

УДК 666.973.2

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПЛИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

**С.А. Романовский<sup>1</sup>, А.А. Бакатович<sup>2</sup>**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: s.romanovskiy@psu.by<sup>1</sup>, a.bakatovich@psu.by<sup>2</sup>

*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. Romanovskiy<sup>1</sup>, A. Bakatovich<sup>2</sup>**

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: s.romanovskiy@psu.by<sup>1</sup>, a.bakatovich@psu.by<sup>2</sup>

*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 CO<sub>2</sub>. Использование растительного сырья для замены существующих материалов является возможным решением по снижению выбросов CO<sub>2</sub> 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  $50 \text{ кг/м}^3$ . 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/м<sup>3</sup>. 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.

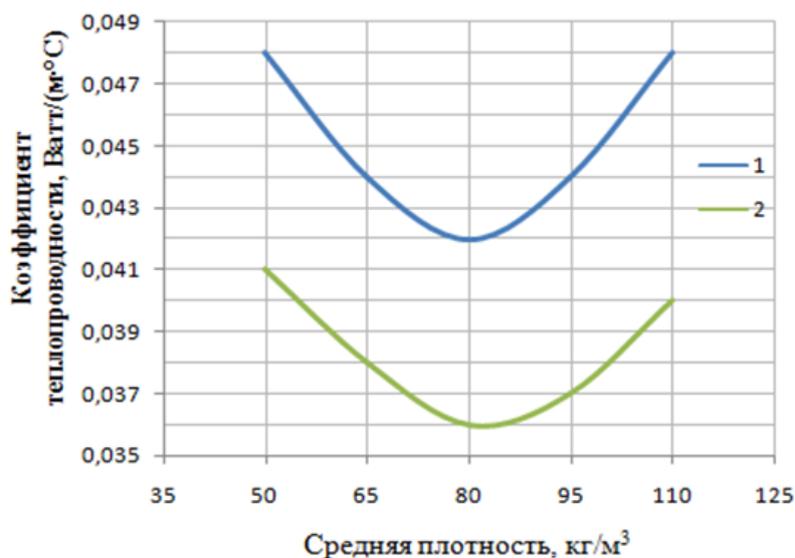
Таблица 2. – Физико-механические показатели утеплителей из волокон растительного происхождения

№ 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

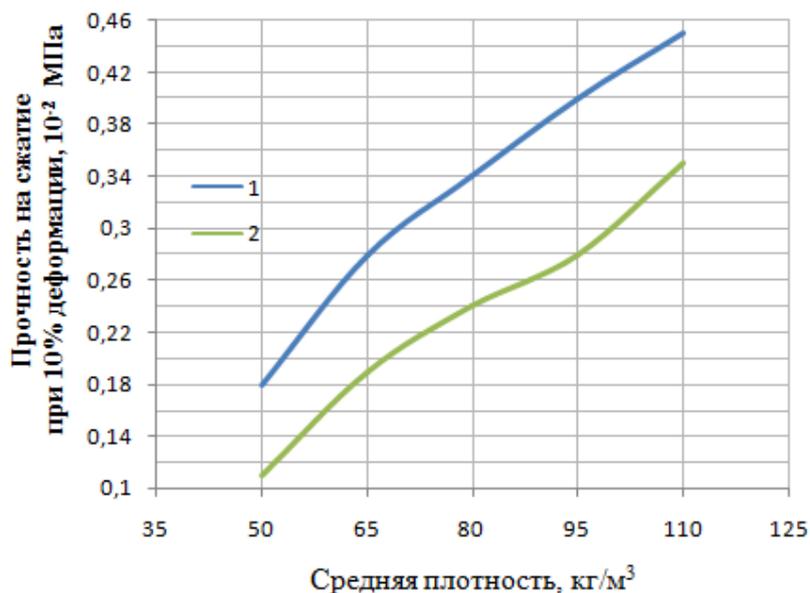
Рисунок 1. – Зависимость коэффициента теплопроводности от средней плотности

Анализ полученных зависимостей (рисунок 1) позволяет сделать вывод о том, что увеличение количества структурообразующего материала с целью повышения плотности утеплителя до 80 кг/м³, 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/м³ теплопроводность составляет 0,041 Вт/(м·°С). Снижение коэффициента теплопроводности до 0,036 Вт/(м·°С) происходит при увеличении плотности в 1,6 раза до 80 кг/м³. Дальнейшее возрастание средней плотности до 110 кг/м³ приводит к повышению теплопроводности до 0,04 Вт/(м·°С). Для плит из волокон льна установлена аналогичная зависимость, так минимальное значение коэффициента теплопроводности 0,042 Вт/(м·°С) соответствует плотности 80 кг/м³. При уменьшении плотности до 50 кг/м³ и увеличении до 110 кг/м³ отмечается повышение коэффициента теплопроводности на 14% до 0,048 Вт/(м·°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/м³ коэффициент теплопроводности составляет 0,042 Вт/(м·°С). При замене льняных волокон очесами льна происходит снижение теплопроводности на 20% до значения, равного 0,036 Вт/(м·°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/м³ теплоизоляционных плит из очесов льна прочность на сжатие составляет  $0,11 \cdot 10^{-2}$  МПа. Увеличение средней плотности в 2,2 раза приводит к повышению прочности в 3,2 раза до  $0,35 \cdot 10^{-2}$  МПа. Образцы утеплителя на основе волокон льна при максимальной плотности 110 кг/м³ достигают прочности равной  $0,45 \cdot 10^{-2}$  МПа. Снижение плотности до 50 кг/м³ 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  $80 \text{ кг}/\text{м}^3$  (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, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	Прочности на сжатие при 10% деформации, $\cdot 10^{-2}$ 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  $75 \text{ кг/м}^3$  превышает на 14 % показатель плит из очесов льна (состав 5). Возрастание средней плотности с  $75$  до  $90 \text{ кг/м}^3$  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  $90 \text{ кг/м}^3$  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  $90 \text{ кг/м}^3$  (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>