

Научная статья  
УДК 685.34.082  
EDN ZURXHK

doi 10.34216/2587-6147-2024-1-63-32-39

**Анастасия Николаевна Радюк**

Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь  
ana.r.13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6233-8328>

## ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛЯТА ИЗ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОДОШВ ОБУВИ

**Аннотация.** В статье представлен перспективный метод переработки обувных пенополиуретанов путем их превращения во вторичный гранулированный продукт с последующим использованием его для получения материалов для подошв обуви. С этой целью разработаны составы, режимы и технология получения гранулята и полимерной основы с минимальным количеством ингредиентов, проведен анализ структуры и свойств полученных отливок. На основе полученных данных сделан вывод о возможности применения гранулята и полимерной основы для литья подошв обуви монолитной структуры.

**Ключевые слова:** гранулят, отходы, способ переработки, полимерная основа, технология, физико-механические характеристики, подошва обуви

**Для цитирования:** Радюк А. Н. Получение гранулята из отходов пенополиуретана для литья подошв обуви // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 32–39. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-32-39>.

Original article

**Anastasiya N. Radyuk**

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

## PRODUCTION OF GRANULATE FROM WASTE POLYURETHANE FOAM FOR MOULDING SHOE SOLES

**Abstract.** The article presents a promising method of processing shoe polyurethane foams by their transformation into a secondary granulated product with its subsequent use for obtaining materials for shoe soles. For this purpose, compositions, modes and technology of obtaining granulate and polymer base with a minimum amount of ingredients have been developed with the structure and properties of the obtained castings analysed. On the basis of the obtained data it is concluded that it is possible to use granulate and polymer base for casting monolithic shoe soles.

**Keywords:** granulate, waste, processing method, polymer base, technology, physical and mechanical characteristics, shoe sole

**For citation:** Radyuk A. N. Production of granulate from waste polyurethane foam for moulding shoe soles. Technologies & Quality. 2024. No 1(63). P. 32–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-32-39>.

Высокие темпы производства и потребления полиуретанов (ПУ) приводят к накоплению неизбежно образующихся производственных отходов и изделий, вышедших из эксплуатации, что влечет за собой экологические и экономические проблемы [1, 2]. Традиционные способы утилизации отходов – депонирование и сжигание – для полиуретанов неприемлемы. В первом случае в результате воздействия воды

образуются вредные амминосодержащие продукты, во втором – выделяются токсичные газы, такие как цианистый водород, оксиды азота и т. п. [2]. Потому в настоящее время вопрос разработки методов и технологии утилизации ПУ отходов является актуальной задачей, и в связи с этим все большее внимание привлекают процессы рецикла полиуретанов.

Производство ПУ представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности. Такой интерес производителе-

---

© Радюк А. Н., 2024

лей к этому полимеру прежде всего связан с возможностью получения разнообразных технически ценных материалов на его основе [2].

На сегодняшний день на эластичные и жесткие пенополиуретаны (ППУ) приходится наибольший объем потребления, который составляет 75 % от всего выпуска. Помимо этого, именно эти отходы являются самыми трудно утилизируемыми отходами обувной промышленности, так как их запрещено вывозить на ТБО ввиду их токсичности.

Проведенные ранее исследования и работы касались возможности и целесообразности переработки отходов ППУ в материалы и изделия для обувной промышленности, однако их физико-механические и эксплуатационные свойства имели большой размах варьирования при одних и тех же режимах и условиях изготовления.

В связи с вышесказанным данная работа направлена на получение более однородного по свойствам гранулята, полимерной основы с минимальным количеством ингредиентов и изделий с заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств. Целью данной работы является получение новых материалов для производства подошв обуви с использованием отходов ППУ.

Гранулят – это продукт грануляции, получаемый в процессе измельчения полимерного сырья путем уменьшения частиц твердых тел [3, 4]. Чаще всего представляет собой сыпучий материал, состоящий из однородных по размеру и форме частиц. Гранулы могут иметь форму цилиндра, шара, куба, прямоугольной пластины. Размер гранул зависит от вида материала и метода его переработки [4].

Гранулят из отходов – это сырье, которое позволяет существенно снизить себестоимость товаров без ущерба их качеству. Эксплуатационные свойства этого сырья не отличаются от характеристик первичного пластика, поэтому его можно считать универсальным. Использование такого материала позволяет не только удешевить затраты на изготовление товаров, но и решить вопрос по утилизации полимерной продукции, способной навредить экологии. Одним из вариантов сырья для получения гранулята могут быть отходы ППУ [4, 5].

В Республике Беларусь на сегодняшний день отсутствуют нормативные документы (ГОСТы), регламентирующие свойства вторичного полимерного сырья. До 1990 г. действовал отраслевой стандарт «Сырье вторичное, поли-

мерное», сейчас существуют различные Технические условия на вторичные гранулы из полимеров как общие – сырье полимерное вторичное или отходы полимерные, так и специализированные – полиэтилен вторичный, полипропилен вторичный, полистирол вторичный либо «сырье вторичное полимерное из...». При этом необходимо отметить, что в Технических условиях на полимеры вторичные выделены определенные марки полимеров, большинство из которых сводится к следующим маркам: ПЭНД вторичный, ПЭВД вторичный, полипропилен вторичный, ПЭТФ вторичный, полистирол вторичный, АБС вторичный, смешанные полимеры (смесь различных марок полимеров), поликарбонат вторичный [4–7]. Как можно заметить, ПУ и ППУ как вторичное сырье не выделяются, это связано с тем, что данные полимеры не имеют однозначного класса опасности и согласно ОКРБ 021–2019 [8] являются токсичными и горючими полимерами (5711019 Прочие отходы полиуретана, пенополиуретана – отходы образуются при изготовлении литьевой обуви).

В настоящее время известны несколько способов физико-механической переработки отходов обувного ПУ в гранулят (табл. 1).

Помимо представленных способов, касающихся физико-механической переработки, существуют способы химической переработки гранулята из ПУ – способ экструзии расплава эластомера и непрерывной резки в воде с последующим разделением гранул и воды, способ изготовления гранул из полиуретана путем совмещения реакционной композиции с инертной по отношению к композиции жидкостью [4]. Недостатками данных способов является образование «комков» гранул при повышении температуры воды или жидкости, содержание в грануляте значительного количества агрегированных гранул, что ведет к снижению его качества и делает невозможным дальнейшее применение в процессах переработки.

Представленные процессы переработки отходов ПУ являются довольно сложными с технологической точки зрения и включают различные способы, наиболее предпочтительным среди которых является термомеханический способ, позволяющий перерабатывать значительное количество отходов, с получением гранулята, а использование различных добавок повышает его качество и расширяет область применения.

Способы физико-механической переработки отходов обувного ПУ в гранулят

Способ	Достоинства	Недостатки
Дробление уретанового эластомера ножами	– Не требует сложного оборудования; – позволяет использовать полиуретаны любой природы	– Гранулы имеют неправильную геометрическую форму, что влечет за собой их малый насыпной вес, плохой прогрев и дозирование; – высокая степень обновления поверхности ухудшает физико-химические и механические характеристики изделий
Механическое измельчение в крошку требуемой дисперсности (грануляция)	– Гранулы используют в качестве наполнителя полимерных композиций	– Гранулы имеют разные геометрические параметры; – находит применение для утилизации хрупких твердых ППУ
Получение из отходов ППУ термопластичного материала, пригодного для переработки методом литья, путем их измельчения и гранулирования [9]	– Обеспечивает переработку отходов на шнеково-дисковом грануляторе с получением шнуров в процессе продавливания материала через фильеры, их охлаждение и резку на гранулы размером 3×5 мм; – может включать операцию смешивания материалов	– Деструкция отходов происходит при различных температурах, что приводит к наличию остатков в материале частиц, не перешедших в термопластичное состояние, поэтому, чтобы избежать подобных негативных явлений, процесс переработки разных групп одного и того же материала следует проводить отдельно; – необходимо следить, чтобы не происходило перемешивания гранулята разной цветовой гаммы, поскольку у них разная температура плавления из-за различных добавок красителей

### Материалы и методы исследования

Для разработки состава гранулята были проанализированы и обоснованы ингредиенты, используемые для получения гранулята из различных видов ПУ и отходов ПУ. Выявлено, что основным компонентом гранулята при физико-механической переработке является первичный или вторичный ПУ различных видов, а также

инертные по отношению к композиции жидкости при химической переработке, среди которых наиболее часто используемыми являются вода и масла различной вязкости.

В рамках задания ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» [10] на основании [11] разработана технологическая схема получения гранулята в соответствии с рис. 1.

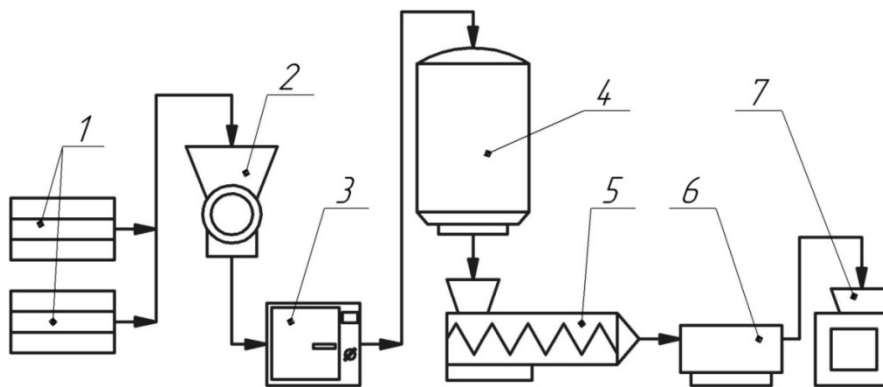


Рис. 1. Технологическая схема переработки отходов ППУ методом экструзии в гранулят [10]

При предварительной подготовке отходы ППУ из сборного конвейера 1 загружали в дробилку роторно-ножевого типа 2 и подвергали измельчению до размеров частиц 10...15 мм. Далее измельченный ППУ сушили в сушильной камере или термошкафу 3 с принудительной конвекцией воздуха при температуре 80 °С в течение 3 ч до влажности 0,2...0,3 %. Далее высушенные частицы загружали в накопительный бункер-смеситель 4 и подвергали термомеханической переработке в двухшнековом экструдере 5 SUPLAST 25/2 мм (ООО «СуПласт», РБ) при температуре переработки 110...185 °С

и скорости вращения шнека 50...70 об/мин. Получали шнурки диаметром 3 мм, которые охлаждали в водяной ванне 6 и резали с помощью режущего устройства 7 до получения гранул длиной 2...4 мм.

Для полученного гранулята из отходов обувного ППУ определяли пористость и насыпную плотность. Структуру поверхности композитов изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на срезах образцов на микроскопе Vega II (Tescan, Чехия).

Далее в работе изучалась, проверялась и анализировалась возможность получения по-

лимерной основы с минимальным количеством ингредиентов из гранулята отходов ППУ. Состав композиции включает в себя отходы ППУ, являющиеся основным компонентом композиции; пластификатор (масло индустриальное, МИ), необходимый для повышения пластичности и эластичности, улучшения процесса переработки; стабилизатор (стеарат кальция, стСа),

способствующий повышению стойкости полимера к различным видам воздействий, замедляющий деструкцию и старение композиции и готовых изделий.

Для изготовления полимерной основы с минимальным количеством ингредиентов методом экструзии из гранулята отходов ППУ в табл. 2 представлены составы и режимы получения.

Т а б л и ц а 2

Составы и режимы получения полимерной основы

Состав композиций, мас. %	$t, ^\circ\text{C}$ (50...70 об/мин)	Крутящий момент $M_{кр}, \text{H}\cdot\text{м}$	Плотность образца, $\text{г}/\text{см}^3$
ППУ гранулят	125, 140, 150, 160, 170, 160	–	1,217
ППУ (98,5) + стСа (0,5) + МИ (1)	125, 140, 150, 160, 170, 160	9,43...11,53	1,233

Из полученных композиций на термопластавтомате ТП EN30 (Hengsen, Китай) при температуре 170...190 °С изготавливали образцы материалов (полимерной основы). Полученную полимерную основу исследовали по следующим показателям: плотность (ГОСТ 267), твердость по Шору А (ГОСТ 263), абразивный износ на машине APG-300 (FritzHeckert, ГДР) (ГОСТ 11012), предел прочности, относительное удлинение при разрыве и модуль упругости на комплексе Instron 5657 (Instron, Великобритания) (ГОСТ 11262). Исследование структуры полученных образцов полимерной основы проводили методом микроскопии в отраженном свете с помощью микроскопа BestScope BPM-130 USB Portable Digital Microscope.

#### Результаты и их обсуждение

Предварительно проведенные исследования показали, что переработка измельченных частиц отходов ППУ в гранулят связана с определенными технологическими трудностями, обусловленными нестабильностью реологических показателей перерабатываемого материала, неравномерностью движения его фрагментов в цилиндре экструдера и их плавления, а также низкой формоустойчивостью стренга при его выходе из формирующей головки. В результате в материале наблюдается разуплотнение с сохранением значительной доли остаточной пористости. По-видимому, высокотемпературная экструзионная переработка отходов ППУ не позволяет полностью ликвидировать остаточную пористость за счет низких реологических характеристик расплава и вызывает реакцию следов неотработанных вспенивающих агентов, что создает дополнительную нерегулируемую пористость.

Эти обстоятельства не позволяют получить однородную структуру гранулята при

однократной экструзии. Это, в соответствии с рис. 2, а, отмечено даже при введении в отходы ППУ технологических добавок, призванных регулировать течение расплава и в некоторой степени улучшающих перерабатываемость в гранулят. Тем не менее вариант двукратной переработки оказывается предпочтительным с точки зрения формирования более регулярной морфологии материала, в соответствии с рис. 2, б. Однако и в этом случае имеется некоторое количество укрупненных пор. Для снижения остаточной пористости наряду с увеличением кратности переработки до 2–3 (но не более, что лимитируется ухудшением свойств ППУ вследствие термоокислительной деструкции этого полимера) целесообразно применение в технологическом процессе системы дегазации.

Результатом проведенного исследования и переработки измельченных частиц отходов ППУ (рис. 3, а) является гранулят, представленный на рис. 3, б.

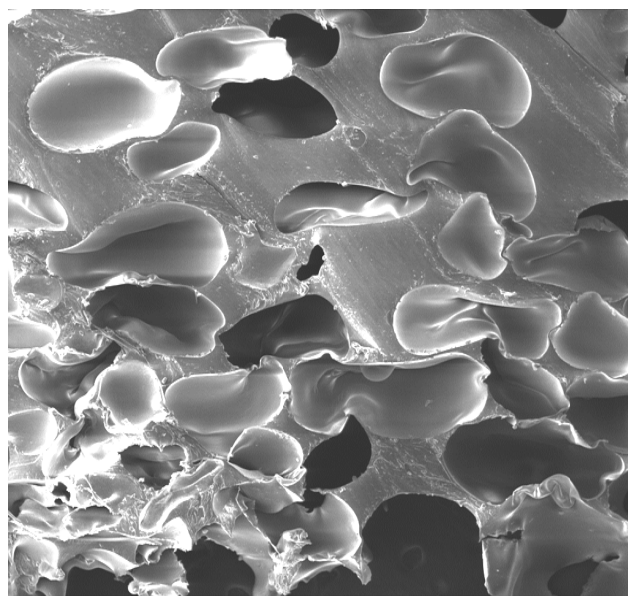
Гранулят (см. рис. 3, б) имеет цилиндрическую форму, одинаковую размерность и является исходным сырьем для получения в дальнейшем полимерной основы.

Для полученного гранулята была определена пористость (рис. 4) и насыпная плотность по ГОСТ 11035.1–93, составившая 0,47  $\text{г}/\text{см}^3$ .

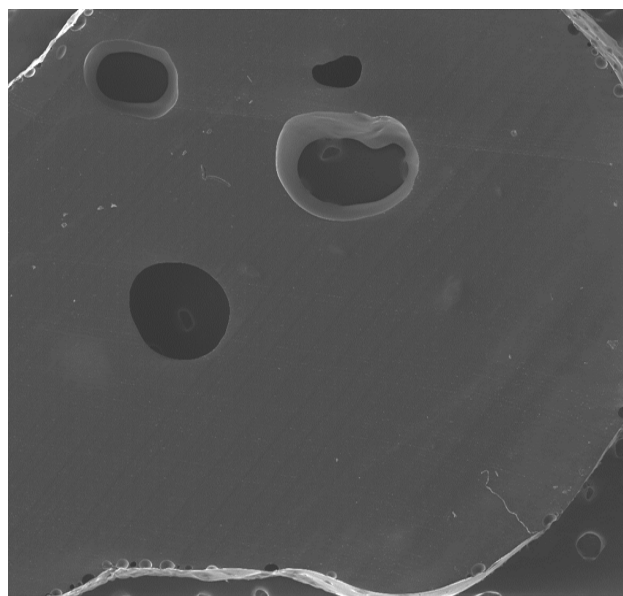
На основе этого гранулята были получены пробные отливки образцов материалов с целью подтверждения возможности изготовления из него материалов для подошв обуви. В качестве базового метода формирования литых образцов выбрана литьевая формовка при температурах не выше 190 °С. Далее проводился анализ структуры (рис. 5) и физико-механических характеристик полученных литых образцов (табл. 3) в сравнении со значениями монолитных подошв обуви.

Анализируя рис. 5, необходимо отметить, что структура образцов рыхлая, слегка пористая, поры хорошо сформированы, имеют малые

диаметры правильной шарообразной формы 2...3,5 мкм, дополнительных включений и дефектов не найдено.



а



б

Рис. 2. Поры в ППУ при однократной (а) и двукратной переработке (б)



а



б

Рис. 3. Отходы ППУ после измельчения (а) и гранулят из отходов ППУ (б)

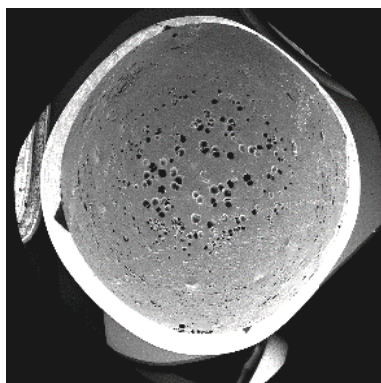


Рис. 4. Пористость гранулята



Рис. 5. Структура образца

Т а б л и ц а 3

## Физико-механические характеристики литых образцов

Образец	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость $H$ , усл. ед.	Абразивный износ $V_i$ , мм <sup>3</sup> /м	Относительное удлинение при растяжении $\epsilon$ , %	Предел проч- ности $\sigma$ , МПа	Модуль упру- гости при рас- тяжении $E$ , МПа
Литые	1,233	86	0,38	140	15	24,2
Монолитные	$\leq 1,3$	$\leq 90$	$\leq 3,0$	$\geq 140$	$\geq 4,5$	$\geq 21$

По данным рис. 5 и табл. 3 можно заметить, что структура полученных материалов удовлетворяет требованиям к структурам для производства подошвенных материалов (подошв обуви), физико-механические характеристики образцов выше значений, регламентированных для подошв аналогичной структуры.

**Заключение.** Как известно, гранулирование является завершающим этапом подготовки вторичного полимерного сырья для переработки его в изделия и осуществляется на выходе расплава из червячного пресса, в котором осуществлялись процессы гомогенизации, дегазации и фильтрации. Гранулированный полимерный материал является наилучшей формой сырья для переработки его в изделия на современном оборудовании. Однако гранулирование требует нагрева полимера до вязкотекучего состояния, которое сопровождается дополнительной термической деструкцией, т. е. ухудшением молекулярно-массового распределения полимера. Это значит, что следует избегать дополнительного нагрева вторичного полимерного материала и не стоит гранулировать материал после 3-кратной переработки, достаточно 2–3-кратной переработки для устранения пористости.

Рассмотренный в настоящей работе метод переработки отходов ППУ путем их превращения во вторичный гранулированный продукт позволяет получить из него полимерную основу с минимальным количеством ингредиентов для последующего литья материалов для подошв обуви. Анализ структуры и физико-механических характеристик полученных материалов подтверждает это. Необходимо отметить, что разработанный состав полимерной основы может служить для получения на базе его подошв обуви монолитной структуры или при наполнении композиции различными волокнами или дисперсными частицами для получения волокнисто-наполненных структур.

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны состав для получения гранулята из отходов ППУ и состав полимерной

основы с минимальным количеством ингредиентов, включающий, помимо гранулята отходов ППУ, стабилизатор и пластификатор композиции.

2. Разработана технологическая схема получения гранулята и установлены режимы для получения гранулята и полимерной основы.

3. Установлены причины, не позволяющие получить однородную структуру гранулята при однократной экструзии.

4. С целью подтверждения возможности изготовления из гранулята отходов ППУ материалов для подошв обуви получены пробные отливки образцов материалов, проведены исследования их свойств и проанализированы полученные характеристики свойств, а также структура образцов. Установлено, что структура полученных материалов удовлетворяет требованиям к структурам материалов аналогичного назначения и физико-механические характеристики соответствуют значениям, регламентированным для подошв обуви.

Научная значимость работы заключается в разработке новых материалов для подошв обуви с использованием отходов производства, а также в возможности дальнейшего прогнозирования их физико-механических и эксплуатационных свойств.

Практическая значимость исследования заключается:

- в получении стабильного по свойствам гранулята и изделий с заданным комплексом свойств;
- снижении себестоимости обуви (социальный эффект);
- снижении количества ввозимого из-за рубежа полиуретана (импортозамещение);
- частичной утилизации отходов полиуретанов.

Перспективами дальнейших исследований по данной проблеме является апробация возможности использования различных видов ингредиентов (порообразователей, наполнителей и пр.) для получения материалов для подошв обуви с определенной структурой и эксплуатационными свойствами.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Возможности рециклинга вторичных термопластичных полиуретанов / Я. П. Казусик, О. М. Касперович, Л. А. Ленартович, А. Ф. Петрушеня // Актуальные проблемы инновационных технологий в развитии химической, нефтегазовой и пищевой промышленности : сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., посв. 30-летию Ташкентского химико-технологического института (25–26 мая 2021 г., г. Ташкент). Ташкент : ТХТИ, 2021. С. 404–405.
2. Синтез полиуретанов: вторичные полиолы // NC. Newchemistry.ru : офиц. сайт. URL: [https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=1511](https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=1511) (дата обращения: 02.11.2023).
3. Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фрут Б. Переработка пластмасс : практическое руководство. СПб. : Профессия, 2005. 320 с.
4. Гранулят для производства материалов и деталей низа обуви с прогнозируемыми эксплуатационными свойствами : отчет о НИР (заключительный) : 2020-Г/Б-356 / ВГТУ ; науч. рук. А. Н. Буркин. Витебск, 2020. 98 с.
5. Радюк А. Н., Буркин А. Н. Материалы для низа обуви на основе гранулята вторичного полиуретана // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы : сб. материалов XXIII Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-2020» (20–23 октября 2020 г., г. Иваново). Иваново : ИВГПУ, 2020. С. 432–436.
6. Перечень нормативно-технических документов на отходы // Отходы.ру : офиц. сайт. URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=329> (дата обращения: 11.11.2023).
7. Реестр по использованию отходов // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь : офиц. сайт. URL: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Reestr-litsenziaty-otxody-1.doc> (дата обращения: 11.11.2023).
8. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь // prav.by : офиц. сайт. URL: <https://prav.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1> (дата обращения: 14.11.2023).
9. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов : монография / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, В. К. Смелков, Г. Н. Солтовец. Витебск : ВГТУ, 2001. 173 с.
10. По заданию 8.4.2.4 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» : Теоретические и экспериментальные методы оценки структуры и свойств композиционных материалов на полимерной матрице из полиуретанов : отчет о НИР (промежуточный) : 2021-Г/Б-368 / ВГТУ ; науч. рук. А. Н. Буркин. Витебск, 2021. 73 с.
11. Радюк А. Н., Козлова М. А., Буркин А. Н. Технологии получения материалов для подошв обуви на основе вторичных полиуретанов // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2020. № 2(39). С. 68–79.

## REFERENCES

1. Kazusik Ya. P., Kasperovich O. M., Lenartovich L. A., Petrushenya A. F. Opportunities of recycling of secondary thermoplastic polyurethanes\*. *Aktual'nye problem innovacionnyh tehnologij v razvitii himicheskoy, neftegazovoy i pishhevoj promyshlennosti : sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 30-letiju Tashkentskogo himiko-tehnologicheskogo instituta* [Actual problems of innovative technologies in the development of chemical, petroleum-gas and food-processing industries : proceedings of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 30th anniversary of the Tashkent Chemical-Technological Institute]. Tashkent, Tashkent ins. of chem. tech. Publ., 2021. P. 404–405. (In Russ.)
2. Synthesis of polyurethanes: secondary polyols. NC. Newchemistry.ru. URL: [https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=1511](https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=1511) (accessed 02.11.2023). (In Russ.)
3. Schwarz O., Ebeling F.-W., Fruth B. *Plastics Recycling: a practical guide*. Saint Peterburg, Professiya Publ., 2005. 320 p. (In Russ.)
4. *Granulyat dlya proizvodstva materialov i detalej niza obuvi s prognoziruemyimi ekspluatacionnymi svojstvami: otchet o NIR (zakljuchitel'nyj)* [Granulate for production of materials and parts of shoe bottoms with predictable operational properties : research report (final)\*] : 2020-G/B-356 / EI “VSTU”; scientific supervisor. A. N. Burkin. Vitebsk, 2020. 98 p. (In Russ.)
5. Radyuk A. N., Burkin A. N. Materials for bottom shoes based on secondary polyurethane granulate. *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tehnologii I materialy: sbornik materialov HXIII Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma “SMARTEX-2020”* [Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, Science Intensive Technologies and Materials: forum proceedings XXIII In-

- ternational Scientific and Practical Forum “SMARTEX-2020”]. Ivanovo, Ivanov. St. Politeh. Univ. Publ., 2020. P. 432–436. (In Russ).
6. List of normative and technical documents on waste\*. Waste.ru : the official website. URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=329> (accessed 11.11.2023). (In Russ.)
  7. Waste to Site. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus : the official website. URL: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Reestr-litsenziaty-otxody-1.doc> (accessed 11.11.2023). (In Russ.)
  8. Nationwide Classifier of the Republic of Belarus. Classifier of wastes generated in the Republic of Belarus\*. Parvo.by : the official website. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1> (accessed 14.11.2023). (In Russ.)
  9. Burkin A. N., Matveev K. S., Smelkov V. K., Soltovec G. N. Footwear materials from polyurethane foam wastes. Vitebsk, Vitebsk St. Technol. Univ. Publ., 2001, 173 p. (In Russ.)
  10. According to the task 8.4.2.4 GPNI “*Materialovedenie, novye materialy I tehnologii*”: *Teoreticheskie i jeksperimental’nye metody ocenki struktury I svojstv kompozicionnyh materialov na polimernoj matrice iz poliuretanov: otchet o NIR (promezhutochnyj)* [GPNI “Material science, new materials and technologies”\*: Theoretical and experimental methods of assessment of structure and properties of composite materials on polymer matrix of polyurethanes: research report\* (interim)] : 2021-G/B-368. Vitebsk St. Technol. Univ., scientific supervisor A. N. Burkin. Vitebsk, 2021. 73 p. (In Russ.)
  11. Radyuk A. N., Kozlova M. A., Burkin A. N. Technologies for Producing Materials for Shoe Sole Based on Secondary Polyurethanes. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Vitebsk State Technological University]. 2020;2(39):68–79. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 7.02.2024  
Принята к публикации 6.03.2024

---

\* Перевод названия источника выполнен автором статьи / Translated by author of the article.