

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-6-16>

УДК 678.664.017

## ПОЛИУРЕТАНЫ: АНАЛИЗ РЫНКА, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕЦИКЛИНГА (ОБЗОР)

А. А. ТИМОФЕЕНКО<sup>†</sup>, В. М. ШАПОВАЛОВ

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

*Цель работы — рассмотрение структуры производства и потребления полиуретанов, особенностей и перспектив их рециклинга исходя из типа, химического состава и свойств.*

*Показано, что проблемы рециклинга и утилизации полимерных отходов неразрывно связаны с ростом производства и потребления полимеров. В работе проведен анализ научно-технической информации и рассмотрена проблема рециклинга отходов полиуретанов применительно к их номенклатуре. Выполнен обзор рынка полимеров в целом, рассмотрена структура мирового производства и потребления полиуретанов, а также основные принципы классификации полиуретанов, перечислены области применения и ведущие производители, изучена структура образующихся отходов. Подчеркнута актуальность исследований, направленных на оптимизацию технологических методов рециклинга полиуретанов. Проанализированы основные методы переработки вторичных полиуретанов — физическая или механическая переработка, химическая переработка и рекуперация энергии. Каждый из путей утилизации находит свое применение, а выбор того или иного способа зависит от объема и вида отходов. Отходы полиуретанов являются одними из наиболее сложно утилизируемых вторичных материалов, и в каждом конкретном случае необходим специфический подход к выбору метода переработки. Выделены нерешенные вопросы в сфере рециклинга полиуретанов. Приведены примеры вариантов улучшения свойств вторичных полиуретанов путем их модифицирования с помощью технологических добавок и дисперсных наполнителей. Сделан вывод, что компенсация физико-химических изменений во вторичных полиуретанах является важной научно-технологической задачей, которая включает разработку новых рецептурных решений, в том числе с использованием комплекса модифицирующих функциональных добавок.*

**Ключевые слова:** полимеры, полиуретаны, отходы, рециклинг, композиционные материалы, модифицирующие добавки, гранулирование отходов.

## POLYURETHANES: MARKET ANALYSIS, PROBLEMS AND PROSPECTS FOR RECYCLING (REVIEW)

A. A. TIMOFEENKO<sup>†</sup>, V. M. SHAPOVALOV

V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

*The purpose of this work is to consider the structure of production and consumption of polyurethanes, features and prospects of their recycling based on the type, chemical composition and properties.*

*It is shown that the problems of recycling and utilization of polymer waste are inextricably linked with the growth of polymer production and consumption. The paper analyzes scientific and technical information and considers the problem of recycling polyurethane waste in relation to their nomenclature. The polymer market as a whole is reviewed, the structure of global production and consumption of polyurethanes is considered, as well as the basic principles of classification of polyurethanes, applications and leading manufacturers are listed, the structure of waste generated is studied. The relevance of research aimed at optimizing*

<sup>†</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: timoshenko13@gmail.com

*technological methods of recycling of polyurethanes is emphasized. The main methods of processing secondary polyurethanes are analyzed — physical or mechanical processing, chemical processing and energy recovery. Each of the disposal methods finds its own application, and the choice of one or another method depends on the volume and type of waste. Polyurethane waste is one of the most difficult to recycle secondary materials, and in each case a specific approach to the choice of the recycling method is necessary. Unresolved issues in the field of polyurethane recycling are highlighted. Examples of options for improving the properties of waste polyurethanes by modifying them with the technological additives and dispersed fillers are given. It is concluded that compensation of physicochemical changes in these secondary polymers is an important scientific and technological task, which includes the development of new prescription solutions, including using a complex of modifying functional additives.*

**Keywords:** polymers, polyurethanes, wastes, recycling, composite materials, modifying additives, waste granulation.

Поступила в редакцию 26.10.2021

© А. А. Тимофеев, В. М. Шаповалов, 2021

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)  
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь  
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus  
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: [polmattex@gmail.com](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Тимофеев А. А., Шаповалов В. М. Полиуретаны: анализ рынка, проблемы и перспективы рециклинга (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 4. С. 6–16. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-6-16>

#### Citation sample:

Timofeenko A. A., Shapovalov V. M. Poliuretany: analiz rynku, problemy i perspektivy retsiklinga (obzor) [Polyurethanes: market analysis, problems and prospects for recycling (review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 4, pp. 6–16. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-4-6-16>

#### Литература

1. Суворова А. И., Тюкова И. С. Учебно-методический комплекс дисциплины «Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов» [Электронный ресурс]. Екатеринбург : [б. и.], 2008. URL: <http://hdl.handle.net/10995/1575> (дата обращения: 02.11.2020)
2. Песецкий С. С., Мышкин Н. К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2, № 4. С. 6–29.
3. Шаповалов В. М., Григорьев А. Я. Рециклинг и утилизация многокомпонентных полимерных систем на основе вторичных термопластов (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 6–19.
4. Базунова М. В., Прочухан Ю. А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13, № 4. С. 875–885.
5. Зайнуллин Х. Н., Абдрахманов Р. Ф., Ибатуллин У. Г., Миннигазимов И. Н., Миннигазимов Н. С. Обращение с отходами производства и потребления. Уфа : Диалог, 2005. 292 с.
6. Латыш Е. Статистика мирового производства и потребления полимеров по данным ЕЭК. 2015 // MPlast.by: информационно-аналитический портал. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/novosti/2015-08-11-statistika-mirovogo-proizvodstva-i-potrebleniya-polimerov-po-dannym-eek/> (дата обращения: 02.11.2020).
7. Авилон А. К. Анализ роста полимерных отходов в республике Беларусь и странах мира // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов : тезисы докладов, Минск, 22–26 апреля 2019 г. Минск, 2019. С. 406.
8. Володина Д. А., Азарова С. В., Перегудина Е. В. Рециклинг отходов пластмасс // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 535–537.
9. Ивановский С. К., Бахаева А. Н., Жерякова К. В., Ишкватова А. Р. К вопросу переработки полимерных композиционных матери-

- алов // Успехи современного естествознания. 2014. № 12-5. С. 592–595.
10. Зезин А. Б. Полимеры и окружающая среда // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 2. С. 57–64.
11. Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1989. 512 с.
12. Шаповалов В. М., Тартаковский З. Л. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов. Гомель: ИММС НАНБ, 2003. 262 с.
13. Клинков А. С., Беляев П. С., Соколов М. В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие / под ред. Е. С. Мордасова. Тамбов: ТГТУ, 2005. 80 с.
14. Абрамов В. В., Чалая Н. М. Организационно-технические аспекты обращения с полимерными отходами // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. 2020. № 2. С. 40–45.
15. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2007. 400 с.
16. Альховик М. В., Касперович О. М., Петрушеня А. Ф. Смесевые композиции с использованием вторичного полиуретана // Экология промышленного производства. 2017. № 3. С. 14–17.
17. Переработка полиуретана и пенополиуретана (ППУ) [Электронный ресурс]. URL: <http://novator-tk.ru/pererabotka-poliuretana-i-reporoliuretana-pru/> (дата обращения: 30.03.2021).
18. Касперович О. М., Петрушеня А. Ф., Ленартович Л. А., Любимов А. Г., Коновод Т. А. Возможности рециклинга вторичного полиуретана // Технология органических веществ: материалы докладов 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 4–15 февраля 2019 г. Минск: БГТУ, 2019. С. 74.
19. Райт П., Камминг А. Полиуретановые эластомеры / пер. с англ. под ред. Н. П. Апухтиной. Л.: Химия, 1973. 304 с.
20. Саундерс Дж., Фриш К. Химия полиуретанов: пер. с англ. М.: Химия, 1968. 470 с.
21. Мазурин В. Л. Полиуретан как конструкционный материал XXI века // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013. № 2 (171). С. 165–170.
22. Булатов Г. А. Полиуретаны в современной технике. М.: Машиностроение, 1983. 272 с.
23. Липатов Ю. С., Керча Ю. Ю., Сергеева Л. М. Структура и свойства полиуретанов. Киев: Наукова думка, 1970. 279 с.
24. Кольцов Н. И., Ефимов В. А. Полиуретаны // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 9. С. 31–36.
25. Композиционные материалы на основе полиуретанов / под ред. Дж. М. Бюиста. М.: Химия, 1982. 240 с.
26. Токарев А. В. Технология регенерации отходов сегментированных полиуретанов: дис. канд. техн. наук: 05.17.06. СПб, 2007. 115 с.
27. Зонненшайн М. Ф. Полиуретаны: состав, свойства, производство, применение: пер. с англ. СПб: Профессия, 2018. 576 с.
28. Мирный М. Мировой рынок полиуретана составит \$74 млрд к 2022 году // MPlast.by: информационно-аналитический портал. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-rynok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/> (дата обращения: 21.08.2019).
29. Куркин А. И., Надришина Э. М., Хакимуллин Ю. Н., Палютин Ф. М. Применение полиуретановых материалов в строительстве // Вестник Казанского технологического университета. 2006. № 2. С. 160–161.
30. Пальга Р. Б. Полиуретан – вечно молодой и востребованный в свои 80 лет // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. 2018. № 2. С. 4–8.
31. Лиман У. Полиуретаны: производство, потребление, применение // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. 2015. № 6. С. 30–39.
32. Буркин А. Н., Матвеев К. С., Смелков В. К., Солтовец Г. Н. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов. Витебск: ВГТУ, 2001. 173 с.
33. Домброу Б. А. Полиуретаны / пер. с англ. М. И. Рогайлина, А. С. Фрейдина; под ред. А. А. Благодравовой. М.: Госхимиздат, 1961. 154 с.
34. Никитина Л. Л., Гаврилова О. Е. Перспективные полимерные материалы в производстве обуви // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 15. С. 190–194.
35. Сфера применения термопластичных полиуретанов открывает новые горизонты // Plastinfo.ru, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/676/> (дата обращения: 31.03.2021).
36. Абзалилова Л. Р. Традиционные и инновационные материалы в промышленности синтетических каучуков в России и мире: учебное пособие. Казань: КНИТУ, 2013. 148 с.
37. Карабанов П. С., Жихарев А. П., Белгородский В. С. Полимерные материалы для деталей низа обуви: учебное пособие для студентов вузов. М.: КолосС, 2008. 167 с.
38. Обзор рынка термопластичных полиуретанов в России // Евразийский химический рынок. 2017. № 1. С. 2–17 [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/62146652-Polimery-obzor-rynka-termoplastichnyh-poliuretanov-polivinilkarbazol-novye-polimery-neorganicheskie-produkty-krymskiy-sodovyy-novye-realii.html> (дата обращения: 30.03.2021).
39. Никитина Л. Л., Гарипова Г. И., Гаврилова О. Е. Полиуретаны в производстве обуви // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 22. С. 59–61.
40. Никитина Л. Л., Гаврилова О. Е. Полиуретановые подошвы // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 22. С. 56–58.
41. Гарипова Г. И., Фатхуллина Л. Р., Коваленко Ю. А. Современные полимерные материалы для низа обуви // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 23. С. 92–94.
42. Гимадидинов Р. Н. Современные полиуретановые материалы в обувной промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 15. С. 139–140.
43. Фомченкова Л. Н. Современные полимерные материалы для низа обуви // Кожевенно-обувная промышленность. 2009. № 4. С. 25–30.
44. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. 3-е изд., перераб. М.: Химия, 1981. 608 с.
45. Майер-Вестус У. Полиуретаны. Покрытия, клеи и герметики / пер. с англ. Л. Н. Машляковского, В. А. Бурмистрова. М.: Пэйн-Медиа, 2009. 399 с.
46. Тимофеев А. А., Радюк А. Н., Шаповалов В. М., Буркин А. Н., Зотов С. В. Отходы полиуретанов: проблемы и перспективы рециклинга // Нефтехимия-2019: материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16–18 сентября 2019 г. Минск: БГТУ, 2019. С. 172–175.
47. Радюк А. Н., Буркин А. Н. Использование отходов пенополиуретанов в производстве деталей низа обуви // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 1 (229). С. 11–16.
48. Касперович О. М., Петрушеня А. Ф., Альховик М. В. Исследование влияния введения вторичного полиуретана на свойства термопластичных композиций // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2018. № 1 (205). С. 5–8.
49. Петрова Г. Н., Перфилова Д. Н., Старостина И. В., Сапего Ю. А. Исследование путей совмещения полиуретановых термопластов с

- фторполимерами // Труды ВИАМ. 2019, № 7 (79). С. 12–25.
50. Казусик Я. П. Исследование смесей на основе вторичных полиуретанов // Наука – шаг в будущее : тезисы докладов XIV студенческой научно-практической конференции факультета технологии органических веществ, Минск, 30 ноября – 4 декабря 2020 г. Минск : БГТУ, 2020. С. 60.
  51. Гордон Грэфф. Переработка полиуретана: «замкнуть круг» // newchemistry.ru: информационно-аналитический портал. 2006 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=786](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=786) (дата обращения: 31.03.2021).
  52. Особенности переработки полиуретанов // studwood.ru: учебные материалы онлайн. 2017. [Электронный ресурс]. URL: [https://studwood.ru/1707645/tovarovedenie/osobennosti\\_pererabotki\\_poliuretanov](https://studwood.ru/1707645/tovarovedenie/osobennosti_pererabotki_poliuretanov) (дата обращения: 29.03.2021).
  53. Полиуретаны: утилизация и переработка отходов // newchemistry.ru: информационно-аналитический портал. 2006 [Электронный ресурс]. URL: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=501](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=501) (дата обращения: 02.11.2020).
  54. Глоба А. И., Прокопчук Н. Р. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в производстве пластических масс : учеб.-метод. пособие для студентов вузов. Минск : БГТУ, 2014. 122 с.
  55. Simon D., Borreguero A. M., Lucas A. de, Gutierrez C., Rodriguez J. F. Sustainable Polyurethanes: Chemical Recycling to Get It // Environmental chemistry of pollutants and wastes / eds.: Jiménez E., Cabanas B., Lefebvre G. Berlin : Springer, 2015, pp. 229–260.
  56. Datta J., Wloch M. Recycling of polyurethanes // Polyurethane Polymers: Blends and Interpenetrating Polymer Networks / eds.: Thomas S., Datta J., Reghunathan A., Haponiuk J. Amsterdam : Elsevier, 2017, pp. 323–358.
  57. Романов Д. А. Вторичные полиолы на основе отходов литьевых полиуретанов: дис. канд. хим. наук : 02.00.06. Казань, 1999. 101 с.
  58. Садыкова Л. Ш. Утилизация полиуретановых отходов методом аминлиза [Электронный ресурс]. URL: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2007/23/Chemistry/sadykova\\_lsh.doc.pdf](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2007/23/Chemistry/sadykova_lsh.doc.pdf) (дата обращения: 21.03.2019).
  59. Буркин А. Н., Матвеев К. С., Смелков В. К. Переработка твердых отходов обувных предприятий г. Витебска : монография. Витебск : ВГТУ, 2000. 118 с.
  60. Шаповалов В. М., Гольдаде В. А., Зотов С. В., Овчинников К. В., Буркин А. Н., Соколова Н. М., Борозна В. Д., Радюк А. Н. Перспективные материалы для деталей низа обуви // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2019) : тезисы докладов Международной научной конференции, Гомель (Беларусь), 27–30 июня 2017 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2017. С. 106.
  61. Тимофеев А. А., Радюк А. Н. Композиционные материалы на основе отходов полиуретанов // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2019) : тезисы докладов международной научной конференции, Гомель (Беларусь), 25–28 июня 2019 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2019. С. 120.
  62. Тимофеев А. А., Радюк А. Н., Буркин А. Н., Зотов С. В., Шаповалов В. М. Перспективы модифицирования вторичных полиуретанов и их смесей // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2019 : материалы всероссийской конференции с международным участием, Воронеж, 07–08 октября 2019 г. Воронеж : ВГУИТ, 2019. С. 233–234.
  63. Тимофеев А. А., Шаповалов В. М. Рецептурно-технологические аспекты целевого модифицирования вторичного полиуретана // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 80–87.

## References

1. Suvorova A. I., Tyukova I. S. *Uchebno-metodicheskiy kompleks distsipliny «Vtorichnaya pererabotka polimerov i sozdanie ekologicheskoi chistykh polimernykh materialov»* [Educational and methodological complex of the discipline “Recycling of polymers and the creation of environmentally friendly polymer materials”]. Available at: <http://hdl.handle.net/10995/1575> (accessed 02.11.2020).
2. Pesetskiy S. S., Myshkin N. K. Polimernye kompozity mnogofunktsional'nogo naznacheniya: perspektivy razrabotki i primeneniya v Belarusi [Polymer composites for multifunctional purposes: prospects for development and application in Belarus]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2016, vol. 2, no. 4, pp. 6–29.
3. Shapovalov V. M., Grigor'ev A. Ya. Retsikling i utilizatsiya mnogokomponentnykh polimernykh sistem na osnove vtorichnykh termoplastov (obzor) [Recycling and disposal of multicomponent polymer systems based on secondary thermoplastics (review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 3, pp. 6–19.
4. Bazunova M. V., Prochukhan Yu. A. Sposoby utilizatsii otkhodov polimerov [Methods for recycling waste polymers]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2008, vol. 13, no. 4, pp. 875–885.
5. Zaynullin Kh. N., Abdrakhmanov R. F., Ibatullin U. G., Minigazimov I. N., Minigazimov N. S. *Obrashchenie s otkhodami proizvodstva i potrebleniya*. [Production and consumption waste management]. Ufa : Dialog Publ., 2005. 292 p.
6. Latysh E. Statistika mirovogo proizvodstva i potrebleniya polimerov po dannym EEC [Statistics of world production and consumption of polymers according to the EEC] (2015). Available at: <https://mplast.by/novosti/2015-08-11-statistika-mirovogo-proizvodstva-i-potrebleniya-polimerov-po-dannym-eeek/> (accessed 02.11.2020).
7. Avilov A. K. Analiz rosta polimernykh otkhodov v respublike Belarus' i stranakh mira [Analysis of the growth of polymer waste in the Republic of Belarus and the countries of the world]. *Tezisy dokladov 55-y yubileynoy konferentsii aspirantov, magistrantov i studentov BGUIR «Elektronnyye sistemy i tekhnologii»* [Abstracts of the 55th anniversary conference of graduate students, undergraduates and students of the BSUIR “Electronic systems and technologies”]. Minsk, 2019, pp. 406.
8. Volodina D. A., Azarova S. V., Peregudina E. V. Retsikling otkhodov plastmass [Recycling of waste plastics]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2015, no. 11 (91), pp. 535–537.
9. Ivanovskiy S. K., Bakhaeva A. N., Zheryakova K. V., Ishkuvatova A. R. K voprosu pererabotki polimernykh kompozitsionnykh materialov [On the issue of processing polymer composite materials]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2014, no. 12-5, pp. 592–595.
10. Zezin A. B. Polimery i okruzhayushchaya sreda [Polymers and the environment]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros Educational Journal], 1996, no. 2, pp. 57–64.
11. Rodionov A. I., Klushin V. N., Torocheshnikov N. S. *Tekhnika zashchity okruzhayushchey sredy* [Environmental technology]. Moscow : Khimiya Publ., 1989. 512 p.
12. Shapovalov V. M., Tartakovskiy Z. L. *Mnogokomponentnye polimernye sistemy na osnove vtorichnykh materialov* [Multicomponent polymer systems based on secondary materials]. GOMEL' : IMMS NANB Publ., 2003. 262 p.
13. Klinkov A. S., Belyaev P. S., Sokolov M. V. *Utilizatsiya i vtorichnaya pererabotka polimernykh materialov* [Disposal and recycling of polymeric materials]. Tambov : TGTU Publ., 2005. 80 p.
14. Abramov V. V., Chalaya N. M. Organizatsionno-tekhnicheskie aspekty obrashcheniya s polimernymi otkhodami [Organizational and technical aspects of polymer waste management]. *Polimernye materialy. Izdelya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymer materials. Products, equipment, technology], 2020, no. 2, pp. 40–45.
15. *Vtorichnaya pererabotka plastmass* [Recycling of plastics]. Ed. La Mantiya F. Saint-Petersburg : Professiya Publ., 2007. 400 p.
16. Al'khovik M. V., Kasperovich O. M., Petrushenya A. F. Smesevye kompozitsii s ispol'zovaniem vtorichnogo poliuretana [Mixed compositions using recycled polyurethane]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of Industrial Production], 2017, no. 3, pp. 14–17.
17. Pererabotka poliuretana i penopoliuretana (PPU) [Recycling of polyurethane and polyurethane foam (PPU)]. (2020). Available at:

- <http://novator-tk.ru/pererabotka-poliuretana-i-penopoliuretana-ppu/> (accessed: 30.03.2021).
18. Kasperovich O. M., Petrushenya A. F., Lenartovich L. A., Lyubimov A. G., Konovod T. A. Vozmozhnosti retsiklinga vtorichnogo poliuretana [Recycling options for recycled polyurethane]. *materialy dokladov 83-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov «Tekhnologiya organicheskikh veshchestv»* [Materials of reports of the 83rd scientific and technical conference of the teaching staff, research workers and graduate students "Technology of organic substances"]. Minsk : BGTU Publ., 2019, pp. 74.
  19. Rayt P., Kamming A. *Poliuretanovye elastomery* [Polyurethane elastomers]. Leningrad : Khimiya Publ., 1973. 304 p.
  20. Saunders Dzh., Frish K. *Khimiya poliuretanov* [Polyurethane chemistry]. Moscow : Khimiya Publ., 1968. 470 p.
  21. Mazurin, V. L. Poliuretan kak konstruksionnyy material XXI veka [Polyurethane as a structural material of the XXI century]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University], 2013, no. 2 (171), pp. 165–170.
  22. Bulatov G. A. *Poliuretany v sovremennoy tekhnike* [Polyurethanes in modern technology]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1983. 272 p.
  23. Lipatov Yu. S., Kercha Yu. Yu., Sergeeva L. M. *Struktura i svoystva poliuretanov* [Structure and properties of polyurethanes]. Kiev : Navukova dumka Publ., 1970. 279 p.
  24. Kol'tsov N. I., Efimov V. A. Poliuretany [Polyurethanes]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros Educational Journal], 2000. vol. 6, no. 9, pp. 31–36.
  25. *Kompozitsionnye materialy na osnove poliuretanov* [Composite materials based on polyurethanes]. Ed. Dzh. M. Byuista. Moscow : Khimiya Publ., 1982. 240 p.
  26. Tokarev A. V. Tekhnologiya regeneratsii otkhodov segmentirovannykh poliuretanov. Diss. kand. tekhn. nauk [Technology of regeneration of segmented polyurethane waste. PhD eng. sci. diss.]. Saint-Peterburg, 2007. 115 p.
  27. Zonnenshayn M. F. *Poliuretany: sostav, svoystva, proizvodstvo, primenenie* [Polyurethanes: composition, properties, production, application]. Saint-Petersburg : Professiya Publ., 2018. 576 p.
  28. Mirnyy M. Mirovoy rynek poliuretana sostavit \$74 mlrd k 2022 godu [The global polyurethane market will be \$ 74 billion by 2022] (2016). Available at: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-rynok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/> (accessed 21.08.2019).
  29. Kurkin A. I., Nadrshina E. M., Khakimullin Yu. N., Palyutin F. M. Primenenie poliuretanovykh materialov v stroitel'stve [The use of polyurethane materials in construction]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2006, no. 2, pp. 160–161.
  30. Palyga R.B. Poliuretan – vечно molodoy i vostrebovanny v svoi 80 let [Polyurethane - forever young and in demand in its 80s]. *Polimernye materialy. Izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymer materials. Products, equipment, technology], 2018, no. 2, pp. 4–8.
  31. Liman U. Poliuretany: proizvodstvo, potreblenie, primenenie [Polyurethanes: production, consumption, application]. *Polimernye materialy. Izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymer materials. Products, equipment, technology], 2015, no. 6, pp. 30–39.
  32. Burkin A. N., Matveev K. S., Smelkov V. K., Soltovets G. N. Obuvnye materialy iz otkhodov penopoliuretanov [Shoe materials from waste polyurethane foam]. Vitebsk : VGTU Publ., 2001, 173 p.
  33. Dombrou B. A. Poliuretany [Polyurethanes]. Moscow : Goskhimizdat Publ., 1961. 154 p.
  34. Nikitina L. L., Gavrilova O. E. Perspektivnye polimernye materialy v proizvodstve obuvi [Promising polymeric materials in the manufacture of footwear]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2012, vol. 15, no. 15, pp. 190–194.
  35. Sfera primeneniya termoplastichnykh poliuretanov otkryvaet novye gorizonty [The field of application of thermoplastic polyurethanes opens up new horizons] (2019). Available at: <https://plastinfo.ru/information/articles/676/> (accessed 31.03.2021).
  36. Abzalilova L.R. *Traditsionnye i innovatsionnye materialy v promyshlennosti sinteticheskikh kauchukov v Rossii i mire: uchebnoe posobie* [Traditional and innovative materials in the synthetic rubber industry in Russia and the world]. Kazan' : KNITU Publ., 2013. 148 p.
  37. Karabanov P. S., Zhikharev A. P., Belgorodskiy V. S. *Polimernye materialy dlya detaley niza obuvi* [Polymer materials for shoe bottom parts]. Moscow : KolosS Publ., 2008. 167 p.
  38. Obzor rynka termoplastichnykh poliuretanov v Rossii [Market overview of thermoplastic polyurethanes in Russia]. Available at: <https://docplayer.ru/62146652-Polimery-obzor-rynka-rynka-termoplastichnykh-poliuretanov-polivinilkarbazol-novye-polimery-neorganicheskii-produkty-krymskiy-sodovyy-novye-realii.html> (accessed 30.03.2021).
  39. Nikitina L. L., Garipova G. I., Gavrilova O. E. Poliuretany v proizvodstve obuvi [Polyurethanes in the manufacture of footwear]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 22, pp. 59–61.
  40. Nikitina L. L., Gavrilova O. E. Poliuretanovye podoshvy [Polyurethane soles]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 22, pp. 56–58.
  41. Garipova G. I., Fatkhullina L. R., Kovalenko Yu. A. Sovremennye polimernye materialy dlya niza obuvi [Modern polymeric materials for the bottom of shoes]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 23, pp. 92–94.
  42. Gimaditdinov R. N. Sovremennye poliuretanovye materialy v obuvnoy promyshlennosti [Modern polyurethane materials in the shoe industry]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 15, pp. 139–140.
  43. Fomchenkova L. N. Sovremennye polimernye materialy dlya niza obuvi [Modern polymeric materials for the bottom of shoes]. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'* [Leather and footwear industry], 2009, no. 4, pp. 25–30.
  44. Lebedev N. N. *Khimiya i tekhnologiya osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza* [Chemistry and technology of basic organic and petrochemical synthesis]. Moscow : Khimiya Publ., 1981. 608 p.
  45. Mayer-Vestus U. *Poliuretany. Pokrytiya, klei i germetiki* [Polyurethanes. Coatings, adhesives and sealants]. Moscow : Peynt-Media Publ., 2009. 399 p.
  46. Timofeenko A. A., Radyuk A. N., Shapovalov V. M., Burkin A. N., Zotov S. V. Otkhody poliuretanov: problemy i perspektivy retsiklinga [Waste polyurethanes: problems and prospects for recycling]. *Materialy II Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo i investitsionnogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke «Neftekhimiya-2019»* [Materials II International Scientific and Technical and Investment Forum on Chemical technologies and oil and gas processing "Petrochemistry-2019"]. Minsk : BGTU Publ., 2019, pp. 172–175.
  47. Radyuk A. N., Burkin A. N. Ispol'zovanie otkhodov penopoliuretanov v proizvodstve detaley niza obuvi [Use of polyurethane foam waste in the production of shoe bottoms]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. 2: Chemical technologies. Biotechnology. Geoecology], 2020, no. 1 (229), pp. 11–16.
  48. Kasperovich O. M., Petrushenya A. F., Al'khovik M. V. Issledovanie vliyaniya vvedeniya vtorichnogo poliuretana na svoystva termoplastichnykh kompozitsiy [Study of the influence of the introduction of secondary polyurethane on the properties of thermoplastic compositions]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. 2: Chemical technologies. Biotechnology. Geoecology], 2018, no. 1 (205), pp. 5–8.
  49. Petrova G. N., Perfilova D. N., Starostina I. V., Sapego Yu. A. Issledovanie putey sovmeshcheniya poliuretanovykh termoplastov s ftorpolimerami [Investigation of ways of combining polyurethane thermoplastics with fluoropolymers]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2019,

- no. 7 (79), pp. 12–25.
50. Kazusik Ya. P. Issledovanie smesey na osnove vtorichnykh poliuretanov [Investigation of mixtures based on secondary polyurethanes]. *Tezisy dokladov XIV studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakul'teta tekhnologii organicheskikh veshchestv «Nauka – shag v budushchee»* [Abstracts of the XIV student scientific-practical conference of the Faculty of Technology of Organic Substances “Science – a step into the future”]. Minsk : BGTU Publ., 2020, pp. 60.
51. Gordon Greff. Pererabotka poliuretana: «zamknut' krug» [Recycling polyurethane: “close the circle”] (2006). Available at: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=786](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=786) (accessed 31.03.2021).
52. Osobennosti pererabotki poliuretanov [Features of polyurethane processing] (2017). Available at: [https://studwood.ru/1707645/tovarovedenie/osobennosti\\_pererabotki\\_poliuretanov](https://studwood.ru/1707645/tovarovedenie/osobennosti_pererabotki_poliuretanov) (accessed 29.03.2021).
53. Poliuretany: utilizatsiya i pererabotka otkhodov [Polyurethanes: waste disposal and recycling] (2006). Available at: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=501](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=501) (accessed 02.11.2020).
54. Globa A. I., Prokopchuk N. R. *Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii v proizvodstve plasticheskikh mass* [Resource and energy saving technologies in the production of plastics]. Minsk : BGTU Publ., 2014. 122 p.
55. Simon D., Borreguero A. M., Lucas A. de, Gutierrez C., Rodriguez J. F. Sustainable Polyurethanes: Chemical Recycling to Get It. *Environmental chemistry of pollutants and wastes*. Eds.: Jiménez E., Cabanas B., Lefebvre G. Berlin : Springer, 2015, pp. 229–260.
56. Datta J., Wloch M. Recycling of Polyurethanes. *Polyurethane Polymers: Blends and Interpenetrating Polymer Networks*. Eds.: Thomas S., Datta J., Reghunathan A., Haponiuk J. Amsterdam : Elsevier, 2017, pp. 323–358.
57. Romanov D. A. Vtorichnye polioli na osnove otkhodov lit'evykh poliuretanov. Diss. kand. khim. nauk [Secondary polyols based on waste cast polyurethanes. PhD chem. sci. diss.]. Kazan', 1999. 101 p.
58. Sadykova L. Sh. Utilizatsiya poliuretanovykh otkhodov metodom aminoliza [Utilization of polyurethane waste by aminolysis] (2007). Available at: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2007/23/Chemistry/sadykova\\_lsh.doc.pdf](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2007/23/Chemistry/sadykova_lsh.doc.pdf) (accessed 21.03.2019).
59. Burkin A. N., Matveyev K. S., Smelkov V. K. *Pererabotka tverdykh otkhodov obuvnykh predpriyatiy g. Vitebska* [Processing of solid waste of Shoe enterprises of Vitebsk]. Vitebsk : VGTU Publ., 2000. 118 p.
60. Shapovalov V. M., Gol'dade V. A., Zotov S. V., Ovchinnikov K. V., Burkin A. N., Sokolova N. M., Borozna V. D., Radyuk A. N. Perspektivnye materialy dlya detaley niza obuvi [Promising materials for shoe bottom details]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya» (POLIKOMTRIB-2017)* [Abstracts of the International Scientific Conference “Polymer Composites and Tribology” (POLYKOMTRIB-2017)]. Gomel' : IMMS NANB, 2017, pp. 106.
61. Timofeenko A. A., Radyuk A. N. Kompozitsionnye materialy na osnove otkhodov poliuretanov [Composite materials based on polyurethane waste]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya» (POLIKOMTRIB-2019)* [Abstracts of the International Scientific Conference “Polymer Composites and Tribology” (POLYKOMTRIB-2019)]. Gomel' : IMMS NANB, 2019, pp. 120.
62. Timofeenko A. A., Radyuk A. N., Burkin A. N., Zotov S. V., Shapovalov V. M. Perspektivy modifitsirovaniya vtorichnykh poliuretanov i ikh smesey [Prospects for the modification of secondary polyurethanes and their mixtures]. *Materialy vsrossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy i innovatsionnye resheniya v khimicheskoy tekhnologii» (PIRKhT-2019)* [Materials of the all-Russian conference with international participation “Problems and innovative solutions in chemical technology” (PIRCHT-2019)]. Voronezh : VGUIT Publ., 2019, pp. 233–234.
63. Timofeenko A. A., Shapovalov V. M. Retsepturno-tekhnologicheskie aspekty tselevogo modifitsirovaniya vtorichnogo poliuretana [Recipe and Technological Aspects of Target Modification of Secondary Polyurethane]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies.], 2021, vol. 7, no. 3, pp. 80–87.
- 64.