

УДК 666.973.2

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПЛИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

С.А. Романовский¹, А.А. Бакатович²

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: s.romanovskiy@psu.by¹, a.bakatovich@psu.by²

Рассмотрены потенциальные сырьевые источники в качестве эффективного структурообразующего материала для получения теплоизоляционных плит. Выполнен сравнительный анализ основных физико-механических характеристик теплоизоляционных материалов на местном растительном сырье и различных вяжущих компонентов. Проведен комплекс исследований по подбору составов теплоизоляционных плит с определением средней плотности, теплопроводности и прочности на сжатие при 10% деформации. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о наибольшей эффективности теплоизоляционных материалов из льняных очесов по сравнению с утеплителями на основе волокон льна.

Ключевые слова: очесы льна, льняные волокна, утеплитель, жидкое стекло, физико-механические характеристики.

HEAT-INSULATING PLATES BASED ON FIBROUS VEGETABLE RAW MATERIAL

S. Romanovskiy¹, A. Bakatovich²

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: s.romanovskiy@psu.by¹, a.bakatovich@psu.by²

Potential raw material sources are considered as an effective structure-forming material for obtaining heat-insulating plates. Comparative analysis of the main physical and mechanical characteristics of heat-insulating materials based on local plant raw materials and various binders is carried out. A set of studies was carried out to select the compositions of heat-insulating plates with the determination of the average density, thermal conductivity and compressive strength at 10% deformation. The results of the tests carried out indicate the greatest efficiency of heat-insulating materials made of linen noils in comparison with heaters based on flax fibers.

Keywords: flax noils, linen fibers, heater, liquid glass, physic-mechanical characteristics.

Введение. Организация производства экологически чистых строительных материалов на растительном сырье является одной из актуальных задач в строительной отрасли, связанных с сокращением выбросов углекислого газа, оказывающего наибольшее негативное воздействие на климат планеты. В мире на производство строительных материалов приходится 10% всех выбросов CO₂. Использование растительного сырья для замены существующих материалов является возможным решением по снижению выбросов CO₂ в окружающую среду. Производство строительных материалов на основе растительного сырья нейтрализует больше углекислого газа, чем выделяет в атмосферу, так как в процессе выращивания сельскохозяйственные культуры поглощают большие объемы углекислого газа [1]. Данная закономерность стимулирует научный интерес к исследованиям по рациональной утилизации отходов растениеводства, увеличивающихся в объемах с каждым годом.

Ряд исследователей отмечают, что увеличение объемов применения растительных отходов не только обеспечит строительство дополнительным сырьём и расширит номенклатуру местных строительных материалов, но и будет способствовать сохранению и рациональному использованию природных ресурсов [2, 3]. Особенно актуальным направлением будет являться получение эффективных утеплителей с пониженной горючестью, обеспечивающих экологическую безопасность для человека и не содержащих в составах опасных полимерных компонентов.

Основная часть. Образующиеся в больших объемах на территориях разных стран, включая Беларусь, растительные отходы волокнистой структуры на начальном этапе исследований рассматривались как потенциальные сырьевые источники получения эффективных теплоизоляционных плит. В экспериментах использовали различные растительные волокна: льна, очесов льна, джута, коры масличной пальмы, кокоса, бамбука, крапивы и отхода хлопкового волокна.

Основные физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон приведены в таблице 1. В качестве вяжущего использовали натриевое жидкое стекло. Для всех образцов показатель плотности соответствовал 50 кг/м^3 . Соотношение связующего к структурообразующему материалу по массе для всех составов принимали 1:4.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов на основе растительных волокон

№ состава	Структурообразующий материал (страна выращивания)	Физико-механические характеристики	
		коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	прочность на сжатие при 10% деформации, МПа
1	очесы льна (Беларусь)	0,041	0,0011
2	волокно льна (Беларусь)	0,047	0,0018
3	волокно джута (Бангладеш)	0,043	0,0013
4	волокно коры масличной пальмы (Малайзия)	0,054	0,011
5	волокно кокоса (Индия)	0,05	0,0064
6	волокно бамбука (Китай)	0,043	0,002
7	отход хлопкового волокна (Индия)	0,043	0,002
8	волокно крапивы (Беларусь)	0,041	0,001

Среди полученных материалов из волокон растительного происхождения (таблица 1), образцы из очесов льна и крапивы (составы 1, 8) обладают самой низкой теплопроводностью – $0,041 \text{ Вт/(м·°С)}$, что до 24% меньше показателей плит на других видах структурообразующих материалов (составы 2–7). Наибольшая прочность на сжатие при 10% деформации из рассматриваемых образцов достигается при использовании волокон коры масличной пальмы. Показатель прочности на сжатие теплоизоляционного материала из волокна коры в 1,7 раза больше прочности материала на основе кокосового волокна и в 5–10 раз превышает прочность на сжатие при 10% деформации утеплителей на основе других волокон растениеводства (таблица 1).

После проведенного анализа физико-механических характеристик плит в дальнейших исследованиях рассматривали местное растительное сырьё и различные вя-

жущие компоненты. В таблице 2 приведены показатели теплопроводности и прочности на сжатие при 10% деформации из очесов льна, льняных волокон и волокон крапивы при плотности образцов 50 кг/м³. Дисперсию ПВА, крахмал и канифоль применяли в качестве вяжущих. Расход связующего по сухому веществу к структурообразующему материалу по массе для всех образцов принимали 1:4.

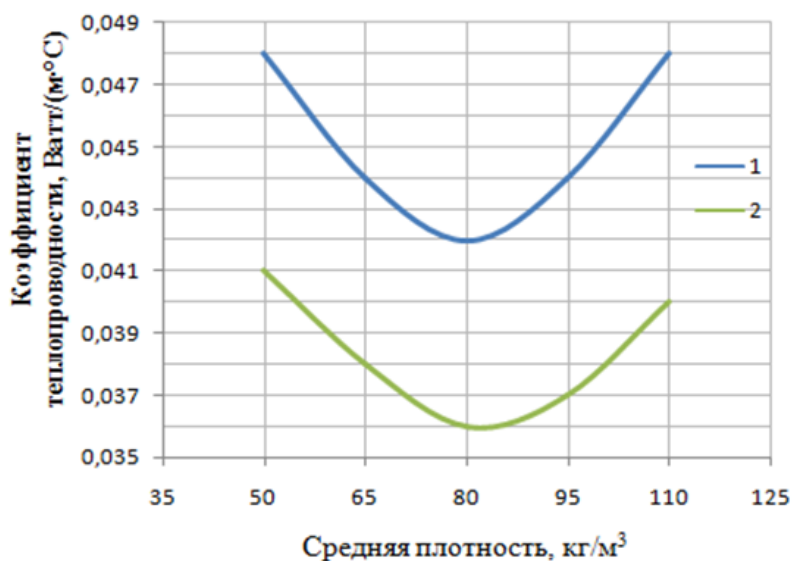
Таблица 2. – Физико-механические показатели утеплителей из волокон растительного происхождения

№ состава	Состав		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Прочность на сжатие при 10% деформации, МПа
	структурообразующий материал	вяжущее		
1	очесы льна	эмульсия ПВА	0,047	0,0013
2	очесы льна	крахмал	0,046	0,0012
3	очесы льна	канифоль	0,043	0,001
4	волокно льна	эмульсия ПВА	0,052	0,0021
5	волокно льна	крахмал	0,051	0,0019
6	волокно льна	канифоль	0,049	0,0016
7	волокно крапивы	эмульсия ПВА	0,049	0,0012
8	волокно крапивы	крахмал	0,047	0,0012
9	волокно крапивы	канифоль	0,042	0,0009

Из данных таблицы 2 следует, что теплопроводность исследуемых материалов со связующим из жидкого стекла или канифоли практически не отличаются. Образцы, содержащие эмульсию ПВА или крахмал (составы 1 и 2), обладают более высоким, на 12–15% коэффициентом теплопроводности, чем состав 1 (таблица 1). Для образцов на основе волокон льна (составы 4, 5) теплопроводности увеличивается на 0,004–0,005 Вт/(м·°С) по сравнению с показателем состава 2 (таблица 1). Аналогичная зависимость наблюдается для плит, формируемых из крапивы. Так при одинаковой плотности образцов из крапивы теплопроводность составов 7, 8 увеличивается на 15–20% по сравнению с составом 8 (таблица 1). Из данных таблиц 2.6 и 2.7 также следует, что прочностные показатели материалов на различных связующих имеют достаточно близкие прочностные характеристики, что можно объяснить низкой прочностью образцов.

С учетом отсутствия на территории Беларуси больших посевных площадей и промышленной технологии получения волокон крапивы, а также возникновения трудностей с равномерным распределением порошка канифоли по массиву образцов в процессе изготовления плит, наиболее оптимальным решением задачи по получению эффективного утеплителя из растительного сырья с пониженной горючестью, не содержащего в составе синтетического связующего, обеспечивающего экологическую безопасность для человека и окружающей среды, будет являться использование композиций из очесов или волокна льна на жидком стекле. Кроме того, жидкое стекло в отличие от рассматриваемых вяжущих позволяет существенно повысить огнестойкость горючего структурообразующего материала из растительного сырья.

Для проведения исследований свойств утеплителей изготавливали образцы-плиты размером 250×250×30 мм и образцы-кубы размером 100×100×100 мм. Первоначально варьировали среднюю плотность при постоянном расходе жидкого стекла, равного 10 кг. Зависимость коэффициента теплопроводности от средней плотности теплоизоляционных плит показана на рисунке 1.



1 – образцы из волокон льна; 2 – образцы из льняных очесов

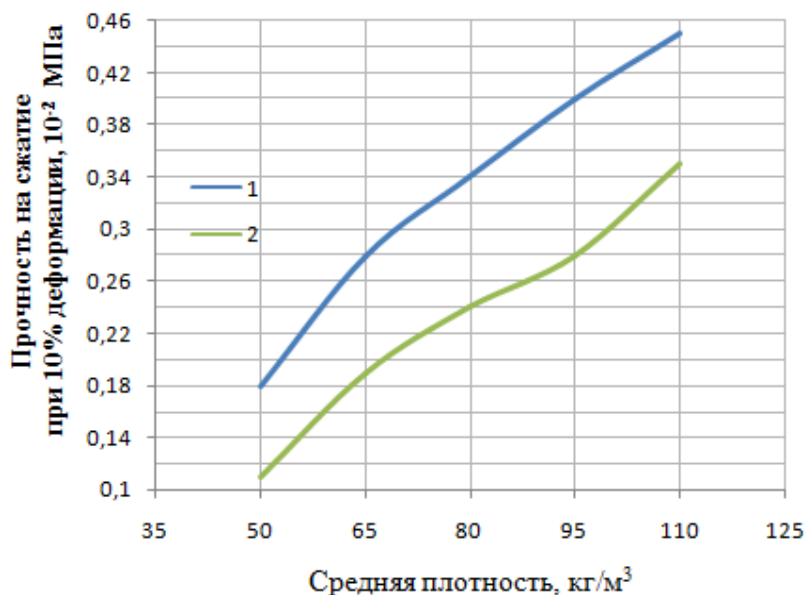
Рисунок 1. – Зависимость коэффициента теплопроводности от средней плотности

Анализ полученных зависимостей (рисунок 1) позволяет сделать вывод о том, что увеличение количества структурообразующего материала с целью повышения плотности утеплителя до 80 кг/м^3 , не зависимо от вида волокон приводит к уменьшению теплопроводности. С дальнейшим повышением происходит возрастание коэффициента теплопроводности. При плотности утеплителя на основе очесов льна 50 кг/м^3 теплопроводность составляет $0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$. Снижение коэффициента теплопроводности до $0,036 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ происходит при увеличении плотности в 1,6 раза до 80 кг/м^3 . Дальнейшее возрастание средней плотности до 110 кг/м^3 приводит к повышению теплопроводности до $0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$. Для плит из волокон льна установлена аналогичная зависимость, так минимальное значение коэффициента теплопроводности $0,042 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ соответствует плотности 80 кг/м^3 . При уменьшении плотности до 50 кг/м^3 и увеличении до 110 кг/м^3 отмечается повышение коэффициента теплопроводности на 14% до $0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$.

Таким образом установлено, что наилучшими показателями теплопроводности обладают теплоизоляционные плиты на основе очесов волокна льна. При плотности утеплителя на основе волокон льна 80 кг/м^3 коэффициент теплопроводности составляет $0,042 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$. При замене льняных волокон очесами льна происходит снижение теплопроводности на 20% до значения, равного $0,036 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$.

Влияние средней плотности на прочность материала при 10% деформации приведено на рисунке 2. Из полученных результатов следует, что увеличение плотности теплоизоляционных плит при постоянном расходе вяжущего приводит к повышению прочности на сжатие при 10% деформации. При плотности 50 кг/м^3 теплоизоляционных плит из очесов льна прочность на сжатие составляет $0,11 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$. Увеличение средней плотности в 2,2 раза приводит к повышению прочности в 3,2 раза до $0,35 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$. Образцы утеплителя на основе волокон льна при максимальной плотности 110 кг/м^3 достигают прочности равной $0,45 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$. Снижение плотности до 50 кг/м^3 вызывает понижение показателя прочности на сжатие при 10% деформации в 2,5 раза. Необходимо отметить, что в исследуемом диапазоне плотностей, прочность на сжатие

выше у теплоизоляционных материалов на основе волокон льна в среднем на 46% по сравнению с утеплителями из очесов волокна льна. Полученные показатели объясняются большим диаметром и жесткостью волокон льна, состоящих из пучков элементарных волокон, по сравнению с очесами, представляющими собой отдельные элементарные волокна.



1 – образцы из волокон льна; 2 – образцы из льняных очесов

Рисунок 2. – Зависимость прочности на сжатие при 10% деформации от средней плотности

На следующем этапе исследований при постоянном расходе волокнистого структурообразующего материала (70 кг) среднюю плотность утеплителя изменяли путем варьирования расхода вяжущего – жидкого стекла. За базовый принимали состав плотностью 80 кг/м³ (рис. 1). Физико-механические характеристики теплоизоляционных плит приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Физико-механические характеристики теплоизоляционных плит

№ состава	Вид структурообразующего материала	Расход натриевого жидкого стекла, кг	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Прочности на сжатие при 10% деформации, · 10 ⁻² МПа
1	Волокна льна	5	75	0,04	0,3
2		10	80	0,042	0,33
3		15	85	0,044	0,38
4		20	90	0,049	0,45
5	Льняные очесы	5	75	0,035	0,22
6		10	80	0,036	0,24
7		15	85	0,039	0,28
8		20	90	0,043	0,36

Полученные данные (таблица 3) свидетельствуют о том, что наилучшими показателями теплопроводности характеризуются образцы с наименьшим расходом связую-

щего. При этом, теплопроводность материала на основе льняных волокон (состав 1) при плотности 75 кг/м^3 превышает на 14 % показатель плит из очесов льна (состав 5). Возрастание средней плотности с 75 до 90 кг/м^3 за счет увеличения расхода жидкого стекла при постоянной массе структурообразующего материала приводит к повышению теплопроводности утеплителей из волокон и очесов льна на 22% и 23% соответственно.

При повышении плотности с 75 до 90 кг/м^3 прочность утеплителя из очесов льна возрастает на 64%, а из льняных волокон на 50%. Наибольшей прочностью в исследуемом диапазоне плотностей характеризуются материалы на основе волокон льна. Так, при плотности утеплителя из льняных волокон 90 кг/м^3 (состав 4), прочность на сжатие на 20% больше, чем у плит на основе очесов льна (состав 8).

Заключение. Проведенные исследования на различном растительном сырье указывают на то, что в любом регионе мира присутствует альтернативная сырьевая база для производства экологически безопасных растительных теплоизоляционных материалов.

Следует отметить, что основной характеристикой для теплоизоляционных материалов с низкой плотностью является показатель теплопроводности, а величина прочности с учетом специфики применения в конструкциях такой тепловой изоляции не является определяющей и для многих утеплителей не приводится. Таким образом, результаты проведенных испытаний свидетельствуют о наибольшей эффективности теплоизоляционных материалов из очесов и волокна крапивы по сравнению с утеплителями на основе льняных волокон. Однако отсутствие технологий выращивания и получения волокна крапивы в промышленных масштабах на территории Беларуси представляет собой существенный недостаток, препятствующий производству утеплителя.

Полученные теплоизоляционные плиты из очесов волокна льна характеризуются теплопроводностью $0,035\text{--}0,043 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ и прочностью на сжатие при 10% деформации $0,11\cdot 10^{-2}\text{--}0,35\cdot 10^{-2} \text{ МПа}$ при плотности $40\text{--}120 \text{ кг/м}^3$. Применение очесов волокна льна для изготовления утеплителей решает проблему утилизации растительных отходов льнопереработки и расширяет номенклатуру эффективных утеплителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wall, K., Walker, P., Gross, C, Mander. Development and testing of a proto- type straw bale house. Proceeding of the institution of Civil Engineers: Construction Materials. 2012. Vol. 165. Issue 6. Pp. 377–384.
2. Лукутцова, Н. П. Получение экологически безопасных строительных материалов из природного и техногенного сырья: автореф. дисс. ...д-ра техн. наук: 05.23.05 / Н. П. Лукутцова; Брянская гос. инженерно-технологическая академия. – Белгород, 2005. – 42 с.
3. Руководство по проектированию и изготовлению изделий из арболита. М.: Стройиздат, 1974. – 67 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
АРХИТЕКТУРЫ БЕЛОРУССКОГО ПОДВИНЬЯ
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ**

Электронный сборник статей

МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(Новополоцк, 26–27 ноября 2020 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72(082)

Редакционная коллегия:
Р. М. Платонова (председатель),
В. В. Васильева (отв. секретарь),
Л. М. Парфенова, Е. Д. Лазовский, В. Е. Овсейчик

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ БЕЛОРУССКОГО ПОДВИНЬЯ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ [Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 26–27 нояб. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Р. М. Платонова [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

ISBN 978-985-531-734-1.

Представлены итоги исследований, освещающие проблемы истории архитектуры, градостроительства и искусства, современной архитектуры, дизайна и строительства, научно-методические проблемы преподавания архитектурных, дизайнерских и строительных дисциплин.

Предназначен для специалистов в области архитектуры и проектирования, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов архитектурных, дизайнерских и строительных специальностей.

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

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 59 95 11, e-mail: r.platonowa@psu.by; u.auseichyk@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-734-1

© Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных регионов» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
АРХИТЕКТУРЫ БЕЛОРУССКОГО ПОДВИНЬЯ
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ**

Электронный сборник статей

МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(Новополоцк, 26–27 ноября 2020 г.)

Технический редактор *А. А. Прадидова*.
Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой*.
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 27.04.2021.
Объем издания: 11,4 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>