

## СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ТИПА КОЖВОЛОН

### PROPERTIES OF FIBER-FILLED POLYMER COMPOSITE MATERIALS OF LEATHERETTE TYPE

УДК 674.817

К.О. Ермалович<sup>1\*</sup>, А.Н. Буркин<sup>1</sup>, К.И. Тарутько<sup>1,2</sup>,  
И.М. Грошев<sup>1,2</sup>, Ю.В. Дойлин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup>ОАО «Витебскдрев»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-90-101>

K. Ermalovich<sup>1\*</sup>, A. Burkin<sup>1</sup>, K. Tarutko<sup>1,2</sup>,  
I. Groshev<sup>1,2</sup>, Yu. Doylin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup>Vitebskdrev JSC

#### РЕФЕРАТ

*ОТХОДЫ, ПЕНОПОЛИУРЕТАН, ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТАЯ МАССА, КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СВОЙСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ, СОСТАВЫ*

Объектом исследования являются волокнисто-наполненные полимерные композиционные материалы из вторичных полиуретанов и дисперсных отходов деревообработки.

Предмет исследования – физико-механические свойства волокнисто-наполненных композиционных материалов.

Целью исследования является определение влияния процента вложения и морфологии древесных отходов на физико-механические свойства волокнисто-наполненных полимерных композиционных материалов для деталей низа обуви.

В статье проведены исследования параметров древесноволокнистой массы, используемой для создания волокнисто-наполненных композиционных материалов. Получены полимерные композиционные материалы типа кожволон с содержанием наполнителя 0–5,0 мас.%, исследованы их физико-механические свойства.

Практическая ценность результатов исследования состоит в получении материалов с определенным комплексом свойств, соответствующих требованиям ТНПА и находящимися в рамках традиционно используемых материалов для низа обуви, а также в установлении рецептурно-технологических возможностей

#### ABSTRACT

*WASTE, POLYURETHANE FOAM, WOOD-FIBER MASS, COMPOSITE MATERIAL, PROPERTIES, TECHNOLOGY, COMPOSITIONS*

The object of the study is fiber-filled polymer composite materials made of secondary polyurethanes and dispersed woodworking waste.

The subject of the study is the physical and mechanical properties of fiber-filled composite materials.

The aim of the study is to determine the influence of the percentage of investment and morphology of wood waste on the physical and mechanical properties of fiber-filled polymer composite materials for the shoe bottom parts.

The article studies the parameters of the wood-fiber mass used to create fiber-filled composite materials. Polymer composite materials of the leatherette type with a filler content of 0–5.0 wt% were produced, their physical and mechanical properties were investigated.

The practical value of the research results consists in producing materials with a certain set of properties that meet the requirements of regulatory documents and are within the framework of traditionally used shoe bottom materials, as well as in establishing prescription and technological capabilities to overcome the factor of natural deterioration of the properties of secondary shoe polyurethane foams by modifying wood-fiber waste.

\* E-mail: [ermalovich110600karina@mail.ru](mailto:ermalovich110600karina@mail.ru) (K. Ermalovich)

*преодоления фактора естественного ухудшения свойств вторичных обувных пенополиуретанов модифицированием древесноволокнистыми отходами.*

*Результаты работы – изготовлены материалы типа кожволон на основе отходов обувных пенополиуретанов и исследованы их физико-механические свойства. Древесные наполнители в виде волокнистых частиц можно рассматривать как недорогие добавки к полиуретановым матрицам, которые при определенных рецептурно-технологических параметрах формирования композита позволяют в некоторой степени компенсировать ухудшение физико-механических характеристик переработанного ППУ.*

*Область применения результатов – обувная промышленность.*

*Results of the work are materials of the leatherette type made on the basis of shoe polyurethane foam waste and their physical and investigation of their mechanical properties. Wood fillers in the form of fibrous particles can be considered as inexpensive additives to polyurethane matrices, which, under certain compounding and technological parameters of the composite formation, enable to compensate to some extent for the deterioration of the physical and mechanical characteristics of the recycled PPU.*

*The field of application of the results is the shoe industry.*

Волокнисто-наполненными композиционными материалами (ВНКМ) называют материалы, состоящие из дисперсной фазы, представленной волокнистыми частицами, и одного или нескольких других компонентов, играющих роль связующего (полимер, минерал и т. д.), между которыми имеется граница раздела фаз и адгезионное взаимодействие. Согласно данному определению волокнистые композиционные материалы представляет собой матрицу, армированную механическим каркасом в виде волокон, что наделяет материал высокой прочностью при относительно малой плотности [1].

Примером ВНКМ, активно используемых в отечественном производстве для создания деталей низа модельной и повседневной обуви, является кожволон, или как его называют в производстве «тунит», кожеподобная резина. Кожволон представляет собой пористую резину, наполненную измельченными вискозными волокнами в количестве 1,0–5,0 мас.%, которые наделяют материал высокими физико-механическими показателями. Получают кожеподобные резины вальцеванием – основная операция в резиновом производстве, имеющая целью перевод каучука в пластическое состояние для введения необходимых составных частей резиновой смеси и дальнейшей обработки. Введение волокнистого наполнителя в резиновую смесь

позволяет улучшить кожеподобность резины, за счет чего достигается образование более равномерной пористой структуры и уменьшается скольжение подошв. В последнее время активно идет разработка рецептурных составов и технологий изготовления материалов, дающих при массовом производстве экономию в расходе энергии и не уступающих по свойствам импортному кожволону [2].

Научными сотрудниками ВГТУ разработана менее энергозатратная технология переработки отходов полиуретана (далее ПУ), которая использовалась на обувных предприятиях г. Витебска для производства подошв домашней обуви [3–8]. За основу данной технологии взята схема получения материалов на листовых агрегатах путем предварительной экструзии на шнековом экструдере и последующего формования материала в межвалковом зазоре листовальных вальцов [9, 10]. Однако вследствие физико-химических изменений, связанных с первичной переработкой и эксплуатацией в виде изделий, вторичные ПУ демонстрируют снижение технологических и механических свойств. Перспективу с точки зрения повышения уровня свойств композитов на основе отходов ПУ представляет их целевое модифицирование. Эта перспектива основана на известном опыте применения малых добавок некоторых дисперсных напол-

нителеев, что в ряде случаев положительно сказывается на свойствах композитов на основе первичных полимеров [11].

В настоящее время ни одно даже самое экономное предприятие деревообработки не использует древесину на 100 %. Наряду с крупными отходами деревообработки ежемесячно образуются значительные объемы дисперсных отходов, использование которых в качестве топливных ресурсов не целесообразно. Решением проблемы утилизации дисперсных отходов ОАО «Витебскдрев» является их вторичное использование в качестве наполнителя для получения полимерных композиционных материалов (далее ПКМ) типа кожволон. Применение предлагаемого способа использования отходов древесноволокнистой массы обеспечит значительный экологический эффект за счет сокращения площадей, используемых под их складирование; позволит сократить выброс в атмосферный воздух близлежащих территорий твердых загрязняющих древесных частиц. Основными преимуществами создания композитов, модифицированных древесным наполнителем, является не только решение проблемы утилизации отходов, но и их низкая стоимость, размерная стабильность и физико-механические свойства, не уступающие кожволону.

В данной работе рассматривается возможность получения материалов типа кожволон используя в качестве матрицы отходы пенополиуретанов (далее ППУ), а в качестве наполнителя древесноволокнистые отходы ОАО «Витебскдрев». Формирование полимерного композита сопровождается механическими или физико-химическими взаимодействиями ингредиентов, находящихся в различных агрегатных состояниях. Соотношение компонентов, а также совершенствование рецептуры армирования полимерной матрицы древесными наполнителями позволяет изготавливать ПКМ, обладающие специальными (специфическими) свойствами: повышенной прочностью, увеличением адгезии к металлам и другим материалам, электропроводностью, улучшением теплопроводности, снижением или повышением коэффициента трения, а также целевое регулирование многих других свойств [11].

Влияние волокнистых наполнителей на свойства композита зависит в значительной степени от свойств самого наполнителя. Поэтому для целесообразного и научно обоснованного создания композиций путем армирования необходимо знать характеристики наполнителей. Качественный анализ наполнителей заключается в оценке зернистости, формы и характера распределения частиц по размерам. От формы и размеров частиц зависят: плотность упаковки наполнителя, равномерность распределения частиц, площадь контакта со связующим, реологические, физико-механические и другие свойства [12].

Целью исследования является определение влияния процента вложения и морфологии древесных отходов на физико-механические свойства волокнисто-наполненных полимерных композиционных материалов для деталей низа обуви.

На деревообрабатывающих предприятиях качество ДВМ оценивают методом фракционирования волокон с помощью механических или оптических сортировщиков [5]. Однако влияние размера частиц наполнителя на прочностные свойства волокнистых до конца не установлено, что связано с изменением вместе с размерами частицы и такого параметра, как удельная поверхность. Эффективность введения наполнителя в полимеры во многих случаях определяется его удельной поверхностью ( $S_{уд}$ ) [3]. Для наполнения полимеров используют наполнители с  $S_{уд}$  от 0,01 до 1500 м<sup>2</sup>/г [12].

В данной работе в качестве наполнителя использовали волокнистые отходы ОАО «Витебскдрев» хвойных пород, образующиеся в результате производства древесных плит. Первичную древесноволокнистую массу для MDF-плит получают по методу «Асплунда», который заключается в размоле предварительно пропаренной щепы на волокна в мельнице – дефибраторе [13].

С помощью металлографического микроскопа Altami MET 5 были изучены особенности строения и внешний вид древесных волокон, что позволило отнести их к классу игольчатых, волокнистых частиц, представляющих собой сплюснутую в зависимости от толщины стенок трубочку (рисунок 1).

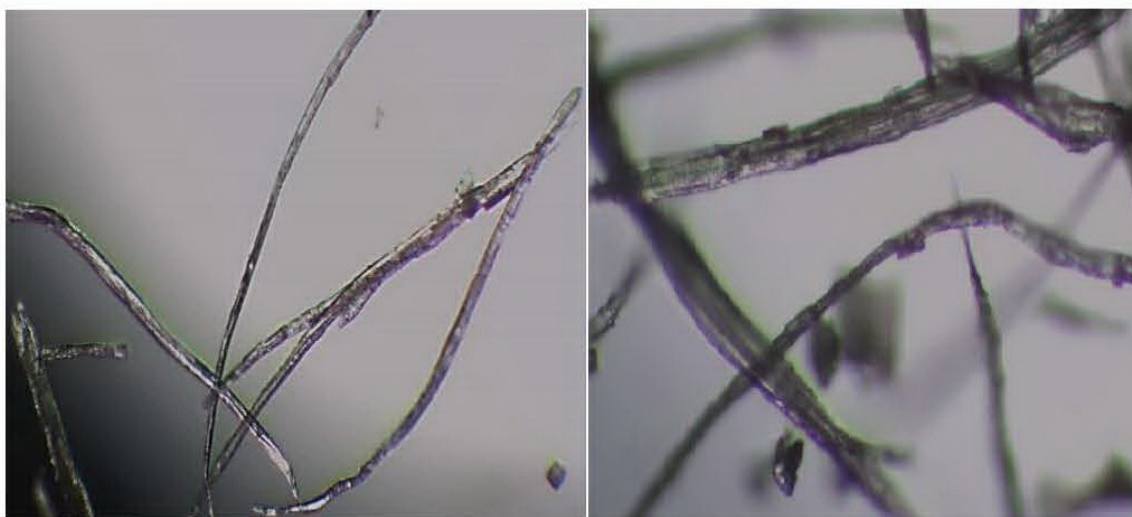


Рисунок 1 – Микроскопические снимки отходов древесного волокна (10X/0,25 BD, 20X/0,40 BD)

Во всех случаях волокнистая масса после размола неоднородна. В ней присутствуют: волокна, представляющие собой отдельные клетки древесины; пучки волокон, состоящие из двух или большего числа волокон; мелкие и крупные кусочки неразмолотой щепы («спички»); частицы волокон, перерезанных или раздавленных вдоль и поперек с растрепанными на концах фибриллами. Соотношение указанных составляющих массы различно и зависит от анатомического строения древесины и характеристики размольной гарнитуры [14]. Древесные волокна хвойных пород – это в основном (90–95 %) уже отмершие прозенхимные клетки, которые придают древесине волокнистое строение и выполняют механические и проводящие функции. Длина таких клеток во много раз больше ширины. У хвойных пород к прозенхимным клеткам относятся главным образом трахеиды, средняя длина которых составляют 3,2–3,5 мм, а наибольшая ширина равна 0,05 мм [15].

Древесноволокнистые отходы с целью разделения на фракции по размерным характеристикам помещали в лабораторный ультразвуковой ситоанализатор VU100, оснащенный стандартными ситами с размерами сетки для МДФ от 0,089 до 1,98 мм (таблица 1). Сортировщик VU100 позволяет определить правильную ра-

боту участков производства волокна, в соответствии с результатами его исследования настраивается оборудование изготовления и размола щепы, волокна, а также вносятся корректировки непосредственно в технологический процесс.

На ультразвуковом сортировщике в ходе данного исследования было проанализировано древесное волокно из двух партий по 5 бесповторных выборок, массой 10 г каждая. Волокнистые отходы, расположенные на верхнем сите с наибольшим размером ячеек, просеивались всухую в результате ультразвуковых вибраций и накапливались на ситах в соответствии с размерами ячейковой сетки (рисунок 2).

Процесс сортировки ДВМ на фракции занял не более 1 минуты. Затем каждое отдельное сито взвешивали на лабораторных весах, подсчитывали массу каждой фракции, получая в результате количественные данные о составе используемого материала (таблица 2). За средний размер частиц наполнителя принимали размер ячейковой сетки сита, на котором оседало волокно.

Для проверки однородности дисперсий нескольких выборок одинакового размера наибольшей мощностью обладает критерий Кохрена (William Cochran), который вычисляется по формуле:

Таблица 1 – Характеристика стандартных сит лабораторного ультразвукового ситоанализатора VU100

Сетки для МДФ			
№	Масса сетки, г	Размер ячеек, мм	Число ячеек на линейный дюйм (25,4 мм)
1	185,01	1,980	9,14
2	177,13	1,240	14,63
3	166,21	0,514	32,00
4	170,52	0,217	64,00
5	154,50	0,131	109,72
6	163,09	0,089	182,87
7	163,01	-	-



Рисунок 2 – Фракционное распределение древесного волокна на ситах

$$G_n = \frac{\max_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}, \quad (1)$$

где  $\max \sigma^2$  – максимальная дисперсия опыта;  
 $k$  – количество выборок.

Условие отклонения нулевой гипотезы (об однородности дисперсий):

$$G_n < G(\alpha; k; n), \quad (2)$$

где  $G(\alpha; k; n)$  – критическое значение критерия Кохрена;  $k$  – количество выборок;  $n$  – число на-

Таблица 2 – Параметры древесноволокнистых отходов

№ выборки	Число наблюдений	$m_{пробы}, г$	$m_1, г$	$m_2, г$	$m_3, г$	$m_4, г$	$m_5, г$	$m_6, г$	$m_7, г$
1	1	10	2,01	2,51	1,77	1,21	1,43	0,76	0,31
	2		2,62	2,08	1,54	1,31	1,14	0,91	0,40
	3		1,94	1,46	1,98	1,11	1,53	1,37	0,61
	4		2,15	1,70	2,13	0,96	1,74	0,84	0,48
	5		1,82	2,16	1,72	1,06	1,41	1,03	0,80
2	1		2,09	1,39	2,27	1,80	0,98	0,99	0,48
	2		1,15	3,01	1,98	0,95	1,12	0,78	1,01
	3		2,70	1,96	1,26	0,79	1,73	1,08	0,48
	4		1,54	2,95	0,94	1,09	1,18	1,21	1,09
	5		1,91	3,12	2,01	0,75	0,84	1,07	0,30
$\bar{X}, г$			1,99	2,23	1,76	1,10	1,31	1,00	0,60
$\sigma$			0,46	0,64	0,41	0,30	0,31	0,19	0,28
$\sigma^2$			0,21	0,41	0,17	0,09	0,09	0,04	0,08
$CV, \%$			23,12	28,70	23,30	27,27	23,66	19,00	46,67
$G_n$			0,376						
$G_{(0,05;2;5)}$			0,906						

Примечание:  $m_1-m_7$  – масса пробы на ситах № 1–7 соответственно (таблица 1);  $\bar{X}$  – среднее арифметическое массы волокон на соответствующих ситах;  $\sigma$  – стандартное квадратическое отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия;  $V$  – коэффициент вариации;  $G_n$  – наблюдаемое значение критерия Кохрена.

блюдений в выборках ( $n=n_1=n_2=...=n_k$ );  $a$  – уровень значимости.

Согласно данным, представленным в таблице 2, наблюдаемое значение критерия Кохрена меньше, чем критическое значение данного критерия:

$$G_n < G_{(0,05;2;5)} \quad (3)$$

Из этого следует, что нет основания для отклонения нулевой гипотезы, т. е. дисперсии можно считать однородными.

Исследуемая совокупность волокон считается однородной, так как коэффициент вариации не превышает 30 %.

Геометрическую удельную поверхность ( $S_{геом}$ ) определяли расчетным путем (таблица 3) по формуле [11]:

$$S_{геом} = K/\rho/X_m, \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц (для сфер  $K = 6$ , для призматических частиц  $K = 12$ , для тонких частиц  $K = 18-30$ );  $X_m$  – среднее значение размера частиц соответствующей фракции.

В научной литературе по анализу исследования измельчения древесных отходов описаны коэффициенты пропорциональности для различных пород древесины [16, 17]. Древесная частица представляет собой плоскую прямоугольную пластину ( $K = 18$ ) [18, 11]. Согласно данным специалистов Центральной заводской лаборатории (далее ЦЗЛ), ОАО «Витебскдрев» для производства ДВП и МДФ использует древесноволокнистую массу, плотностью  $\sim 1,5 г/см^3$ .

Таблица 3 – Расчет геометрической удельной поверхности ДВМ

№ фракции	$\rho, \text{г/см}^3$	$K$	$S_{\text{геом}}, \text{м}^2/\text{г}$
1	1,5	18	0,0061
2			0,0097
3			0,0233
4			0,0553
5			0,0916
6			0,1348
поддон			>0,1348

Данные таблицы 3 подтверждают, что геометрическая удельная поверхность ДВМ увеличивается за счет уменьшения размера частиц, т. е. чем выше степень помола волокна, тем больше его удельная поверхность массы [11].

На физико-механические свойства волокнисто-наполненного композита влияют степень размолта, удельная поверхность древесных частиц, вид и количество проклеивающего вещества, степень уплотнения слоев при прессовании и каландровании. Соотношение содержания волокнистого наполнителя и полимерного связующего являются определяющим фактором при создании композиционных материалов с заданными технологическими свойствами. При содержании проклеивающей композиции менее 10 % в расчете на смесь, волокна склеиваются лишь в отдельных точках. При содержании ДВМ свыше 25 % от общей массы между отдельными волокнами образуются пленки [19, с. 223].

В данной работе методом экструзии из гранулята отходов ППУ обувного предприятия ЧПУП «Обувное ремесло» (г. Витебск, Республика Беларусь), содержащего технологические добавки, получали экспериментальные образцы композиционных материалов с введением в матрицу древесноволокнистых отходов в количестве 0–5,0 мас.%. Предполагается, что изменяя процентное соотношение «полимер–наполнитель», можно получать отличительные по свойствам материалы, которые смогут найти свое применение на обувном производстве для создания полимерных КМ для деталей низа обуви.

Технология получения материалов типа кожволон состояла из следующих этапов: сортировка отходов, измельчение отходов ППУ на

дробилке роторно-ножевого типа, смешивание отходов ППУ и ДВ, пластикация в корпусе шнекового экструдера, прокатка.

Из полученных КМ на термопластавтомате «ТП EN30» изготавливали образцы в виде лопаток, столбиков и пластин, которые далее исследовали по показателям, представленным в таблице 4.

Зависимость свойств композитов от содержания наполнителя представлена в таблице 5.

Свойства полученных материалов варьируются  $\rho - 1,22-1,25 \text{ г/см}^3$ ,  $H - 86-92$  усл.ед.,  $E_p - 21,2-25,8 \text{ МПа}$ ,  $\epsilon_p - 126-152 \%$  и по большинству показателей имеют достаточно близкие значения к материалам, применяемым в производстве обуви, а именно к кожеподобным резинам, что подтверждает возможность их использования для создания деталей низа (подшвы, набойки) повседневной обуви. При наполнении ДВ твердость и относительное удлинение при разрыве композита увеличиваются, достигая максимума при содержании ДВ 5 мас.%. Анализ результатов исследования показал, что для получения подошвенных материалов типа кожволон с наилучшими показателями содержание волокна составляет 5 мас.%. В случаях, когда конструктивные особенности изделий требуют использование композитов с повышенной твердостью, целесообразно использовать в композициях от 10 до 30 мас.%. наполнителя на 100 мас.%. полиуретановых отходов.

Для создания сменных набоек использование отходов полиуретана в чистом виде ограничивается из-за недостаточной их твердости. Для устранения данного недостатка сотрудниками ВГТУ предложена схема модифицирования

Таблица 4 – Характеристика показателей, методов и средств исследования физико-механических свойств волокнисто-наполненных ПКМ

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	ГОСТ	Оборудование	Обработка результатов
Плотность	$\rho$	г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 267-73	Весы технические Radwag WLC 0,6/B1, штангенциркуль ШЦЦ-1-300	Определяется по формуле: $\rho = V/m$
Твердость по Шору А	$H$	усл.ед.	ГОСТ 263-75	Твердомер 2033 ТИР, секундомер	Среднее арифметическое всех измерений, округленное до целого числа
Относительное удлинение при разрыве	$\epsilon_p$	%	ГОСТ 11262-80	Разрывная машина Instron 5657, Великобритания	Среднее арифметическое показателей всех испытанных образцов одного изделия. Значения показателей определяют по формулам, приведенным в ГОСТ
Модуль упругости	$E_p$	МПа	ГОСТ 11262-80	Разрывная машина Instron 5657, Великобритания	

Таблица 5 – Средние значения свойств материалов для подошв обуви

Показатель	ППУ гранулят	ППУ+1 мас.% ДВ	ППУ+2 мас.% ДВ	ППУ+3 мас.% ДВ	ППУ+4 мас.% ДВ	ППУ+5 мас.% ДВ	Кожволон
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,22	1,25	1,25	1,23	1,24	1,22	не менее 0,9
$H$ , усл.ед.	86	86	88	88	90	92	не менее 80
$E_p$ , МПа	23,9	22,1	25,2	25,8	24,1	21,2	не менее 21
$\epsilon_p$ , %	140	141	125	126	127	152	не менее 150

отходов ПУ древесными волокнами. Проведенные исследования дают основание считать, что с увеличением содержания модификатора достигается требуемая твердость полиуретанового пластика, но при этом наблюдается снижение некоторых эксплуатационных показателей. Физико-механические характеристики модифицированных композитов в большей степени зависят от прочности адгезионной связи полимера и

наполнителя. При этом наблюдается улучшение упруго-эластичных характеристик материала, выражающееся в снижении показателя относительного удлинения при разрыве по сравнению с исходным полиуретаном. Процесс наполнения вторичного полиуретана волокнистыми отходами от 1,0 до 5,0 мас.% повсеместно сопровождался увеличением твердости материала.



Таким образом, волокнисто-наполненные полимерные композиционные материалы из отходов обувного ППУ с содержанием древесного наполнителя в количестве 0,0–5,0 мас.% могут быть рекомендованы для создания материалов типа кожволон для деталей низа модельной и повседневной обуви, так как полученные материалы обладают высокой прочностью, хорошей формоустойчивостью, пластичностью и не уступают по свойствам импортному кожволону. Практическая ценность результатов исследования состоит в установлении рецептурно-технологических возможностей преодоления фактора естественного ухудшения свойств вторичных обувных пенополиуретанов. Древесные наполнители в виде волокнистых частиц можно рассматривать как недорогие добавки к полиуретановым матрицам, которые при определенных рецептурно-технологических параметрах формирования композита позволяют в некоторой степени компенсировать ухудшение физико-механических характеристик переработан-

ного ППУ. Сохранение прочности показателей и рост жесткости должны способствовать улучшению износостойкости изделий из таких композитов. Данные физические эффекты, по-видимому, обусловлены особым поведением дисперсных частиц при контакте с матрицей ППУ. Это – их способность проникать в остаточные поры, взаимодействовать друг с другом с формированием протяженных ориентированных структур. В совокупности это и позволяет рассматривать древесные наполнители как целевые модификаторы ППУ, реализующие при контакте с матрицей функцию структурирования и упрочнения.

В заключении необходимо отметить, что вторичное использование отходов кожевенно-обувных и деревообрабатывающих предприятий внесет значительный экологический и экономический эффект. Создание ВНКМ для деталей низа обуви позволит решать проблему импортозамещения таких кожеподобных материалов, как релак и тунит, поскольку сегодня наша страна все еще импортозависима в области обувной промышленности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сушков, А. С. (2014), Формирование древеснокомпозиционных материалов из отходов деревообработки, *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2014, № 2, С. 160–169.
2. Буркин, А. Н., Матвеев, К. С., Смелков, В. К., Солтовец, Г. Н. (2001), *Обувные материалы из отходов пенополиуретанов*, Витебск, 173 с.
3. Радюк, А. Н., Дойлин, Ю. В., Козлова, М. А., Буланчикова, И. А., Буркин, А. Н. (2020), Материалы и технологии получения изделий на основе отходов полиуретанов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, № 1(38), С. 100–112.
4. Шафигуллин, Л. Н., Соколова, Ю. А., Алоян, Р. М., Романова, Н. В., Миргасимов, И. И., Акулова, М. В.

#### REFERENCES

1. Sushkov, A. S. (2014), Formirovanie drevesno-kompozicionnyh materialov iz othodov derevoobrabotki [Formation of wood composite materials from woodworking waste], *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, №2, pp. 160–169.
2. Burkin, A. N. [i dr.] (2001), *Obuvnye materialy iz othodov penopoliuretanov* [Shoe materials from polyurethane foam waste], Vitebsk, 173 p.
3. Radyuk, A. N., Doylin, Yu. V., Kozlova, M. A., Bulanchikova, I. A., Burkin, A. N. (2020), Materialy i tekhnologii polucheniya izdelij na osnove othodov poliuretanov [Materials and technologies for producing products based on polyurethane waste], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological*

- (2019), Вторичная переработка изделий из пенополиуретана, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6 (384), С. 90–93.
5. Буркин, А. Н. [и др.] (2022), Получение материалов с заданными свойствами и минимальным количеством ингредиентов, *Полимерные композиты и трибология: международная научно-техническая конференция*, Гомель, 2022, С. 16.
  6. Радюк, А. Н. (2016), Обоснование показателей свойств материалов для оптимизации технологического процесса переработки отходов полиуретана, Моделирование в технике и экономике, *Сборник материалов докладов международной научно-практической конференции*, Витебск, 2016, С. 148–150.
  7. Шафигуллин, Л. Н., Соколова, Ю. А., Алоян, Р. М., Романова, Н. В., Миргасимов, И. И., Акулова, М. В. (2019), Вторичная переработка изделий из пенополиуретана, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6 (384), С. 90–93.
  8. Тимофеенко, А. А., Шаповалов, В. М. (2021), Рецептурно-технологические аспекты целевого модифицирования вторичного полиуретана, *Полимерные материалы и технологии*, 2021, № 3, С. 80–87.
  9. Шаповалов, В. М., Зотов, С. В., Овчинников, К. В., Гольдаде, В. А., Радюк, А. Н., Соколова, Н. М., Борозна, В. Д., Ковальков, Н. С. (2018), *Гранулированная композиция для литья облегченных обувных подошв*, Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Витебский государственный технологический университет, № а 20180001, заявл. 03.01.2018, опубл. 30.08.2019, Бюл. № 4 (129).
  10. Радюк, А. Н. (2018), Получение и свойства композиционных полимерных материалов с волокнистым наполнителем, *Материалы University*, 2020, № 1 (38), pp. 100–112.
  4. Shafigullin, L. N., Sokolova, Yu. A., Aloyan, R. M., Romanova, N. V., Mirgasimov, I. I., Akulova, M. V. (2019), Vtorichnaya pererabotka izdelij iz penopoliiuretana [Recycling of polyurethane foam products], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, №6 (384), pp. 90–93.
  5. Burkin, A. N. [i dr.] (2022), Obtaining materials with specified properties and a minimum number of ingredients [Poluchenie materialov s zadannymi svojstvami i minimal'nym kolichestvom ingredientov], *Proceedings of the international scientific and technical conference "Polymer Composites and Tribology"*, Gomel, 2022, p. 16.
  6. Radyuk, A. N. (2016), Justification of indicators of properties of materials for optimization of technological process of processing of waste of polyurethane [Obosnovanie pokazatelej svojstv materialov dlya optimizacii tekhnologicheskogo processa pererabotki othodov poliuretana], *Proceedings of the international scientific and practical conference*, Vitebsk, 2016, pp. 148–150.
  7. Shafigullin, L. N., Sokolova, Yu. A., Aloyan, R. M., Romanova, N. V., Mirgasimov, I. I., Akulova, M. V. (2019), Vtorichnaya pererabotka izdelij iz penopoliiuretana [Recycling of polyurethane foam products], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, № 6 (384), pp. 90–93.
  8. Timofeenko, A. A., Shapovalov, V. M. (2021), Recepturno-tekhnologicheskie aspekty celevogo modifitsirovaniya vtorichnogo poliuretana [Prescription and technological aspects of targeted modification of secondary polyurethane], *Polymer materials and technologies*, 2021, № 3, pp. 80–87.
  9. Shapovalov, V. M., Zotov, S. V., Ovchinnikov, K. V., Goldade, V. A., Radyuk, A. N., Sokolova, N. M., Borozna, V. D., Kovalkov, N. S. (2018),

- V Respublik. nauchno-technich. konferencii molodykh uchenykh*, Gomel': IMMS NAN Belarusi, 2018, С. 27–28.
11. Гольдаде, В. А., Струк, В. А., Воронцов, А. С., Авдейчик, С. В. (2018), *Материаловедение и технология полимеров и композитов*, Гродно, ГрГУ, 351 с.
  12. Сафин, Р. Г., Саттарова, З. Г., Галиев, И. М., Салдаев, В. А. (2015), Композиционные материалы на основе древесных частиц и полимеров, *Вестник Казанского государственного технологического университета*, 2015, Т. 18, № 19, С. 184–187.
  13. Мерсов, Е. Д. (1981), Исследование фракционного состава древесноволокнистой массы, *Технология древесных плит и пластиков: межвузовский сборник*, 1981, № 7, С. 79–86.
  14. Мерсов, Е. Д. (1989), *Производство древесноволокнистых плит*, М.: Высш. шк., 232 с.
  15. Кузнецова, С. А., Кузнецов, Б. Н. (2011), *Химия древесины*, Красноярск, Сиб. федерал. ун-т, Ин-т цветных металлов и материаловедения, 107 с.
  16. Власов, Ю. В., Григорьев, И. В., Куницкая, О. А., Хитров, Е. Г. (2020), Анализ исследований по тематике измельчения древесных отходов, *RESOURCES TECHNOLOGY*, 2020, № 1, С. 63–88.
  17. Ефимова, Е. В. (2013), *Измельчение древесной коры на оборудовании с молотковыми рабочими органами*, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, Санкт-Петербург, 2013, СПбЛТУ им. С.М. Кирова, 21 с.
  18. Плотников, С. М. (2007), Определение массы и длины древесных частиц, *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века*, Екатеринбург, 2007, С. 85–87.
  - Granulirovannaya kompozitsiya dlya lit'ya oblegchennykh obuvnykh podoshv* [Granular composition for casting lightweight shoe soles], V.A. Bely Institute of Mechanics of Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Vitebsk State Technological University, State Register of Patents of Belarus, Minsk, BY, Req. № a 20180001, zajavl. 03.01.2018, opubl. 30.08.2019, Bjul. № 4 (129).
  10. Radyuk, A. N. (2018), Obtaining and properties of composite polymeric materials with fibrous filler [Poluchenie i svojstva kompozitsionnykh polimernykh materialov s voloknistym napolnitelem], *Materialy V Respublik. nauchno-technich. konferencii molodykh uchenykh*, Gomel': IMMS NAN Belarusi, 2018, pp. 27–28.
  11. Goldade, V. A. [i dr.] (2018), *Materialovedenie i tekhnologiya polimerov i kompozitov* [Materials Science and technology of polymers and composites], Grodno, 351 p.
  12. Safin, R. G., Sattarova, Z. G., Galiev, I. M., Saldaev, V.A. (2015), *Kompozitsionnye materialy na osnove drevesnykh chastic i polimerov* [Composite materials based on wood particles and polymers], *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo universiteta – Vestnik of Kazan State Technological University*, 2015, vol. 18, № 19, pp. 184–187.
  13. Mersov, E. D. (1981), Issledovanie frakcionnogo sostava drevesnovoloknistoj massy, *Technology of wood boards and plastics: Interuniversity collection*, 1981, № 7, pp. 79–86.
  14. Mersov, E. D. (1989), *Proizvodstvo drevesnovoloknistykh plit* [Production of fiberboard], Moscow: Higher School, 232 p.
  15. Kuznetsova, S. A., Kuznetsov, B. N. (2011), *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood], Krasnoyarsk, Siberian Federal. un-t, Institute of Non-ferrous Metals and Materials Science, 107 p.
  16. Vlasov, Yu. V. [i dr.] (2020), *Analiz issledovaniy po tematike izmel'cheniya drevesnykh othodov*

19. Буркин, А. Н., Шеремет, Е. А., Егорова, Е. А., Лобацкая, Е. М. (2011), *Материаловедение кожевенно-обувного производства*, Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 310 с.
- [Analysis of research on the topic of wood waste shredding], *RESOURCES TECHNOLOGY*, 2020, № 1, pp. 63–88.
17. Efimova, E. V. (2013), *Izmel'chenie drevesnoj kory na oborudovanii s molotkovymi rabochimi organami* [Crushing of tree bark on equipment with hammer working bodies], Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.21.01 – technology and machines of logging and forestry, St. Petersburg, 2013, S.M. Kirov SPbLTU, 2013, 21 p.
18. Plotnikov, S. M. (2007), Determination of the mass and length of wood particles [Opredelenie massy i dliny drevesnyh chastic], *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century*, Yekaterinburg, 2007, pp. 85–87.
19. Burkin, A. N., Sheremet, E. A., Egorova, E. A., Lobatskaya, E. M. (2011), *Materialovedenie kozhevenno-obuvnogo proizvodstva* [Materials science of leather and shoe production], Minsk: Belarus. Encycl. im. P. Brovki, 310 p.

Статья поступила в редакцию 30. 04. 2023 г.