

Техническая информация

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86>

УДК 621.763

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ И РЕЦИКЛИНГА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Ф. КУДИНА⁺, К. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь

Цель работы — анализ методов утилизации отходов полимерных композиционных материалов (ПКМ), оценка состояния и перспектив их утилизации и рециклинга в Республике Беларусь.

Представлены данные о содержании вторичных материальных ресурсов в твердых коммунальных отходах и распределении их по видам в Республике Беларусь за 2021 год.

Рассмотрены основные нормативные правовые акты по порядку сбора, переработке и утилизации отходов на территории Европейского Союза и в Республике Беларусь и проанализированы системы управления отходами. Рассмотрена система обращения с отходами в Республике Беларусь. Приведены данные об основных международных компаниях, таких как «Adidas» (Германия), «Unilever» (Великобритания), «P&G» (США), «Danone» (Франция), которые активно инвестируют в развитие методов утилизации с целью получения вторичного сырья. Приведены основные компании Республики Беларусь, занимающиеся рециклингом полимерных композиционных материалов — открытое акционерное общество «Белвторполимер» (г. Гродно) и общество с ограниченной ответственностью «РеПлас-М» (г. Могилев).

Систематизированы данные о наиболее перспективных методах утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов, дана их оценка с точки зрения энергосбережения, ресурсосбережения и экологичности. Показано, что приоритетным направлением в системе обращения с отходами, является их повторное использование. В качестве наиболее эффективного метода рециклинга применяется механический. Он же будет основным при переработке отходов в ближайшем будущем. Перспективным также является радиационный метод, оказывающий при воздействии незначительное влияние на характеристики ряда наполнителей, в частности минеральных и углеродных.

Рекомендовано при разработке полимерных композиционных материалов на основе полиолефинов выбирать модификаторы и наполнители, оказывающие минимальное вредное воздействие на окружающую среду при переработке во вторичное сырье.

Ключевые слова: вторичные материальные ресурсы, полиолефины, твердые коммунальные отходы, утилизация, рециклинг, компостирование, экология, безопасность.

DISPOSAL AND RECYCLING METHODS POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

E. F. KUDINA⁺, K. V. YEFIMCHYK

Belarusian State University of Transport, Kirov St., 34, 246653, Gomel, Belarus

The purpose of the work is to analyze the methods of recycling waste polymer composite materials (PCM), assess the state and prospects for their disposal and recycling in the Republic of Belarus.

The data on the content of secondary material resources in municipal solid waste and their distribution by type in the Republic of Belarus for 2021 are presented.

The main regulatory legal acts on the procedure for the collection, processing and disposal of waste in

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: kudina_mpri@tut.by

the territory of the European Union and the Republic of Belarus are considered and the waste management systems are analyzed. The system of waste management in the Republic of Belarus is considered. Data are provided on the main international companies such as "Adidas" (Germany), "Unilever" (Great Britain), "P&G" (USA), "Danone" (France) which are actively investing in the development of recycling methods in order to obtain secondary raw material. The main companies of the Republic of Belarus involved in the recycling of polymer composite materials are given "Belvtorpolymer" (Grodno) and "RePlas-M" (Mogilev).

Data on the most promising methods of utilization and recycling of polymer composite materials are systematized, their assessment is given in terms of energy saving, resource saving and environmental friendliness. It is shown that the priority direction in the waste management system is their reuse. The most efficient recycling method is mechanical. It will also be the main one in the recycling of waste in the near future. The radiation method is also promising, which has an insignificant effect on the characteristics of a number of fillers, in particular, mineral and carbon ones.

It is recommended when developing polymer composite materials based on polyolefins, to choose modifiers and fillers that have a minimal harmful effect on the environment when processed into secondary raw materials.

Keywords: secondary material resources, polyolefins, municipal solid waste, utilization, recycling, composting, ecology, safety.

Поступила в редакцию 28.02.2022

© Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик, 2022

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
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Кудина Е. Ф., Ефимчик К. В. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 4. С. 77–86. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86>

Citation sample:

Kudina E. F., Efimchik K. V. Metody utilizatsii i retsiklinga polimernykh kompozitsionnykh materialov [Disposal and recycling methods polymeric composite materials]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 4, pp. 77–86. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86>

Литература

1. Поддубный А. А., Ермолович О. А., Ефимчик К. В., Громыко Ж. Н. Функциональные композиционные материалы на основе полиолефинов и жидких отходов нефти // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2019. Вып. 2 (39). С. 33–36.
2. Ramirez A., George B. Plastic recycling and waste reduction in the hospitality industry: Current challenges and some potential solutions // Economics, Management and Sustainability, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 6–20. doi:10.14254/jems.2019.4-1.1
3. В Беларуси в 2020 году сбор ВМР увеличился на 3,2% // БЕЛТА : официальный сайт Белорусского телеграфного агентства. 31 марта 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belta.by/economics/view/v-belarusi-v-2020-godu-sbor-vmr-uvelichilsja-na-32-435177-2021> (дата обращения: 06.02.2022).
4. Петров А. В., Дориомедов М. С., Скрипачев С. Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. Вып. 8. С. 62–73.
5. Никуличев Ю. Управление отходами. Опыт Европейского союза : аналитический обзор. М. : ИНИОН РАН, 2017. 55 с.
6. Каменик Л. Л. Генеральные направления стратегии управления отходами // Экономика и управление. 2013. Вып. 12 (98). С. 62–65.
7. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj> (дата обращения: 09.02.2022).

8. Ясовеев М. Г., Какарека Э. В., Шевцова Н. С., Шершнев О. В. Промышленная экология. Минск : БГПУ, 2010. 220 с.
9. Об утверждении Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : [принята Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567] : офиц. текст : по состоянию на 17 февраля 2021 г. 34 с.
10. Об утверждении Концепции создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения : [принята Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 октября 2019 г. № 715]: офиц. текст: по состоянию на 17 февраля 2021 г. 16 с.
11. Орлова А. И., Ермаков Д. А. Разработка экологичной упаковки для пищевых продуктов // Пищевая индустрия. 2021. Вып. 1. С. 18–20. doi: 10.24412/cl-34900-2021-1-18-20
12. Мухиддинов Б. Ф., Шодиев А. Ф. Установки для переработки отходов пластмасс и получение композиции на их основе // Journal of advances in engineering technology, 2021, is. 2 (4), pp. 40–46. doi: 10.24412/2181-1431-2021-2-40-46
13. Хватов А. В. Структура, свойства и биодеструкция композиций на основе полиэтилена и природных добавок : дис. канд. хим. наук : 02.00.04. М., 2009. 115 с.
14. Лаптев А. Б., Голубев А. В., Киреев Д. М., Николаев Е. В. К вопросу биодеструкции полимерных материалов в природных средах (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. Вып. 9. С. 100–106.
15. В поисках пластика // Greenpeace.ru : сайт Российского отделения Greenpeace. 2020. Февраль [Электронный ресурс]. URL: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/03/Greenpeace-plastic-pollution-report.pdf> (дата обращения: 02.02.2022).
16. Федорова А. В. Использование ресурсосберегающих процессов при переработке полиэтилена на примере мусороперерабатывающего предприятия ООО «ПОВТОР» г. о. Тольятти : бакалаврская работа : 20.03.01. Тольятти, 2016. 59 с.
17. Хрунов В. А. Анализ существующих способов переработки отходов полимерных материалов // Информационная среда вуза. 2017. Вып. 1. С. 424–426.
18. Потапова Е. В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. 2018. Т. 28, № 4. С. 535–544. doi: 10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544
19. Воробьева Е. В., Попов А. А. Биоразлагаемые композиты на основе ископаемых видов сырья. Часть I. Стратегии получения, характерные свойства и развитие рынка (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 6–24. doi: 10.32864/polymmattech-2022-8-2-6-24
20. Шамсутдинова Р. М. Проблема полимерных отходов // Студенческий научный форум-2014. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014006527> (дата обращения: 08.02.2022).
21. Утилизация и рециклинг полимерных отходов. Процессы и оборудование // Современные технологии производства. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://extxe.com/7426/utilizacija-i-recikling-polimernyh-othodov-processy-i-oborudovanie> (дата обращения: 03.02.2022).
22. Петров А. В., Дориомедов М. С., Скрипачев С. Ю. Технологии утилизации композиционных материалов // Композитный мир : научно-популярный журнал. 2021. 21 марта [Электронный ресурс]. URL: <https://compositeworld.ru/articles/tech/id60570795937fe40013900a9c> (дата обращения: 08.02.2022).
23. Лонг В. К. Рециклинг отходов производства изделий авиационной техники на базе ПКМ с целью регенерации углеродных волокон и получения активных углей : дис. канд. техн. наук : 02.00.04. М., 2020. 163 с.
24. Фесенко Р. С. Рециклинг как механизм эколого-экономической сбалансированности регионального развития // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. № 5. С. 161–169.
25. Чигарева И. А. Исследование особенностей и путей повышения эффективности утилизации твердых полимерных отходов: магистерская дис. : 20.04.01. Тольятти, 2017. 90 с.
26. Приставка Е. Загрязнение пластиком: как полностью уничтожить полимер, из которого делают буквально все // Хайтэк : информационный новостной ресурс. 2021. 5 июля [Электронный ресурс]. URL: <https://hightech.fm/2021/07/05/plastic-destroy> (дата обращения: 09.02.2022).
27. Термокатализ превращает полимерные отходы в жидкое топливо // rcc : новости и обзоры нефтегазохимической отрасли. 2002. [Электронный ресурс]. URL: <http://rcc.ru/article/termokataliz-prevraschaet-polimernye-othody-v-zhidkoe-toplivo-1518?ysclid=laz8hsk8o5561012363> (дата обращения: 06.02.2022).
28. Шайдурова Г. И., Шевяков Я. С., Васильев И. Л., Гатина Е. Р., Куликова Ю. В. Оценка возможности утилизации углепластиков химическим методом // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 3. С. 135–140. doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-3-131-140
29. Небукин В. О. Капсулирование дисперсных материалов в аппаратах с псевдооживленным слоем : дис. канд. техн. наук : 05.17.08. Иваново, 2019. 132 с.
30. Куликова Ю. В., Тукачева К. О. Анализ технологий утилизации полимерных композиционных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2017. № 4. С. 103–122. doi: 10.15593/24111678/2017.04.08
31. Планковский С. И., Гарин В. О., Цегельник В. Е. Современные методы утилизации полимерных композиционных материалов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2011. № 51. С. 186–192.
32. Тукачева К. О., Ильиных Ю. В., Слюсарь Г. В. Термические методы утилизации и уничтожения полимерных композиционных материалов на основе углеродных волокон // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 12. С. 51–61. doi: 10.5281/zenodo.2253382
33. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0076&from=EN> (дата обращения: 02.02.2022).
34. Гунич С. В., Янчуковская Е. В. Анализ процессов пиролиза отходов производства и потребления // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. № 1. С. 86–93.
35. Пиролиз и перспективы газификации твердых топлив // Центр-эко : информационный новостной ресурс. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://centez.ru/pererabotka/piroliz-buryh-uglej.html> (дата обращения: 06.02.2022).
36. Мисюченко В. М. Переработка промышленных отходов и разработка документов для предприятия. Минск : ИВЦ Минфина, 2018. 99 с.
37. Тенденции развития предприятия. Общие сведения // ОАО «Белвторполимер» : официальный сайт. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <http://belvtorpolimer.by/about/info> (дата обращения: 06.02.2022).
38. ООО «РепЛас-М» // СЭЗ могилев. 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://fezmogilev.by/rezidenty/ooo-replas-m> (дата обращения: 06.02.2022).

References

1. Poddubnyy A. A., Ermolovich O. A., Efimchik K. V., Gromyko Zh. N. Funktsional'nye kompozitsionnye materialy na osnove poliolefinov i zhidkikh otkhodov nefi [Functional composite materials based on polyolefins and liquid oil waste]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport* [Bulletin of BelSUT: Science and transport], 2019, is. 2 (39), pp. 33–36.
2. Ramirez A., George B. Plastic recycling and waste reduction in the hospitality industry: Current challenges and some potential solutions.

- Economics, Management and Sustainability*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 6-20. doi:10.14254/jems.2019.4-1.1
3. V Belarusi v 2020 godu sbor VMR uvelichilsya na 3,2% [Quantity of SMR in Belarus increased by 3.2% in 2020]. Available at: <https://www.belta.by/economics/view/v-belarusi-v-2020-godu-sbor-vmr-uvelichilsya-na-32-435177-2021> (accessed 06 February 2022).
 4. Petrov A. V., Doriomedov M. S., Skripachev S. Yu. Tekhnologii utilizatsii polimernykh kompozitsionnykh materialov (obzor) [Technologies for recycling polymer composite materials (review)]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2015, is. 8, pp. 62–73.
 5. Nikulichev Yu. *Upravlenie otkhodami. Opyt Evropeyskogo soyuza : analiticheskiy obzor* [Waste management. The experience of the European Union: an analytical review]. Moscow : INION RAN Publ., 2017. 55 p.
 6. Kamenik L. L. General'nye napravleniya strategii upravleniya otkhodami [General directions of the waste management strategy]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2013, is. 12 (98), pp. 62–65.
 7. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj> (accessed 06 February 2022).
 8. Yasoveev M. G., Kakareka E. V., Shevtsova N. S., Shershnev O. V. *Promyshlennaya ekologiya* [Industrial ecology]. Minsk : BGPU Publ., 2010. 220 p.
 9. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 28.07.2017 № 567 «Ob utverzhdenii Natsional'noy strategii po obrashcheniyu s tverdyimi kommunal'nymi otkhodami i vtorichnymi material'nymi resursami v Respublike Belarus' na period do 2035 goda» [Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated July 28, 2017 No. 567 "National strategy for the management of municipal solid waste and secondary material resources in the Republic of Belarus for the period up to 2035"]. Minsk, 2021. 34 p.
 10. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 23.10.2019 № 715 «Ob utverzhdenii Kontseptsii sozdaniya ob'ektov po sortirovke i ispol'zovaniyu tverdykh kommunal'nykh otkhodov i poligonov dlya ikh zakhoroneniya» [Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated October 23, 2019 No. 715 "On approval of the Concept for the creation of facilities for sorting and using municipal solid waste and landfills for their disposal"]. Minsk, 2021. 16 p.
 11. Orlova A. I., Ermakov D. A. Razrabotka ekologichnoy upakovki dlya pishchevykh produktov [Development of eco-friendly food packaging]. *Pishcheyaya industriya* [Food industry], 2021, is. 1, pp. 18–20. doi: 10.24412/cl-34900-2021-1-18-20
 12. Mukhiddinov B. F., Shodieva A. F. Ustanovki dlya pererabotki otkhodov plastmass i polucheniye kompozitsii na ikh osnove [Installations for the processing of waste plastics and obtaining a composition based on them]. *Journal of advances in engineering technology*, 2021, is. 2 (4), pp. 40–46. doi: 10.24412/2181-1431-2021-2-40-46
 13. Khvatov A. V. Struktura, svoystva i biodestruktsiya kompozitsiy na osnove polietilena i prirodnykh dobavok. Diss. kand. khim. nauk. [Structure, properties and biodegradation of compositions based on polyethylene and natural additives. PhD chem. sci. diss.]. Moscow, 2009. 115 p.
 14. Laptev A. B., Golubev A. V., Kireev D. M., Nikolaev E. V. K voprosu biodestruktsii polimernykh materialov v prirodnykh sredakh (obzor) [On the issue of biodegradation of polymeric materials in natural environments (review)]. *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2019, is. 9, pp. 100–106.
 15. V poiskakh plastika [Looking for plastic] (2020). Available at: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/03/Greenpeace-plastic-pollution-report.pdf> (accessed 02 February 2022).
 16. Fedorova A. V. Ispol'zovanie resursosberegayushchikh protsessov pri pererabotke polietilena na primere mu-soroprerabatyvayushchego predpriyatiya OOO «POVTOR» g. o. Tol'yatti : bakalavrskaya rabota [The use of resource-saving processes in the processing of polyethylene on the example of the waste processing enterprise POVTOR LLC. Bachelor's thesis]. Tol'yatti, 2016. 59 p.
 17. Khrunov V. A. Analiz sushchestvuyushchikh sposobov pererabotki otkhodov polimernykh materialov . [Analysis of existing methods for processing waste polymer materials]. *Informatsionnaya sreda vuza* [University information environment], 2017, is. 1, pp. 424–426.
 18. Potapova E. V. Problema utilizatsii plastikovykh otkhodov [The problem of recycling plastic waste]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Baikal State University], 2018, vol. 28, no. 4, pp. 535–544. doi: 10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544
 19. Vorob'eva E. V., Popov A. A. Biorazlagaemye kompozity na osnove iskopaemykh vidov syr'ya. Chast' I. Strategii polucheniya, kharakternye svoystva i razvitiye rynka (obzor) [Biodegradable composites based on fossil types of raw materials. Part I. Obtaining strategies, characteristics and market development (review)]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 2, pp. 6–24. doi: 10.32864/polymmattech-2022-8-2-6-24
 20. Shamsutdinova R. M. Problema polimernykh otkhodov [The problem of polymer waste] (2016). Available at: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014006527> (accessed 08 February 2022).
 21. Utilizatsiya i retsikling polimernykh otkhodov. Protsessy i oborudovanie [Utilization and recycling of polymer waste. Processes and equipment] (2022). Available at: <https://extxe.com/7426/utilizatsiya-i-retsikling-polimernykh-othodov-processy-i-oborudovanie> (accessed 03 February 2022).
 22. Petrov A. V., Doriomedov M. S., Skripachev S. Yu. Tekhnologii utilizatsii kompozitsionnykh materialov [Technologies for recycling composite materials] (2021). Available at: <https://compositeworld.ru/articles/tech/id60570795937fe40013900a9c> (accessed 08 February 2022).
 23. Long V. K. Retcikling otkhodov proizvodstva izdeliy aviatsionnoy tekhniki na baze PKM s tsel'yu regeneratsii uglerodnykh volokon i polucheniya aktivnykh ugley. Diss. kand. tekhn. nauk [Recycling of aviation equipment production wastes based on PKM for the purpose of regeneration of carbon fibers and production of activated carbons. PhD. eng. sci. diss.]. Moscow, 2020. 163 p.
 24. Fesenko R. S. Retcikling kak mekhanizm ekologo-ekonomicheskoy sbalansirovannosti regional'nogo razvitiya [Recycling as a mechanism for ecological and economic balance of regional development]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast], 2011, no. 5, pp. 161–169.
 25. Chigareva I. A. Issledovanie osobennostey i putey povysheniya effektivnosti utilizatsii tverdykh polimernykh otkhodov. Magisterskaya diss. [Study of features and ways to improve the efficiency of recycling solid polymer waste. Master's diss.]. Tol'yatti, 2017. 90 p.
 26. Pristavka E. Zagryaznenie plastikom: kak polnost'yu unichtozhit' polimer, iz kotorogo delayut bukval'no vse [Plastic pollution. How to completely destroy the polymer from which literally everything is made] (2021). Available at URL: <https://hightech.fm/2021/07/05/plastic-destroy> (accessed 09 February).
 27. Termokataliz prevrashchaet polimernye otkhody v zhidkoe toplivo [Thermal catalysis turns polymer waste into liquid fuel] (2002). Available at URL: <http://rcc.ru/article/termokataliz-prevraschaet-polimernye-othody-v-zhidkoe-toplivo-1518?ysclid=laz8hsk8o5561012363> (data obrashcheniya: 06.02.2022).
 28. Shaydurova G. I., Shevyakov Ya. S., Vasil'ev I. L., Gatina E. R., Kulikova Yu. V. Otsenka vozmozhnosti utiliza-tsii ugleplastikov khimicheskimi metodami [Evaluation of the possibility of recycling carbon plastics by the chemical method]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2018, vol. 8, no. 3, pp. 135–140. doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-3-131-140
 29. Nebukin V. O. Kapsulirovanie dispersnykh materialov v apparatakh s psevdoozhizhennym sloem. Diss. kand. tekhn. nauk [Encapsulation of particulate materials in fluidized bed apparatus. PhD eng. sci. diss.]. Ivanovo, 2019. 132 p.
 30. Kulikova Yu. V., Tukacheva K. O. Analiz tekhnologiy uti-lizatsii polimernykh kompozitsionnykh materialov [Analysis of recycling technologies for polymer composite materials]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology],

- 2017, no. 4, pp. 103–122. doi: 10.15593/24111678/2017.04.08
31. Plankovskiy S. I., Garin V. O., Tsegel'nik V. E. Sovremennye metody utilizatsii polimernykh kompozitsionnykh materialov [Modern methods of utilization of polymer composite materials]. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii* [Open information and computer integrated technologies], 2011, no. 51, pp. 186–192.
 32. Tukacheva K. O., Il'nykh Yu. V., Slyusar' G. V. Termicheskie metody utilizatsii i unichtozheniya polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove uglerodnykh volokon [Thermal Methods for Recycling and Destruction of Polymer Composite Materials Based on Carbon Fibers]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of science and practice], 2018, vol. 4, no. 12, pp. 51–61. doi: 10.5281/zenodo.2253382
 33. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste (2020). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0076&from=EN> (accessed 02 February 2022).
 34. Gunich S. V., Yanchukovskaya E. V. Analiz protsessov piroliza otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Analysis of the processes of pyrolysis of production and consumption waste]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2016, no. 1, pp. 86–93.
 35. Piroliz i perspektivy gazifikatsii tverdykh topliv [Pyrolysis and prospects for gasification of solid fuels] (2022). Available at: <https://centez.ru/pererabotka/piroliz-buryh-uglej.html> (accessed 06 February 2022).
 36. Misyuchenko V. M. *Pererabotka promyshlennykh otkhodov i razrabotka dokumentov dlya predpriyatiya* [Processing of industrial waste and development of documents for the enterprise]. Minsk : IVTs Minfina Publ., 2018. 99 p.
 37. OAO «Belvtorpolimer» [Belvtorpolymer JSC] (2021). Available at: <http://belvtorpolimer.by/about/info> (accessed 08 February 2022).
 38. OOO «RePlas-M» [RePlas-M LLC] (2019). Available at: <https://fezmogilev.by/rezidenty/ooo-replas-m> (accessed 08 February 2022).
-