Learn about eucalypts [Electronic resource] /. Euclid: Centre for Australian National Biodiversity. – Mode of access: <http://keyserver.lucidcentral.org:8080/euclid/data/02050e02-0108-490e-8900-0e0601070d00/media/Html/learn.htm>. – Date of access: 27.11.2019.
 13. 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.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>