

УДК 666.973.2

С.А. Романовский, А.А. Бакатович, Н.В. Давыденко

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОЧЕСОВ ВОЛОКНА ЛЬНА В  
ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

*Полоцкий государственный университет*

Аннотация: Предложено использовать в качестве волокнистого заполнителя для изготовления утеплителя предложено использовать отходы льнозаводов – очесы льняного волокна. Представлены результаты исследований по изучению микроструктуры очеса волокна льна с помощью светового микроскопа и льняного волокна с применением электронной микроскопии. Установлены морфометрические параметры льняного волокна очеса и элементарных волокон. При исследовании очеса волокна льна с использованием оптического микроскопа подтверждено наличие пустотного канала диаметром 4–6 мкм в элементарном волокне. Проведен комплекс исследований по подбору составов и определены основные физико-механические характеристики полученных образцов, свидетельствующие о наибольшей эффективности теплоизоляционного материала на основе очесов волокна по сравнению с утеплителем из льняных волокон. Выявлены основные факторы, оказывающие положительное влияние на снижение коэффициента теплопроводности утеплителя, полученного из очесов льна.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, световая и электронная микроскопия, льняные волокна, очесы волокна льна, средняя плотность, коэффициент теплопроводности, прочность на сжатие при 10% деформации.

UDC 666.973.2

S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich, N.V. Davydenko

**TO THE QUESTION OF USE OF NOILS OF FIBRE OF THE FLAX AS  
AGGREGATE IN PRODUCTION OF HEAT-INSULATING MATERIAL**

*Polotsk state university*

Abstract: It is proposed to use as a fibrous aggregate for the manufacture of a heater a waste of flax plants - lynx fiber strands. Results of researches on studying of a microstructure of noil of fiber of flax with the help of a light microscope and linen fiber with application of electronic microscopy are presented. Morphometric parameters of linen fiber of noil and elementary fibers

are set. At a flax fiber noil research with use of an optical microscope existence of the hollow channel in elementary fiber with a diameter of 4–6 microns is confirmed. The complex of researches on selection of compounds is conducted and the main physico-mechanical characteristics of the received samples confirming the greatest efficiency of heat-insulating material on the basis of fiber noils in comparison with heater from linen fibers are defined. The major factors exerting positive impact on decrease in coefficient of heat conductivity of the heater received from flax noils are revealed.

Key words: heat-insulating materials, light and scanning electronic microscopy, flax fibers, flax fiber noils, average density, heat conductivity coefficient, durability on compression at 10% of deformation.

На сегодняшний день при низкой цене утеплителя потребитель получает низкокачественный продукт, а при высокой стоимости основная часть эксплуатационных показателей находится в пределах нормы, но вопросы экологичности и долговечности для большинства теплоизоляционных материалов остаются не проработанными. Современный уровень развития техники и технологий позволяет достичь комплексного сочетания достоинств утеплителей и отсутствия отрицательных качественных показателей материала. В этой связи, получение эффективного утеплителя на основе очесов волокна льна можно отнести к разряду перспективных инновационных решений в области экологического строительства.

Получения льняных очесов является достаточно трудоемким процессом. Волокна льна от древесины стебля отделяют сплошными лентами из лубяного слоя, представляющие собой техническое волокно [1]. Затем льняное сырье поступает на льнозаводы для первичной переработки льна. На мяльно-трепальных агрегатах в процессе мятья и трепания волокна приобретают вид длинных прядей. Часть волокон при этом обрывается и попадает в отходы. Таким образом, получают очесы льна на стадии трепания. Для дальнейшей переработки льноволокно поступает на льнокомбинаты, где длинное трепаное волокно подвергают чесанию. В результате чесания трепаного льна получают от 45 до 55% чесаного льна, 40–50% очеса и 5% костры.

Льняные волокна используют для изготовления тонких и прочных ажурных кружев, тонких батистов, материи для постельного и нательного белья, декоративных тканей. Для производственных целей из льняного сырья изготавливают такие грубые и особо прочные изделия, как брезенты, парусину, рыболовные сети, пожарные рукава [2].

Компания ОАО «АКОТЕРМ ФЛАКС» (Беларусь) предлагает теплоизоляционные плиты, изготавливаемые из льняного волокна (85%) и связующего компонента – бикомпонентного полиэфирного волокна (15%), равномерно распределенного по всему объему плиты [3]. Применяют материал в малоэтажном строительстве для утепления стен и перекрытий. Срок эксплуатации плит не менее 70 лет. Плиты «АКОТЕРМ ФЛАКС» имеют плотность 30 кг/м<sup>3</sup>, обеспечивают теплопроводность 0,038 Вт/(м·°С), звукопоглощение – 0,84 и паропроницаемость – 0,4 мг/(м·ч·Па).

Также в Беларуси производят «Льноватин» – материал, состоящий из коротких льняных волокон длиной менее 25 см [4]. Волокнистые остатки подвергают специальной обработке в чесальных машинах и формируют равномерное полотно. Полученный материал уплотняют с помощью пробивных игл, спутывающих волокна между собой. «Льноватин» характеризуется плотностью 72–100 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,038 Вт/(м·°С).

Наиболее известны теплоизоляционные плиты «Экотеплин», производимые в России, содержащие в составе льняные волокна, являющиеся наполнителем [5]. В качестве связующего используют натуральный крахмал, а соли бора применяют как огне- и биозащиту. Технология производства утеплителя предусматривает получение плит без применения синтетических добавок. Плиты применяют как в малоэтажном строительстве, так и для утепления и звукоизоляции многоквартирных домов. Материал «Экотеплин» является гипоаллергенным и полностью безопасным для здоровья. При плотности  $32 \text{ кг/м}^3$  утеплитель имеет коэффициент теплопроводности  $0,038 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , коэффициент звукопоглощения –  $0,98$ , коэффициент паропроницаемости –  $0,4 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$ , при группе горючести Г1. Регламентируемый срок службы материала составляет более 60 лет.

Из очесов льна длиной 5–10 см изготавливают материалы для производства широкого ассортимента тканей технического и бытового назначения: обивочных, тарных, портьерных, мебельных и пр. Также очесы льна применяют для получения основы под отделочные материалы и напольные покрытия. Очесы, не подвергнутые прядению, используют для уплотнения резьбовых соединений трубопроводов [6]. Таким образом, очесы льна имеют достаточно широкую область применения, однако поиск путей максимального эффективного использования очесов для среды обитания человека на сегодняшний день остается открытым вопросом. Наиболее актуальным решением поставленной задачи будет являться получение эффективных утеплителей из очесов волокна льна с пониженной горючестью, обеспечивающих экологическую безопасность для человека и не содержащих в составах органических, синтетических связующих, а также полимерных компонентов наполнителей. На первоначальном этапе необходимо исследовать и проанализировать микроструктуру льняного очеса, а также волокна льна для установления параметров, позволяющих обеспечить высокие физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов.

Изучение микроструктуры очеса волокна льна проводили с помощью световой микроскопии. Исследование микроструктуры на оптическом микроскопе «Альтами МЕТ 5С» позволяет получить изображения структуры поверхности исследуемых объектов. Данный микроскоп имеет специальный осветитель, установленный со стороны объектива, и построен по схеме отраженного света. Полученные изображения выводились на экран монитора и записывались на жесткий диск компьютера. Использование компьютерной программы «Altami Studio» даёт возможность совмещать полученные последовательные фотоснимки фрагментов образцов для увеличения участка изображения исследуемого материала.

Исследование морфологических особенностей льноволокна осуществляли с использованием сканирующего электронного микроскопа «JSM-5610 LV». Наличие низковакуумного режима работы микроскопа обеспечивает получение изображения с реальной поверхности без предварительной подготовки образцов. Интерфейсная часть программного обеспечения микроскопа, состоящая из управляющей программы INCA Energy 450, запускается на персональном компьютере и служит для отображения, обработки и сохранения результатов измерений.

С помощью световой микроскопии получены изображения внешнего вида очеса льна путем совмещения фотоснимков последовательно расположенных участков исследуемого образца. Например, на рис. 1а представлено изображение льняного очеса длиной 6 см. На изображении очеса волокна льна рамкой выделен фрагмент, увеличенный на рисунке 1б.

Полученные данные свидетельствуют о том, что очес волокна льна состоит из растрепанных пучков элементарных волокон (рис. 1а). В очесе элементарные волокна периодически связываются друг с другом за счет хаотически расположенных контактных соединений. В результате формируется сетчатый волокнистый каркас,

обеспечивающий прочное продольное соединение всей структуры очеса льна. Очesy связываются между собой благодаря боковым ответвлениям в виде элементарных волокон, образуя сетчатую пространственную волокнистую систему. Элементарное волокно представляет собой растительную клетку веретенообразной формы. На микроснимке (рис. 1б) в элементарных волокнах отчетливо просматриваются узкие внутренние каналы диаметром 4–6 мкм. Длина элементарных волокон варьируется от 10 до 40 мм, при диаметре 8–12 мкм.

В структуре элементарного волокна различают несколько концентрически расположенных слоев, отличающихся различным светопреломлением [7]. Первая область оболочки является довольно тонкой и состоит в основном из пектиновых веществ, склеивающих клетки между собой. Состоящая из целлюлозы первичная стенка со значительным содержанием гемицеллюлозы, пектинов и часто лигнина образует следующую область. Вторичная стенка также структурирована из целлюлозы и характеризуется различными показателями светопреломления из-за меньшего количества примесей вышеуказанных веществ. В начале развития элементарные волокна представляют собой клетки округлой формы, заполненные плазменным содержимым. По мере роста соответствующей зоны данные клетки удлиняются, оболочка их сильно утолщается с внутренней стороны и достигает такой толщины, что внутренняя полость с плазменным содержимым становится заметной лишь в виде очень узкого канала. Таким образом, полученные результаты световой микроскопии по изучению строения волокна (рис. 1б) полностью подтверждают наличие пустотного канала в элементарном волокне.

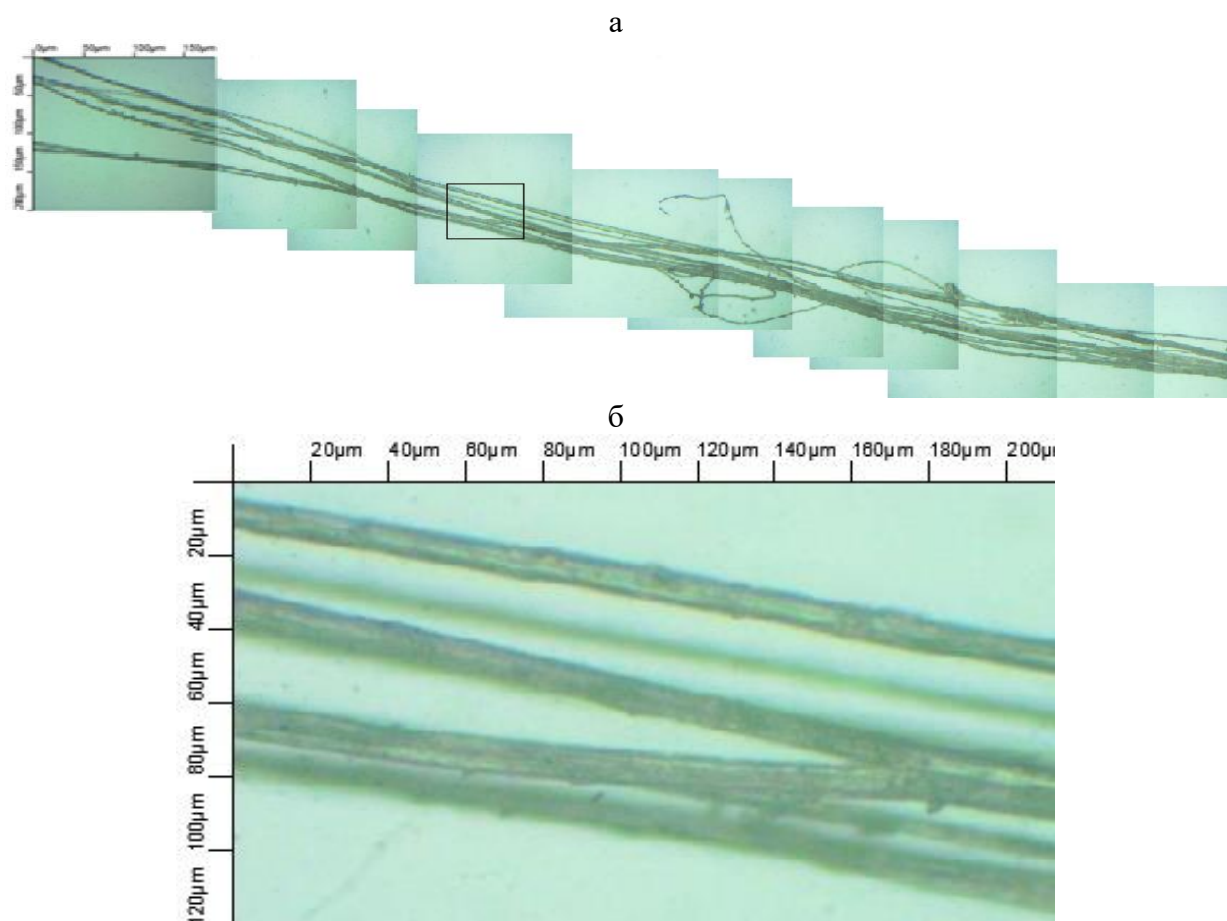


Рисунок 1 – Световая микроскопия очеса волокна льна  
а – внешний вид очеса; б – элементарные волокна в очесе

Применение сканирующего электронного микроскопа позволило установить, что волокно льна состоит из пучков элементарных волокон (рис. 2а). На внешнем изображении волокна рамкой выделен фрагмент, увеличенный на рисунке 2б. Обозначенные стрелкой белые образования представляют собой микрофибриллы, обусловленные присутствием нецеллюлозных полисахаридов и пектина. Проведенный электронно-микроскопический анализ подтверждает морфометрические параметры элементарных волокон, определенные при исследовании очеса волокна льна с помощью световой микроскопии, а также позволяет установить, что размеры пучков в диаметре равны 50–70 мкм, при содержании в структуре пучка от 10 до 20 элементарных волокон. Данные микроскопического анализа свидетельствуют о том, что из очесов льна может формироваться менее «грубая» и более эффективная теплоизоляционная микросетчатая структура по сравнению с материалами на основе волокна льна.

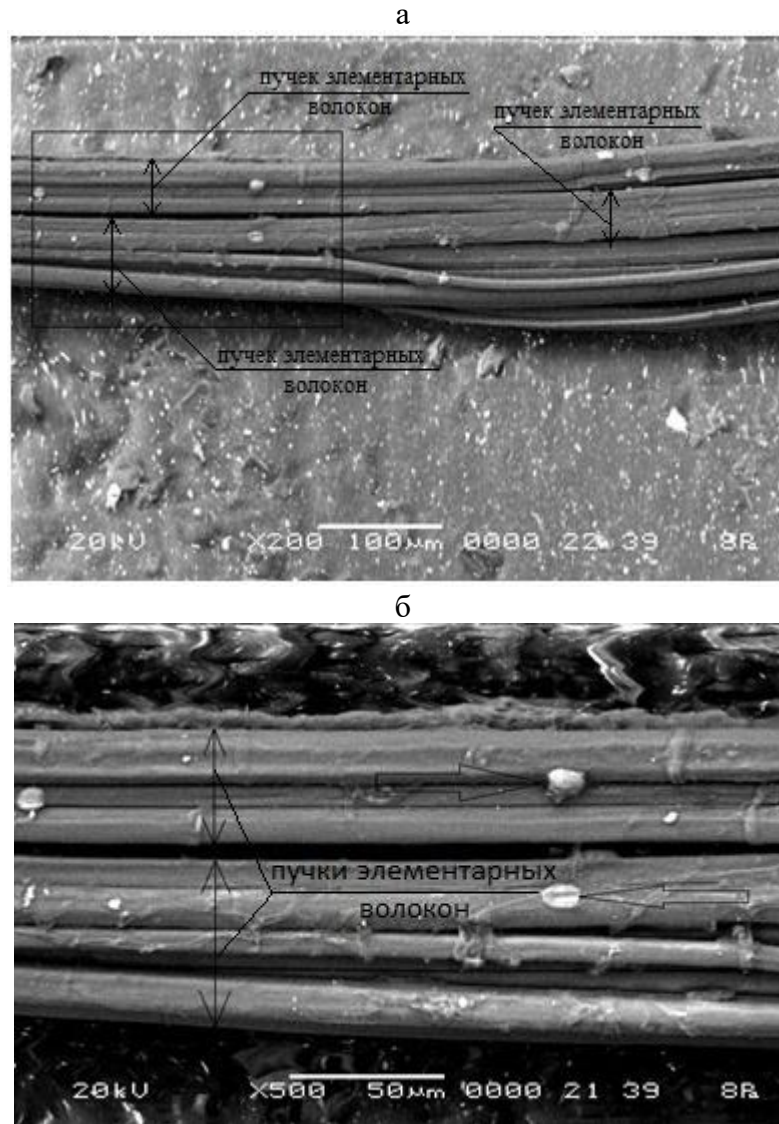


Рисунок 2 – Электронная микроскопия волокна льна  
*а – увеличение 200 крат; б – увеличение 500 крат*

Теплоперенос в волокнистых материалах осуществляется за счет передачи тепла от одного волокна к другому, а также конвективным переносом воздуха, находящимся между волокнами. С уменьшением толщины волокон теплоперенос затрудняется, так как при передаче тепла от одного волокна к другому затрачивается тепловая энергия.

Чем тоньше волокно, тем меньше площадь контакта между волокнами, что повышает сопротивление материала передаче тепла. Несмотря на то, что при наличии ультратонких волокон увеличивается количество контактов между ними, общая сумма площадей точек соприкосновения значительно меньше, чем площадь контактов в структуре из волокон льна. Таким образом, наилучшими теплотехническими показателями должны обладать утеплители на основе очесов льна, характеризующиеся в 2–5 раз меньшей длиной и в 5–6 раз меньшим размером поперечного сечения по сравнению с волокном льна, состоящим из плотных пучков элементарных волокон.

На следующем этапе проводили комплекс исследований по подбору составов теплоизоляционных материалов, исследовали основные физико-механические характеристики полученных образцов. В экспериментальных составах использовали заполнители из очесов и волокна льна. Натриевое жидкое стекло применяли в качестве вяжущего.

Первоначально подбирали составы на основе очесов волокна льна длиной 5–10 см. Формовку образцов производили с использованием прессы под давлением 0,02–0,04 МПа. Образцы выдерживали в форме 6 часов при температуре  $20 \pm 2$  °С, а затем высушивали в течение 4 часов в сушильном шкафу при температуре 45–55 °С. Среднюю плотность и теплопроводность определяли на образцах–плитах размером 250×250×25 мм. Прочность на сжатие при 10% деформации исследовали на образцах-кубах размером 100×100×100 мм. В таблице 1 приведены характеристики теплоизоляционных плит.

Таблица 1

Физико-механические характеристики теплоизоляционных плит

№ состава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> в долях от единицы		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Прочность на сжатие при 10 % деформации, МПа
	очесы волокна льна	натриевое жидкое стекло			
1	0,875	0,125	40	0,041	0,018
2	0,91	0,09	55	0,038	0,021
3	0,93	0,07	70	0,034	0,025
4	0,94	0,06	85	0,036	0,03

При фиксированном расходе жидкого стекла, увеличение количества очесов (составы 1, 3) приводит к повышению плотности на 75%, прочности на сжатие при 10% деформации на 39% и уменьшению коэффициента теплопроводности на 17%. При дальнейшем возрастании дозировки заполнителя (состав 4) происходит увеличение плотности на 21%, коэффициента теплопроводности на 0,002 Вт/(м·°С), прочности на 20% по сравнению с показателями состава 3. Анализ физико-механических характеристик показывает, что состав 3, при плотности 70 кг/м<sup>3</sup>, характеризуется наименьшим коэффициентом теплопроводности.

Для сравнительного анализа эффективности полученных результатов на составах 1–4 (табл. 1), в качестве заполнителей использовали отдельно очесы и волокна льна, а также смесь волокон и очесов льна. За базовый состав принимали состав 3 (табл. 1). В исследованиях использовали льняные волокна длиной до 25 см. Для смеси волокон и очесов льна соотношение компонентов принимали равным 80:20.

При изготовлении образцов материала соблюдали определенную

последовательность выполнения технологических операций. Предварительно производили дозировку компонентов. Затем, для образцов на основе смеси волокон и очесов волокна льна насухо перемешивали компоненты заполнителя. После чего добавляли жидкое стекло к заполнителю и перемешивали. Далее производили формовку образцов в виде плит путем подпрессовки смеси под давлением 0,03–0,04 МПа. После выдержки в форме образцы высушивали. Определения показателей средней плотности и коэффициента теплопроводности производили на плитах (рис. 3.1, рис. 3.2). Необходимо отметить, что после сушки на всех образцах (плиты, кубы) усадочные деформации отсутствовали.



Рисунок 3.1 – Образец на основе смеси волокон и очесов льна



Рисунок 3.2 – Образец на основе очесов волокна льна

Таблица 2

Физико-механические характеристики теплоизоляционных плит

№ состава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> в долях от единицы			Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/( м·°С)	Прочность на сжатие при 10 % деформации, МПа
	волокна льна	очесы волокна льна	жидкое натриевое стекло			
1	0,93	-	0,07	70	0,041	0,026
2	0,74	0,19	0,07	70	0,038	0,026
3	-	0,93	0,07	70	0,034	0,025
4	0,81	-	0,19	85	0,043	0,032
5	0,65	0,17	0,19	85	0,04	0,032
6	-	0,81	0,19	85	0,036	0,03
7	0,73	-	0,27	100	0,045	0,044
8	0,58	0,15	0,27	100	0,043	0,043
9	-	0,73	0,27	100	0,039	0,04

При рассмотрении полученных характеристик составов 1–3 с постоянным

расходом жидкого стекла отмечается повышение коэффициента теплопроводности состава 1 на 17% относительно показателя состава 3. Аналогичные зависимости получены и для составов 4, 6 и составов 7, 9. Замена 20% волокна очесами льна обеспечивает снижение показателя теплопроводности до 0,038 Вт/(м·°С) (состав 2). В процессе анализа результатов составов 1 и 7 установлено, что увеличение расхода жидкого натриевого стекла приводит к повышению плотности на 43% и коэффициента теплопроводности на 0,004 Вт/(м·°С), прочности на сжатие при 10% деформации на 57%. Также отмечается повышение плотности на 43%, прочности на 60% и коэффициента теплопроводности на 0,005 Вт/(м·°С) у состава 9 по сравнению с характеристиками состава 3. Анализ физико-механических характеристик показывает, что применение в качестве заполнителя очесов льна (составы 3, 6, 9), вместо смеси из волокна и очесов льна (составы 2, 5, 8), при одинаковой плотности утеплителей, снижает коэффициент теплопроводности на 0,004 Вт/(м·°С), а прочность материала практически не изменяется.

Понижение теплопроводности обусловлено меньшей длиной и размером поперечного сечения очеса по сравнению с волокном льна. Дополнительным фактором, положительно влияющим на снижение теплопроводности, является наличие у элементарных волокон внутреннего канала диаметром 4–6 мкм, уменьшающего кондуктивный перенос тепла по телу волокна.

Снижению теплопроводности также способствует разнонаправленное в объеме расположение элементарных волокон в структуре утеплителя. Такое распределение волокон препятствует конвективному переносу воздуха за счет уменьшения размеров тонких воздушных прослоек неправильной формы и их частичной локализации в виде отдельных замкнутых микропустот.

*Заключение:* Выполненная электронная микроскопия позволила установить, что микроструктура очеса льна представлена скоплением элементарных волокон, имеющих хаотически расположенные контактные соединения между собой, что обуславливает формирование сетчатого волокнистого каркаса очеса льна. При контакте между собой очесы образуют пространственную микросетчатую волокнистую систему.

Элементарное волокно представляет собой микротрубку диаметром 8 – 12 мкм, с пустотным каналом диаметром 4–6 мкм, что сопоставимо с размерами полнотелых волокон минеральной ваты, обеспечивающих формирование эффективной изолирующей структуры.

Полученные теплоизоляционные плиты из очесов волокна льна характеризуются теплопроводностью 0,034–0,039 Вт/(м·°С) при плотности 70–100 кг/м<sup>3</sup> и относятся к группе горючести Г1. В отличие от аналогов, теплоизоляционный материал обладает прочностью при 10% деформации 0,025–0,04 МПа, что позволяет расширить область применения материала в конструкциях, включая утепление вентилируемых фасадов, малоуклонных кровель и устройстве термошуб.

Установлены факторы, оказывающие существенное влияние на показатель теплопроводности волокнистых утеплителей: присутствие волокон диаметром менее 20 мкм; наличие пустотных каналов в волокнах; хаотично-ориентированное в объеме расположение волокон, обеспечивающее формирование сетчатого структурного каркаса; снижение общей площади контактов волокон; уменьшение размеров и локализация микропустот в структуре утеплителя.

#### Список литературы

1. Технология производства [Электронный ресурс] / сайт проекта «LinenMosclute"г» – Режим доступа: [http://linen.moscluster.com/?page\\_id=43](http://linen.moscluster.com/?page_id=43) / – Дата доступа: 25.08.2017 г.
2. Продукты из льна [Электронный ресурс] / сайт проекта «LinenMosclute» –



Режим доступа: [http://linen.moscluster.com/?page\\_id=54/](http://linen.moscluster.com/?page_id=54/) – Дата доступа: 25.08.2017 г.

3. ООО «Акотерм флакс» [Электронный ресурс] / сайт компании ОАО «Акотерм Флак» – Режим доступа: <http://akoterm-flaks.deal.by/> – Дата доступа: 25.08.2017 г.

4. Льноватин – свойства и сфера применения: [Электронный ресурс] / сайт «Тверской лен» – Режим доступа: <http://tverskoy-len.ru/lnovatin-1.shtml> / – Дата доступа: 25.08.2017 г.

5. Обзор Экотеплина [Электронный ресурс] / сайт «TutKnow.ru» – Режим доступа: <http://tutknow.ru/building/uteplenie/6610-obzor-ekoteplina.html/> – Дата доступа: 25.08.2017 г.

6. Очёсы льняные из длинного льноволокна [Электронный ресурс] / сайт компании «Flagma» – Режим доступа: <https://minsk.flagma.by/ochyosy-lynyanye-dlinnogo-lynovolokna-o1858990.html/> – Дата доступа: 25.08.2017 г.

7. Рогаш А. Р. Льноводство / А.Р. Рогаш, Н.Г. Абрамов, Я.А. Лебедев- М.: Изд-во Колос., 1967. - 139 с.

8. Солдаев, В. А. Создание древесно-полимерного теплоизоляционного материала: дисс. ...канд. техн. наук : 05.21.05. – Казань, 2017.

9. Очес льняной [Электронный ресурс] / сайт «textile-moscow» – Режим доступа: <http://textile-moscow.ru/index.php/tekstilnye-stati/syre-i-materialy/1928-oches-lynyanoj-lynanoe-voлокно-mochentsovuy-oches-lynyanoj-parentsovyj-oches-lynyanoj-voлокно> / – Дата доступа: 25.08.2017 г.

10. Ассортимент и параметры качества льняных тканей [Электронный ресурс] / сайт «Мир знаний» – Режим доступа: <http://mirznanii.com/a/140865/assortiment-i-parametry-kachestva-lynyanykh-tkaney/> – Дата доступа: 25.08.2017 г.

11. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия ТУ ВУ 391129716.001-2015. – Введ. 27.07.2015. – Ореховск – 2015. – 10 с

12. Советников Д.О., Семашкина Д.О., Баранова Д.В. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 12 (51). С. 7–19.

13. Красимова С.С., Малышева В.А., Рожкова Д.Н. Обзор биопозитивных строительных материалов, применяемых при строительстве экодома // Masters journal. 2014. С. 363–369.

14. Очес льняной. Технические условия: ГОСТ Р 53486. Введ. 01.01.2011. – М.: Стандартиформ, 2010. – 29 с.

15. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия: СТБ 1195 – 2008. – Введ. 30.04.2008. – Минск : Госстандарт, 2008. – 19 с.

16. Стекло натриевое жидкое. Технические условия: ГОСТ 13078-81. – Введ. 01.01.1982. – М.: Стандартиформ. – 2005. – 14 с.

17. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний : ГОСТ 17177-94. – Введ. 22.08.1995. – Минск : Минстройархитектур. – 1996. – 56 с.

18. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме : СТБ 1618-2006. – Введ. 24.03.2006. – Минск : Минстройархитектуры. – 2006. – 9 с.

19. Кильчевский, А.В., Хотылева, Л.В. Генетические основы селекции растений. - Изд. Беларуская навука, 2010, - с. 251

20. Основные свойства тим [Электронный ресурс] / сайт «StudFiles» – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3732068/page:3/> / – Дата доступа: 25.08.2017 г.

**Информация об авторах:**

**Романовский Сергей Александрович,**  
Ассистент кафедры строительного производства,  
Полоцкий государственный университет,  
г. Новополоцк, Беларусь

**Бакатович Александр Александрович,**  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
строительного производства, Полоцкий  
государственный университет,  
г. Новополоцк, Беларусь

**Давыденко Надежда Владимировна,**  
Кандидат технических наук, старший  
преподаватель кафедры теплогазоснабжения и  
вентиляции, Полоцкий государственный  
университет, г. Новополоцк, Беларусь

**Information about authors:**

**Romanovsky Sergey Alexandrovich,**  
Assistant of the Chair of Construction Production,  
Polotsk State University,  
Novopolotsk, Belarus

**Bakatovich Alexander Aleksandrovich,**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of  
the Department of Construction Production, Polotsk  
State University, Novopolotsk, Belarus

**Davydenko Nadezhda Vladimirovna,**  
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,  
Department of Heat and Gas Supply and Ventilation,  
Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus