

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ФЛОКИРОВАНИЯ

THERMOTECHNICAL PROPERTIES OF MATERIALS PRODUCED BY AERODYNAMIC FLOCKING

УДК 677.017.2/.7:677.014.332

В.В. Парманчук^{1*}, В.И. Ольшанский²

¹ ОАО «БЕЛАЗ» – Управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»

² Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-2-59-72>

V. Parmanchuk^{1*}, V. Alshanski²

¹ OJSC «BELAZ» – Management Company of Holding «BELAZ-HOLDING»

² Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, ВОЛОКНИСТАЯ МАССА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ, ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Работа посвящена определению теплотехнических свойств мелкодисперсных волокнистых масс из различного сырьевого состава (КНОП стригальный; флок специальный; ковровые обрезки из пряжи аппаратной полушерстяной) и теплоизоляционных материалов, полученных методом аэродинамического флокирования с их использованием. Авторами проведен анализ свойств теплоизоляционных материалов, волокнистой массы, состоящей из коротковолокнистых отходов текстильной промышленности, выполнены исследования основных эксплуатационных требований, предъявляемых к подобным материалам: геометрических размеров, параметров состояния, гидрофизических, механических и теплофизических свойств коротковолокнистых отходов. При проведении испытаний использовались стандартные методы, определяемые СТБ и ГОСТ, действующими на территории Республики Беларусь.

В результате проведенных исследований установлено:

– наибольшей насыпной плотностью во всем диапазоне изменения давления прессования обладает волокнистая масса флока;

– для мелкодисперсных частиц флока через 24 часа гигроскопичность составляет 1,51 %, сорб-

ABSTRACT

MULTILAYERED MATERIAL, THERMAL INSULATION, MOISTURE CONTENT, BULK DENSITY, SPECIFIC SURFACE, ELASTIC DEFORMATION, COMPRESSIBILITY

The aim of the work is to compare the main thermal physical and physical-mechanical properties of finely dispersed fibrous particles from various materials.

The authors conducted experimental studies of the definition of the geometric sizes of fine-divided particles and their influence on the structure and properties of multilayer heat-insulation materials. Hydrophysical, mechanical and thermophysical properties of short-fiber waste of the textile industry are determined.

The results of the work allow to determine the main quantitative and qualitative indicators of fibrous masses consisting of fine-divided particles affecting the properties of multilayer heat-insulation materials. The use of ultra-thin and fine-tested fibers in finished products allows to give the latest unique consumer properties and to expand their scope.

* E-mail: Pavera@tut.by (V. Parmanchuk)

ционное увлажнение 5,26 %, для кнопа коврового гигроскопичность составляет 6,31 %, сорбционное увлажнение 21,95 %;

– образцы на основе флока выдерживает более высокую нагрузку по сравнению с другими вариантами наполнителей;

– экспериментально подтверждена возможность получения образцов теплоизоляционных материалов с коэффициентом теплопроводности $0,0314 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

– доказано, что для повышения свойств теплоизоляционных материалов особое внимание следует обращать на использование наполнителей из материалов, характеризующихся низкой теплопроводностью, гигроскопичностью, высокой огнестойкостью, что требует определенной методики их измерения.

Результаты работы позволяют оперативно определить основные теплофизические и физико-механические свойства коротковолокнистых масс, влияющие на характеристики многослойных теплоизоляционных материалов, текстильных композиционных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Знание тепловых и физических свойств необходимо для рационального и эффективного создания экологически чистых теплоизоляционных материалов при проектировании автомобилей, зданий и сооружений. Для обеспечения требуемых тепловых режимов актуальными являются вопросы не только применяемых покрытий, качества утепления, но и экологический и энергосберегающий аспект создания новых теплоизоляционных материалов.

Одним из эффективных путей создания таких материалов является использование в качестве основного сырья различных непрядомых отходов текстильной промышленности. На предприятии ОАО «БЕЛФА» их образование составляет более 100 т в год [1], на ОАО «Витебские ковры» объем образования отходов вида кноп стригальный составляет 8 т в месяц [2], на швейных предприятиях в зависимости от объемов производств ежегодно образуется 12–16 т. Волокнистые массы, полученные из этих отходов, обладают высокими теплоизоляционными свойствами, стой-

костью к воздействию биологически активных сред и низкой стоимостью, поэтому получение новых теплоизоляционных материалов из вторичного текстильного сырья является крайне актуальной задачей.

Структурообразующими факторами, регулирующими свойства волокнистых теплоизоляционных материалов (далее ВТИМ), созданных на основе коротковолокнистых отходов, являются геометрические размеры и параметры строения волокнистых масс, к которым относятся насыпная плотность, пористость, коэффициент плотности, удельная поверхность и эквивалентный диаметр порового канала.

Форма поперечного сечения волокон и нитей в значительной степени определяет их физические свойства [3, 4]. В настоящее время имеется большой патентный материал [5, 6, 7], позволяющий посмотреть основные направления и достигнутые результаты по изучению влияния формы поперечного сечения волокон и нитей на их свойства. Исследования влияния этих факторов на свойства волокнистых теплоизоляционных

материалов из коротковолокнистых отходов не систематизированы, и охватывают только механические и геометрические свойства материалов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель исследования – оценка и сравнение оптимальных теплофизических и физико-механических свойств волокнистых масс на основе мелкодисперсных частиц различного сырьевого состава, применяемых для изготовления многослойных теплоизоляционных материалов методом аэродинамического флокирования.

Объектом исследований данной работы являются теплоизоляционные материалы, изготовленные методом аэродинамического флокирования и волокнистые массы из мелкодисперсных частиц, образующихся на предприятиях легкой промышленности. При проведении испытаний использовались стандартные методы, определяемые действующими ГОСТами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения свойств теплоизоляционного материала, полученного методом аэродинамического флокирования, и коротковолокнистых отходов проведена сравнительная характеристика физико-механических показателей образцов, регламентируемых СТБ 1995-2009 [8], и аналогичных показателей теплоизоляционных материалов, указанных в ГОСТ 31309-2005 [9], был реализован ряд лабораторных экспериментов.

В соответствии с технологией аэродинамического флокирования для получения ВТИМ использовались следующие компоненты: основа

(стеклоткань РСТ-250-Ф), связующее (полиуретановый клей УР 600), волокнистая масса, модифицирующие добавки.

В качестве волокнистой массы применяли разволокненные нетканые отходы после измельчения: КНОП стригальный; флок специальный; ковровые обрезки из пряжи аппаратной полушерстяной (шерстяное волокно – 30 %, полиамидное волокно – 23 %, полиакрилонитрильное волокно (ПАН) – 47 %) и синтетической (полиамидное волокно – 25 %, ПАН – 75 %).

Образцы теплоизоляционных материалов изготавливались двумя способами.

Первый способ: на лабораторной установке основу теплоизоляционного материала пропитывали валковым методом раствором связующего. Коротковолокнистые отходы диспергировали до состояния мелкодисперсности на дробилке роторной ДР-185 и наносили на основу при помощи форсунок на лабораторной установке УАН-1. Укладывали промежуточный слой материала и повторяли процедуру. Полученные образцы выдерживаются под прессом при давлении 2 кПа в течение 24 ч.

Второй способ отличается тем, что каждый слой пропускался через прижимные валики, установленные на установке УАН-1.

Эффективность технологических способов изготовления теплоизоляционного материала оценивали по показателю прочности на изгиб (рисунок 1), внешнему виду материалов, наличию необходимого уровня прочности клеевого соединения слоев материала.

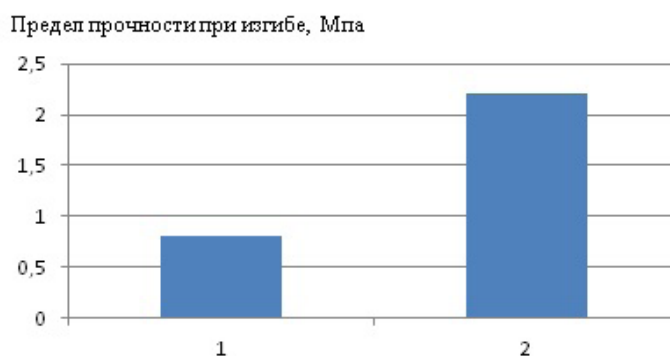


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при изгибе ВТИМ от способа их изготовления

При изучении внешнего вида материалов, изготовленных по первому способу, отмечалось менее прочное соединение волокнистой массы и основы, во избежание которого необходимо значительно увеличить расход связующего. Определение теплофизических свойств ВТИМ проводили на образцах, изготовленных по второму способу.

1. Исследование геометрических размеров коротковолокнистых отходов

При использовании отходов текстильной промышленности для производства многослойных текстильных материалов возникает необходимость разделения массы волокон на ряд фракций в зависимости от длины волокон. Так как мелкодисперсные частицы отходов текстильной промышленности в основном имеют форму цилиндра, то в инженерных расчетах можно использовать в качестве количественной оценки формы соотношение между наибольшими линейными размерами: длиной (L) и диаметром (D). Определение геометрических характеристик волокон материала осуществляли в соответствии с [10, 11]. Определение длины волокон в коротковолокнистых отходах проводилось путем промера одиночных волокон при помощи линейки по ГОСТ 427-75 с точностью измерений 1 мм, а также при оптическом испытании, при помощи микроскопа с окулярным микрометром

с точностью измерений 0,1 мм. Масса волокон определялась при помощи электронных весов с точностью измерений 0,001 г.

Характеристикой неравномерности геометрических свойств коротковолокнистых отходов является среднеквадратическое отклонение σ , мм, и коэффициент вариации C , % [10].

Диспергирование и распределение частиц по размерам позволяет классифицировать их как свободнодисперсные. По степени дисперсности частицы подразделяют на ультрамикрорегерогенные, размер частиц которых лежит в пределах от 10^{-9} до 10^{-7} м (от 1 до 100 нм), микрорегерогенные с размером частиц от 10^{-7} до 10^{-5} м (от 0,1 до 10 мкм) и грубодисперсные с частицами, размеры которых превышают 10^{-5} м [12].

Кривые распределения длин волокон представлены на рисунке 2.

Большую часть волокнистой массы составляли частицы, начальные размеры которых находились в диапазоне 5,2–7,7 мм. Анализ диаграмм распределения и коэффициента вариации, который равен 169,1, свидетельствует о большой неравномерности и необходимости применения процесса подготовки коротковолокнистых отходов к вторичной переработке.

По данным, представленным на рисунке 2, установлено, что в волокнистой массе кнопа стригального преобладают волокна с длиной от

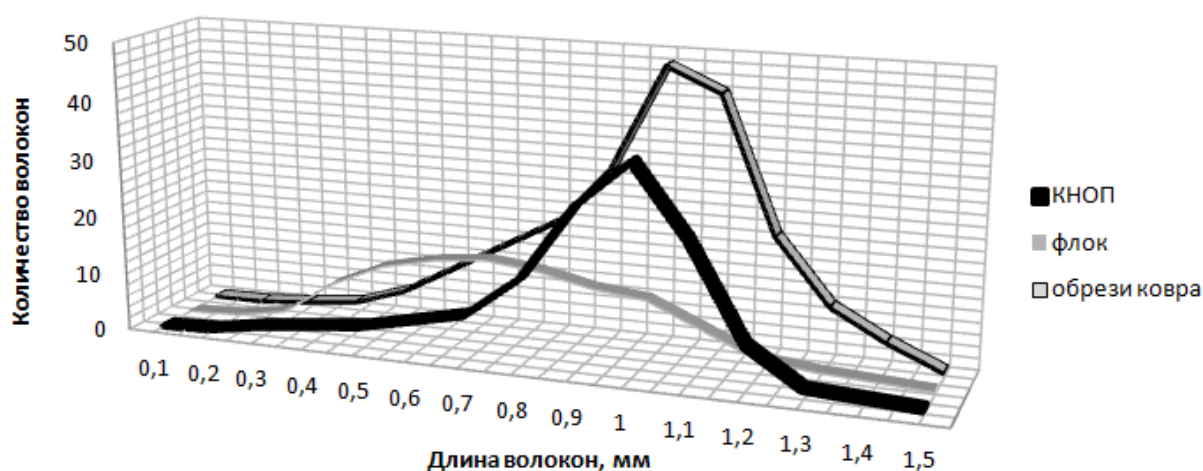


Рисунок 2 – Кривые распределения волокон по длине (окончательный этап дробления)

0,8 до 1,2 *мм*, максимальное количество волокон длиной 1,1 *мм*. Для волокон в отходе кноп стригальный после окончательной операции дробления коэффициент вариации: $C = 47,99 \%$.

В волокнистой массе кнопа коврового преобладают волокна с длиной от 0,9 до 1,2 *мм*, максимальное количество волокон длиной 1 *мм*. Для волокон в отходе кноп ковровый после окончательной операции дробления коэффициент вариации: $C = 52,83 \%$.

Исходя из полученных размеров частиц в волокнистой массе, они относятся к мелкодисперсным (микрорегетерогенным) с размером от 10^{-7} до 10^{-5} *м* (от 0,1 до 10 *мкм*).

Результаты исследований геометрических параметров волокон представлены в таблице 1.

Анализ таблицы 1 показывает, что наибольшие значения геометрических параметров имеет волокнистая масса частиц кнопа стри-

гального, которая характеризуется наибольшим значением отношения L_{cp} / D_{cp} и наименьшим значением коэффициента формы Φ_{ψ} . Увеличение коэффициента формы происходит из-за приближения геометрической формы волокна к сферическому профилю (наблюдается снижение значения отношения L_{cp} / D_{cp}), что характерно для кнопа коврового.

2. Исследование параметров состояния волокнистых масс

Параметрами состояния материалов и волокон являются плотность, пористость, коэффициент плотности, удельная поверхность, эквивалентный диаметр порового канала и т. д. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что определяемые параметры состояния волокнистых масс – насыпная плотность, пористость имеют практически одинаковые значения и не позволяют вы-

Таблица 1 – Геометрические параметры волокна

Параметр волокна	Тип волокнистой массы		
	Кноп стригальный	Флок	Кноп ковровый
Средний диаметр, <i>мкм</i>	0,01872	0,0172	0,5902
Средняя длина, <i>мм</i>	1,07	0,65	0,8254
Отношение L_{cp} / D_{cp}	57,158	37,791	1,39
Коэффициент формы Φ_{ψ}	0,337	0,385	0,863
Коэффициент вариации после окончательной операции дробления, C , %	47,99	47,5	52,83

Таблица 2 – Параметры состояния волокнистой массы

Параметры состояния	Тип волокнистой массы		
	Кноп стригальный	Флок	Кноп ковровый
Линейная плотность, <i>текс</i>	0,17–0,27	0,33	110
Истинная плотность, <i>кг/м³</i>	1200	1200	580
Насыпная плотность, <i>кг/м³</i>	113	180	90
Пористость, %	90,583	85	84,48
Коэффициент плотности	0,094	0,15	0,155
Удельная поверхность, <i>м²/кг</i>	179,62	195,45	15,863
Эквивалентный диаметр порового канала, <i>мм</i>	0,228	0,089	0,271

явить особенности их строения. Большей информативностью обладают значения коэффициента плотности, удельной поверхности и эквивалентного диаметра порового канала. Для флока с наименьшими геометрическими размерами волокна характерно наибольшее значение коэффициента плотности и удельной поверхности и наименьшее значение эквивалентного диаметра порового канала.

Общую пористость определяли расчетно-экспериментальным методом по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho} \right) \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где Π – пористость волокнистой массы, %; ρ_{cp} – насыпная плотность волокнистой массы, $кг/м^3$, ρ – истинная плотность волокна, $кг/м^3$.

Коэффициент плотности волокнистой массы определяется по формуле:

$$K_{пл} = \frac{\rho_{cp}}{\rho} . \quad (2)$$

Удельная поверхность волокнистой массы определяется по формуле:

$$S_{уд} = n \cdot S_{\sigma} , \quad (3)$$

где n – количество волокон; S_{σ} – площадь поверхности волокна, $мм^2$.

Количество волокон в волокнистой массе:

$$n = \frac{V_{ист}}{V_{\sigma}} , \quad (4)$$

где $V_{ист}$ – истинный объем волокнистой массы, $м^3$; V_{σ} – объем волокна, $м^3$.

Эквивалентный диаметр порового канала при стандартной загрузке 2000 Па [13] определяется по формуле:

$$d_p = \frac{4 \cdot \Pi}{S_{общ}} , \quad (5)$$

где d_p – эквивалентный диаметр порового канала, $мм$; Π – пористость волокнистой массы, %; $S_{общ}$ – общая поверхность волокон в волокнистой массе, $мм^2$.

Рассмотрим влияние приложения внешней нагрузки на параметры состояния волокнистых масс, представленное на рисунках 3–5. Испытание на эксплуатацию под воздействием внешней нагрузки обусловлено применением таких материалов в кабинах карьерных самосвалов.

При увеличении давления прессования общая пористость волокон и эквивалентный диаметр порового канала уменьшаются, а насыпная плотность волокнистых масс увеличивается. Наибольшей насыпной плотностью во всем диапазоне изменения давления прессования обладает волокнистая масса флока.

3. Исследование гидрофизических свойств волокнистых масс

Теплоизоляционные материалы применяются в различных климатических условиях, часто при воздействии на них влажного воздуха, что приводит к снижению функциональных и эксплуатационных характеристик. При увлажнении материалов наблюдается резкое увеличение средней плотности и коэффициента теплопроводности материала, ухудшаются механические характеристики.

Эффективность теплоизоляционных материалов определяется в основном комплексом теплофизических и гидрофизических свойств, к которым относятся: теплопроводность, огнестойкость, гигроскопичность, сорбционное увлажнение, водопоглощение и др. [10]. Эти свойства характеризуют отношение материала к определенному виду физического воздействия.

Исследования гидрофизических свойств волокнистых масс проводились по следующим показателям: гигроскопичность, сорбционное увлажнение, водопоглощение.

В таблице 3 представлены экспериментальные данные по гигроскопичности и сорбционному увлажнению исследуемых волокнистых масс.

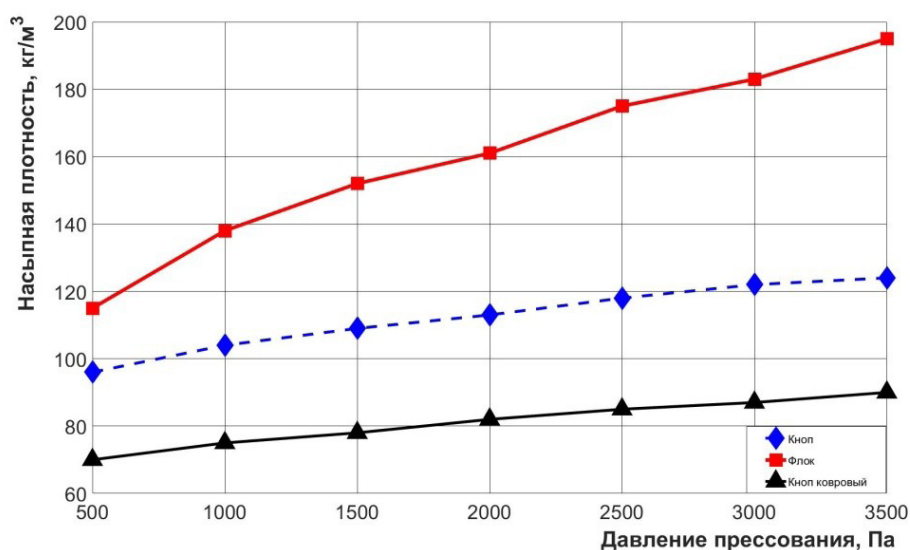


Рисунок 3 – Зависимость насыпной плотности волокнистой массы от величины приложенной нагрузки

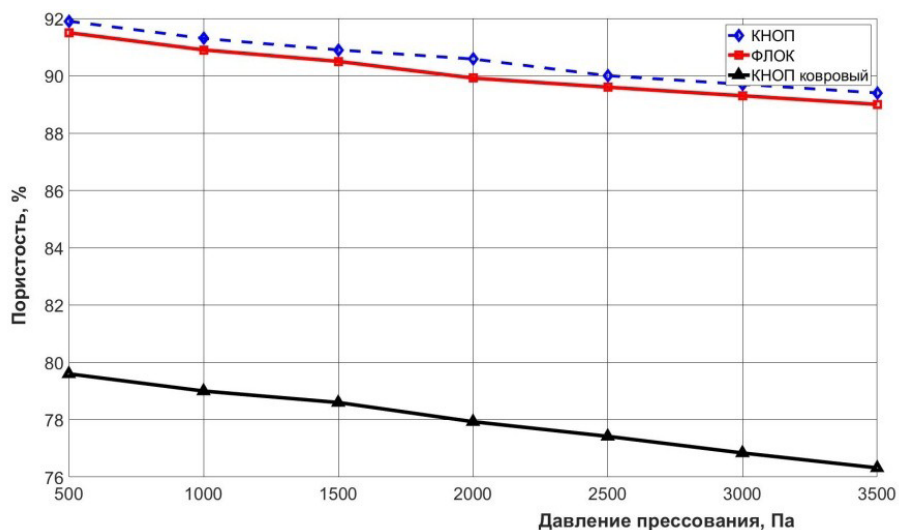


Рисунок 4 – Зависимость общей пористости волокнистой массы от давления прессования

Из представленных данных в таблице 3 установлено, что при увеличении удельной поверхности коротковолокнистой массы повышается ее сорбционное увлажнение. Волокнистая масса кнопа коврового характеризуется более высокой гигроскопичностью вследствие большей общей площади поверхности и более мелких пор.

4. Исследование механических свойств образцов ВТИМ

Механические свойства ВТИМ зависят от структуры и свойств основы образцов и вида пористой структуры. К ним относят предел прочности при изгибе и растяжении. Также дополнительно определяют сжимаемость мате-

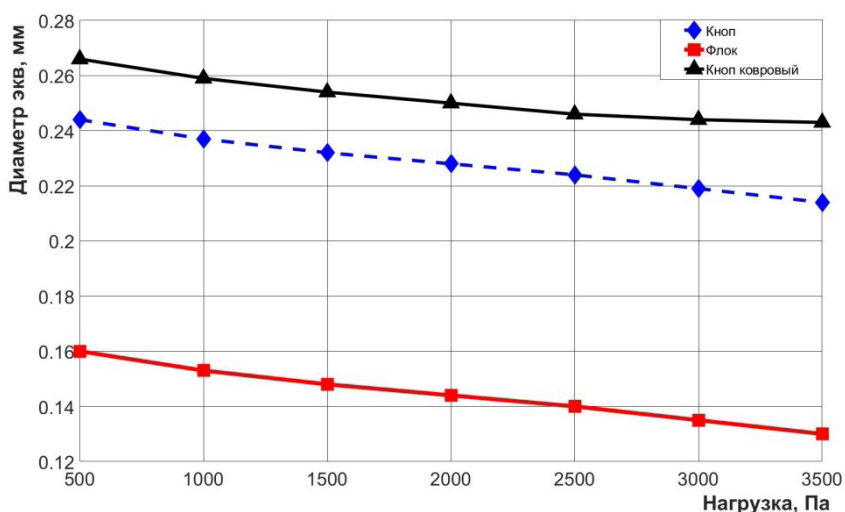


Рисунок 5 – Зависимость эквивалентного диаметра порового канала волокнистой массы от давления прессования

Таблица 3 – Гигроскопичность и сорбционное увлажнение волокнистой массы

Показатель	Тип волокнистой массы		
	Кноп стригальный	Флок	Кноп ковровый
Гигроскопичность, %	3,016	1,51	6,31
Сорбционное увлажнение, %	24 ч	10,5	5,26
	48 ч	17,65	9,89
	72 ч	26,58	12,36

риала, характеризующую его способность деформироваться под действием внешних сил, и истираемость материала. Прочность позволяет оценивать качество структуры материала и его долговечность.

Испытаниям подвергались образцы материала различного сырьевого состава. Давление прессования варьировали от 500 до 3000 Па с шагом 500 Па. Дополнительно измеряли линейные деформации образцов после снятия нагрузки.

Волокнистые материалы в зависимости от состава по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности.

Упругие деформации:

$$\varepsilon_y = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \quad (6)$$

где h_1, h_2 – высота слоя волокнистой массы под нагрузкой и после снятия нагрузки, м.

Модуль упругости, характеризующий меру жесткости образца материала, вычисляли по диаграмме «напряжение – деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

$$E = \frac{\sigma_p}{\varepsilon} \quad (7)$$

где E – модуль упругости, $МПа$; ε – относительное удлинение при напряжении растяжения, %; σ_p – напряжение растяжения в образце, $МПа$.

Сущность метода по определению предела сжимаемости материалов заключается в измерении толщины образца при воздействии сжимающей удельной нагрузки (2000 ± 30 $МПа$), после 5 минут выдержки. Сжимаемость вычисляли по формуле:

$$C_{жс} = \frac{h - h_1}{h_2} \cdot 100 \quad (8)$$

где $C_{жс}$ – сжимаемость, %; h – толщина образца под удельной нагрузкой ($500 \pm 7,5$ $Па$, $мм$); h_1 – толщина образца под удельной нагрузкой (2000 ± 30 $Па$, $мм$).

Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 6–8.

По результатам экспериментов, представленным на рисунке 6, установлено, что с увеличением приложенной нагрузки сжимаемость образцов возрастает.

Сжимаемость образцов на основе волокнистой массы кнопа коврового меньше, чем сжи-

маемость образцов на основе флок и кнопа. В образцах на основе волокнистой массы кнопа коврового количество волокон (таблица 4) и число контактов между ними меньше. Наибольшей сжимаемостью обладают образцы на основе волокнистой массы флок, что объясняется более высокой гибкостью мелкодисперсных волокон.

Экспериментальные данные по упругим деформациям образцов на основе волокнистых масс представлены на рисунке 7.

На рисунке 8 приведена диаграмма деформаций образцов на основе волокнистых масс различного сырьевого состава, определены участки упругой, эластической и пластической деформаций. Наряду с этим, все три составные части деформации развиваются одновременно, хотя и с различными скоростями.

Образцы на основе волокнистой массы кнопа коврового подвержены более быстрому деформированию, медленнее возвращают исходную форму по сравнению с другими образцами. Материалы на основе флок выдерживают более высокую нагрузку (до 3050 $Па$) по сравнению с другими вариантами наполнителей. Разрушение материалов и нарушение связей между волокнами оказывает влияние на механические свой-

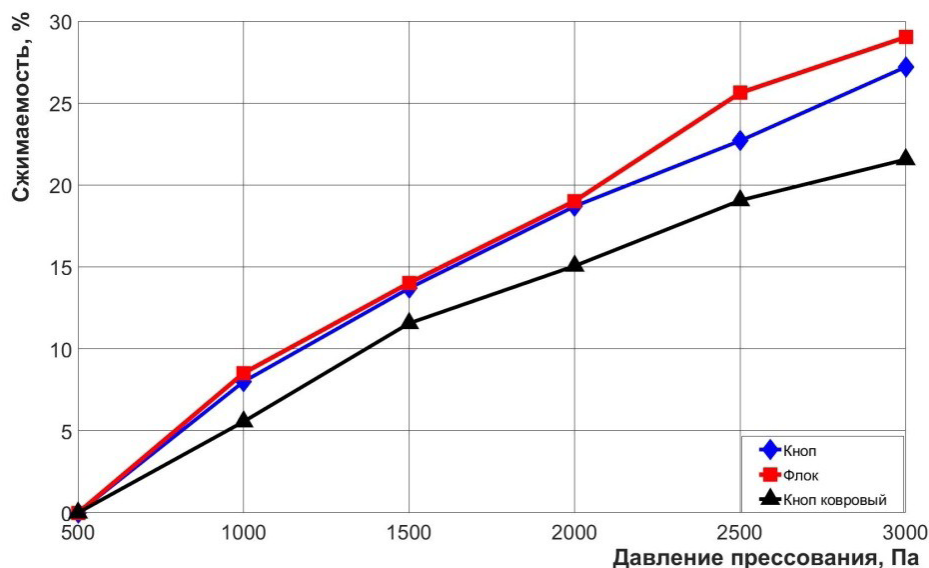


Рисунок 6 – Зависимость сжимаемости образцов материала от давления прессования

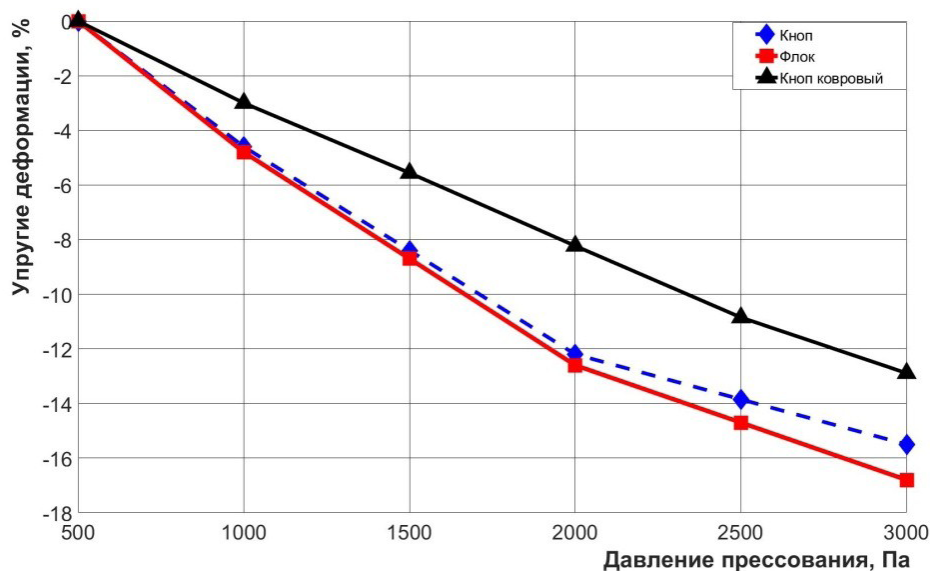


Рисунок 7 – Зависимость упругих деформаций образцов материала от давления прессования

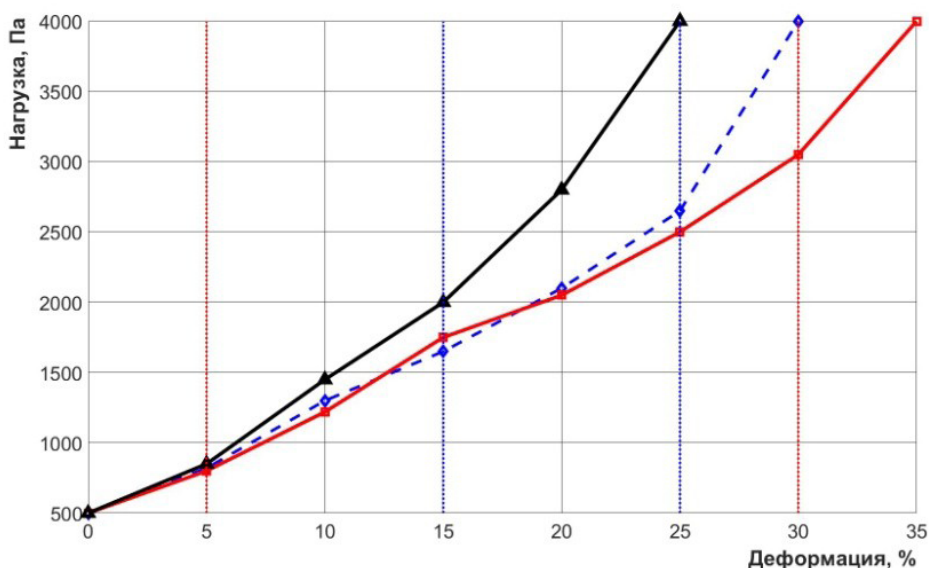


Рисунок 8 – Диаграмма деформаций образцов материала

ства и область применения материалов.

По представленным экспериментальным данным был рассчитан модуль упругости. Для образцов на основе кнопа коврового модуль упругости равен $0,01 \text{ МПа}$, а для образцов на

основе флока – $0,0062 \text{ МПа}$.

5. Исследование теплофизических свойств образцов материалов

Для увеличения термического сопротивления теплопередачи необходимо использование

Таблица 4 – Расчетное количество волокон

Тип волокнистой массы в образцах материала	Количество волокон, $N_g \cdot 10^{-9}$ шт					
	Давление прессования, Па					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
Кноп стригальный	152,0946	161,7786	170,4036	179,0286	185,9136	192,7986
Флок	162,36	172,044	180,669	189,294	196,179	203,064
Кноп ковровый	15,233	16,024	16,709	17,394	17,899	18,404

теплоизоляционных материалов, характеризующихся низкой теплопроводностью, гигроскопичностью, температуропроводностью, высокой огнестойкостью. Вывод зависимостей и результаты исследований отражены в работе [13].

Для испытания были представлены следующие образцы, изготовленные по второму способу:

Пакет № 1 – Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (кноп стригальный), стеклоткань + связующее (клей УР600);

Пакет № 2 – Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (кноп ковровый), стеклоткань, слой мелкодисперсного материала (кноп ковровый), стеклопластик (РСТ) + связующее (клей ADCOTE 675A+675C);

Пакет № 3 – Стеклопластик (РСТ), слой мелкодисперсного материала (флок), стеклоткань + связующее УР600.

Коэффициент теплопроводности (λ) показывает степень интенсивности прохождения тепла через массу материала. Чем больше абсолютное значение коэффициента теплопроводности материала, тем ниже (меньше) его теплоизоляционные свойства. Величина коэффициента теплопроводности для одного и того же материала не является постоянной, а может изменяться в зависимости от объемного веса, влажности, температуры, воздухопроницаемости и направления теплового потока.

Коэффициент теплопроводности находили из соотношения:

$$\lambda = \frac{Q}{t_{c1} - t_{c2}} K \quad (9)$$

где Q – тепловой поток, Bm ; $t_{c1} - t_{c2}$ – перепад

температур на стенках материала, K – коэффициент формы исследуемого материала, для неограниченного плоского тела, который рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\delta}{F_p} \quad (10)$$

где δ – толщина плоского слоя, m ; F_p – его расчетная поверхность, нормальная к направлению теплового потока, m^2 .

Коэффициент температуропроводности плоских проводников тепла, при условии, что $Bi = \infty$ (практически $Bi \geq 100$), определяли из выражения:

$$a = \left(\frac{2\delta}{\pi} \right)^2 m_{\infty} \quad (11)$$

где m_{∞} – темп охлаждения и нагрева.

Основные усредненные значения коэффициента теплопроводности λ и коэффициента температуропроводности a представлены в таблице 5.

Сравнительная характеристика материалов показала, что эффективным для использования в качестве теплоизоляционного материала является пакет № 3, с наилучшими показателями коэффициентов температуропроводности и теплопроводности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подчеркивая не только научное, но и практическое значение работы, необходимо выделить следующие моменты:

– все представленные волокнистые массы различного состава в процессе диспергирова-

Таблица 5 – Усредненные значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности

Образцы материалов	Коэффициент формы $K, м^{-1}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, Вт/(м \cdot К)$	Коэффициент температуропроводности $a, м^2/сек$
Пакет 1	0,0375	0,03221	$0,456 \cdot 10^{-6}$
Пакет 2	0,075	0,0382	$0,183 \cdot 10^{-6}$
Пакет 3	0,035	0,03139	$0,398 \cdot 10^{-6}$

ния и распределения частиц по размерам относятся к мелкодисперсным с размерами частиц от 0,1 до 10 *мкм*;

– с увеличением давления прессования наблюдается увеличение насыпной плотности образцов. Наибольшей насыпной плотностью обладает волокнистая масса флока, то есть уменьшение геометрических размеров волокна приводит к уменьшению количества волокон в единице объема и числа контактов между ними, что приводит к снижению сопротивляемости образцов внешнему давлению;

– волокнистые массы кнопа коврового и флока характеризуются невысокими показателями гидрофизических свойств, гигроскопичность волокнистой массы флока составляет 1,51 %, сорбционное увлажнение – 5,26 %;

– образцы на основе флока выдерживают большую нагрузку (до 3050 *Па*) по сравнению с

другими вариантами наполнителей;

– экспериментально подтверждена возможность получения образцов теплоизоляционных материалов с коэффициентом теплопроводности 0,0314 *Вт/(м · К)*.

Использование ультратонких и мелкодисперсных волокон в готовых теплоизоляционных изделиях позволяет придать последним уникальные потребительские свойства и в значительной степени расширить их область применения. В свою очередь, применение флока ворсового придает материалам не только декоративные свойства, но и улучшает теплоизоляционные (покрытие толщиной 2 *мм* заменяет 10-миллиметровый полистирол) и звукоизоляционные (до 13 % звукопоглощения) свойства, а также повышает прочность изделий, износостойкость и удобство в уходе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отходы производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belfa.by/rent/production/>. – Дата доступа 07.03.2021.
2. Отходы для вторичного использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vitcarpet.by/catalogue/othody/>. – Дата доступа 07.03.2021.
3. Папков, С. П. (1972), *Физико-химические основы процессов формования искусственных и синтетических волокон*, М., Химия, 312 с.

REFERENCES

1. *Othody proizvodstva* [Production waste] (2021), access mode: <http://www.belfa.by/rent/production/> (accessed March 7, 2021).
2. *Othody dlya vtorichnogo ispolzovaniya* [Waste for recycling] (2021), access mode : <http://www.vitcarpet.by/catalogue/othody/> (accessed March 7, 2021).
3. Papkov, S. P. (1972), *Phiziko-himicheskie osnovy processov phormovaniya iskusstvennyh i sinteticheskikh volokon* [Physicochemical fundamentals of the processes of forming artificial

4. Жмыхов, И. Н., Геллер, В. Э., Акулич, А. В. (2019), *Оборудование и основы проектирования и производства химических волокон*, М., Вышэйшая школа, 378 с.
5. Кнаппе Файзаль Х.-Й. (DE). Патент РФ: Пат. RU 2518378 С2, МПК (2014), В29С 70/20, В29С 70/34, В29В 15/12, С08J 5/24, D020G 3/34 (2006.01), *Волокнистый композиционный материал и способ его изготовления*. Оpubл. 10.06.2014. Бюл. № 16, 21 с.
6. Шварц Штефан (DE), Штюбигер Вернер (DE), Петцольдт Сузанне (DE). Патент РФ: Пат. RU 2501900 С1, МПК (2013), D06N 7/00 (2006.01), *Текстильное композитное изделие*. Оpubл. 20.12.2013. Бюл. № 35, 40 с.
7. Муэллер Дональд С. (US), Сонг Вейксин (US), Сао Бэнджий (US). Патент РФ: Пат. RU 2485229 С2, МПК (2013), D04H 1/42 (2012.01), *Нетканый материал и способ получения такого материала*. Оpubл. 20.06.2013. Бюл. № 17, 25 с.
8. СТБ 1995-2009. *Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты. Технические условия*, Введ. 2010-07-01, Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 2010, 26 с.
9. ГОСТ 31309-2005. *Материалы строительные теплоизоляционные на основе минеральных волокон. Общие технические условия*, Введ. 2007-04-01, Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 2007, 16 с.
10. Кукин, Г. Н. (1989), *Текстильное материаловедение (волокна и нити): учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.*, М., Легпромбытиздат, 352 с.
11. Чукасова-Ильющкина, Е. В. (2008), *Технология многослойных текстильных материалов с использованием коротковолокнистых отходов: дис. ... кан. тех. наук: 05.09.02; Витеб. гос. техн. ун-т, Витебск, 2008, 288 с.*
- and synthetic fibers], М., Chemistry, 312 p.
4. Zhmyhov, I. N., Geller, V. E., Akulich, A. V. (2019), *Oborudovanie i osnovy proektirovaniya i proizvodstva himicheskikh volokon* [Equipment and fundamentals of design and production of chemical fibers], М., Vysshaya shkola, 378 p.
5. Knappe Fajzal' Kh.-J. (DE). Patent RF: RU 2518378 C2, Int. B29C 70/20, B29C 70/34, B29B 15/12, C08J 5/24, D020G 3/34 (2006.01), *Fibrous composite and method of its production* [Vloknisty kompozicionnyi material i sposob ego izgotovleniya]. Opubl. 10.06.2014. Bul. № 16, 21 p.
6. Shvarts Shtefan (DE), Shtjubiger Verner (DE), Pettsol'dt Suzanne (DE). Patent RF: Pat. RU 2501900 C1, MPK (2013), Int. D06N 7/00 (2006.01), *Tekstil'noe kompozitnoe izdelie* [Textile composite product]. Opubl. 20.12.2013. Bul. № 35, 40 c.
7. Muehller Donal'd S. (US), Song Vejksin D. (US), Sao Behndzhij (US). Patent RF: Pat. RU 2485229 C2, MPK (2013), Int. D04H 1/42 (2012.01), *Netkany material i sposob polucheniya takogo materiala* [Non-woven fabric and method of manufacture of such material]. Opubl. 20.06.2013. Bul. № 17, 25 p.
8. STB 1995-2009. *Mineral wool insulating boards, Introduction*, 2010-07-01, Committee for Standartization of the Republic of Belarus, Minsk, 2010, 26 p.
9. GOST 31309-2005. *Building heat-insulating mineral fibers materials. General specifications, Introduction*, 2007-04-01, Committee for Standartization of the Republic of Belarus, Minsk, 2007, 16 p.
10. Kykin, G. N. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti)* [Textile materials science (fibers and yarns)], М., Legprombytizdat, 352 p.
11. Chukasova-Il'yushkina, E. V. (2008), *Tehnolo-*

12. Громаков, Н. С. (2015), *Дисперсные системы и их свойства: учебное пособие по коллоидной химии*, Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур. – строит. ун-та, 2015, 91 с.

13. Парманчук, В. В. (2014), Исследование теплофизических свойств многослойных теплоизоляционных материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2014, № 2 (27), С. 87–93.

giya mnogoslojnyh tekstil'nyh materialov s ispol'zovaniem korotkovochnikistyh othodov [Technology of multilayer textile materials using short-fiber waste: dis. ... kan. teh. nayk: 05.09.02], Vitebsk. state tehnol. un-t, Vitebsk, 288 p.

12. Gromakov, N. S. (2015), *Dispersnye sistemy i ih svojstva: uchebnoe posobie po kolloidnoj himii* [Dispersed systems and their properties. Textbook on colloidal chemistry], Kazan: Kazan State University of Architecture and Engineering, 91 p.

13. Parmanchuk, V.V. (2014), Study of thermo physical properties of multilayered thermal insulation textile material [Issledovanie teplofizicheskikh svojstv mnogoslojnyh teploizolyacionnyh materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2014, № 2 (27), pp. 87–93.

Статья поступила в редакцию 17. 11. 2021 г.