

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В СЕКТОРАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

ORGANIZATION AND MANAGEMENT IN SECTORS OF NATIONAL ECONOMY

УДК 334.025:678

Л. Ю. Пшебельская, А. В. Ледницкий

Белорусский государственный технологический университет

ЭФФЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

В современном мире пластиковые массы широко применяются в сферах производства и потребления. С момента изобретения современных полимеров потребление пластика выросло в 20 раз и по прогнозам в ближайшие 20 лет еще удвоится. Около 6% мирового потребления нефти используется для производства различных видов пластмасс. Более 90% видов пластмасс производятся из первичного ископаемого топлива. При этом срок службы любого изделия в какой-то момент заканчивается, и его приходится использовать вторично, обезвреживать или захоранивать.

В настоящее время управление отходами нацелено на снижение их количества и обеспечение того, что произведенные отходы будут перерабатываться способами, не приводящими к деградации окружающей среды. Предотвращение или минимизация образования отходов позволяет экономить средства на проведение мероприятий по обращению с отходами, а также приводит к повышению производительности и снижению удельного использования ресурсов. Жизненный цикл пластика значительно превышает его срок службы. Уменьшение количества отходов может быть достигнуто за счет вторичного использования материалов, производства из отходов новых изделий. Именно поэтому на сегодняшний день актуален вопрос разработки новых и модернизация старых способов утилизации.

Рассмотрены источники образования пластиковых отходов, проанализирован отечественный и зарубежный опыт развития технологий в этой области (захоронение, сжигание, пиролиз, сольволиз, грануляция, агломерация, экструзия, раздельный сбор мусора, компостирование). Выявлены факторы, сдерживающие сокращение образования отходов. Предложены рекомендации, направленные на увеличение вовлечения образующихся пластиковых отходов в хозяйственный оборот.

Ключевые слова: пластиковые отходы, источники образования, технологии переработки, вторичные материальные ресурсы, загрязнение окружающей среды, утилизация, эффективность.

Для цитирования: Пшебельская Л. Ю., Ледницкий А. В. Эффективные направления переработки пластиковых отходов // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2021. № 2 (250). С. 89–94.

L. Yu. Pshebelskaya, A. V. Lednitskiy
Belarusian State Technological University

EFFECTIVE DIRECTIONS OF PLASTIC WASTE RECYCLING

The plastic masses are widely used in the fields of production and consumption in the modern world. The consumption of the plastic has increased by 20 times since the invention of modern polymers. This consumption is going to double in the next 20 years, according to the forecasts. About 6% of world oil consumption is used for the production of various types of plastics. More than 90% of plastics are produced from the primary fossil fuel. At the same time, the service life of any product at some point ends, and it has to be used a second time, neutralized or buried.

The waste management is currently aimed at the reducing of the amount of waste and ensuring that the waste will be processed in ways that do not lead to the environmental degradation. Minimization of waste

generation saves the funds for waste management activities, as well as leads to the increased productivity and reduced specific use of resources. The life cycle of plastic significantly exceeds its service time. That is why the issue of developing the new methods of recycling is of current interest today.

The sources of plastic waste generation are considered, the domestic and foreign experience of technology development in this area (burial, incineration, pyrolysis, solvolysis, granulation, agglomeration, extrusion, separate garbage collection, composting) is analyzed. The factors that restrain the reduction of waste generation have been identified. The recommendations to increase the involvement of generated plastic waste into the economic turnover have been proposed.

Key words: plastic waste, sources of education, recycling technologies, secondary material resources, environmental pollution, utilization, efficiency.

For citation: Pshebelskaya L. Yu., Lednitskiy A. V. Effective directions of plastic waste recycling. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2021, no. 2 (250), pp. 89–94 (In Russian).

Введение. Крупномасштабное производство и использование синтетических пластических масс началось ориентировочно с середины XX в. По настоящее время произведено более 9 млрд т пластмасс. Продолжающийся стремительный рост производства пластмасс превосходит большинство других искусственных материалов. При этом по данным аналитических обзоров 10–15% образовавшихся пластиковых отходов перерабатывается, до 15% термически обрабатывается (сжигание, пиролиз) и около 80% скапливается на свалках [1]. Вместе с тем ни один из используемых видов пластика не поддается биологическому разложению, и, соответственно, наблюдается увеличение объема накопленных отходов, что несет угрозу для окружающей среды.

Основная часть. Обращение с отходами – это деятельность, которая связана с образованием отходов, их сбором, разделением по видам, удалением, хранением, захоронением, перевозкой, обезвреживанием и (или) использованием. Обращение с отходами в Республике Беларусь регулируется Законом Республики Беларусь «Об обращении с отходами» [2] и иными нормативными правовыми актами и документами [3].

Переработка пластика может оказаться дорогостоящим процессом, не всегда эффективным. Большинство существующих технологий не позволяют сохранять свойства пластических отходов, т. е. пластик не может полноценно использоваться вновь. Разные виды пластика требуют разной переработки.

В соответствии с разработанной международной классификацией отходов, пригодных для переработки, каждый вид пластика имеет свои обозначения: PET (ПЭТ) – полиэтилентерефталат, который часто используется для изготовления пластиковой тары, бутылок; HDPE (ПНД) – полиэтилен высокой плотности низкого давления, легко поддающийся вторичной переработке; LDPE (ПВД) – полиэтилен низкой плотности высокого давления, который в основном служит для производства различных видов

пленок; PVC (ПВХ) – поливинилхлорид, из которого делают пленку для пищевых продуктов; PP (ПП) – полипропилен, активно используемый в пищевой промышленности, подвергаемый вторичной переработке; PS (ПС) – полистирол, из которого производят упаковочные элементы (пенопласт), который повторно практически не перерабатывают, так как он выделяет ядовитые вещества в атмосферу; OTHER – один из самых опасных видов пластика, включающий в себя несколько химических веществ [4]. В настоящее время база синтетических полимерных материалов достигает до 100 тысяч наименований. Успешнее всего в мире перерабатывают отходы ПЭТ и ПП.

Пластиковые отходы – это малоопасные или практически неопасные виды отходов. Большинство из них относятся, согласно классификатору, принятому постановлением Еврокомиссии, к IV и V классам опасности [5]. Однако накопление отходов пластика наносит серьезный ущерб окружающей среде. Производство полимеров предполагает большое количество воды, годовой выброс в атмосферу углекислого газа достигает порядка 400 млн т. Среднее время разложения пластмассовых изделий, созданных по разным технологиям, колеблется от 100 до 700 лет. Соответственно, актуальной проблемой является выбор эффективного метода утилизации отходов как с учетом экологического подхода, так и экономического, так как использование отходов пластика позволяет экономить первичное сырье, воду и электроэнергию. При этом разработка технологий зависит от характеристик первичного полимера, времени использования и эксплуатационных характеристик.

Чтобы пластиковые отходы превратились во вторичное сырье и из него возможно было производить различные изделия, нужно, чтобы отходы прошли несколько обязательных стадий, таких как сортировка (по качеству, цвету, степени загрязнения), дробление, агломерация (спекание) или гранулирование.

Таблица 1

Наличие, образование и движение отходов производства в Республике Беларусь в 2019 г. [10]

Показатели	Наличие на начало года	Образовалось за год	Использовано, передано за год	Удалено отходов					Наличие на конец года
				всего	из них				
					на объекты хранения	на объекты захоронения	на хранение на территории предприятия	на обезвреживание	
Отходы производства, млн т	1207,69	60,84	18,43	42,99	41,24	0,97	0,59	0,18	1248,94
Отходы пластмасс, резиносодержащие отходы, всего, тыс. т	56,50	240,06	193,70	63,85	0,03	46,01	15,48	2,34	54,52
В том числе:									
– затвердевшие отходы пластмасс	14,61	170,00	127,61	48,75	0,03	42,08	4,34	2,31	12,62
– шламы и эмульсии полимерных материалов	0,02	0,05	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02
– отходы стекловолокнистых материалов и стеклопластиков	0,37	4,55	2,06	2,52	0,00	2,35	0,17	0,00	0,51
– резиносодержащие отходы (включая изношенные шины)	41,50	65,46	64,03	12,53	0,00	1,53	10,97	0,03	41,37

В настоящее время при выработке стратегии управления отходами предлагаются учеными следующие подходы. С одной стороны, это позиция сокращения образования отходов до полного исключения использования некоторых видов товаров, с другой стороны, различные направления переработки пластиковых отходов:

- вторичное использование изделий из пластика;
- рециклинг механическими или физико-химическими методами;
- сжигание на мусоросжигающих заводах;
- захоронение на полигонах.

Однако ни один из указанных способов не приводит к полному удалению пластиковых отходов из окружающей среды [6–8].

В Евросоюзе структура обращения с отходами (всех видов) на 2018 г. выглядела следующим образом: рециклинг и компостирование (47%), переработка в энергию (28%), захоронение (23%). Страной – лидером по вторичной переработке отходов является Германия (67%). Больше всего отходов попадает на свалки в таких государствах, как Мальта (86%), Греция (80%), Кипр (76%), Румыния (74%) [9].

Объем образующихся в Республике Беларусь отходов в целом, в том числе пластических, представлен в табл. 1. Из табл. 1 видно, что в республике за анализируемый период наблюдается незначительный рост образования отходов производства в натуральном выражении (на 5%). При этом отходы пластмасс в общем объеме отходов занимают около 5%. В структуре данной группы отходов наибольший удельный

вес приходится на резиносодержащие отходы (73,5%) и затвердевшие отходы пластмасс (25,8%). При этом в течение года наблюдается положительная тенденция, когда большая часть образующихся отходов идет на переработку (по всем группам более 80%).

При этом ежегодно в Республике Беларусь разрабатываются мероприятия по сокращению объемов образования и (или) накопления отходов производства. Так, в 2019 г. число таких мероприятий составило в целом 1750, большинство из которых это приобретение, изготовление контейнеров для сбора отходов и вторичных материальных ресурсов – 670, совершенствование технологических процессов, приводящих к уменьшению объема образования отходов, – 340, создание объекта хранения, мест временного хранения – 230 и др. [11].

Существенную долю отходов производства и потребления генерируют страны с развитой экономикой. Данные о наиболее крупных компаниях в мире, производящих пластиковые отходы, представлены в табл. 2. Одиннадцать компаний расположены в Азии, четыре – в Европе, три – в США, одна – в Латинской Америке и одна – на Ближнем Востоке [13]. Объемы пластиковых отходов, производимых 20 крупнейшими мировыми компаниями, составляют более половины из 130 млн т одноразового пластика, выброшенного в 2019 г.

КНР является наиболее крупным покупателем пластиковых отходов (ежегодная генерация по видам представлена на рисунке), однако с 2018 г. произошел спад в импорте, что связано

с постепенным ужесточением Пекином национального законодательства в области экологии, в том числе касающегося ввоза в страну отходов из пластмасс.

Таблица 2

Индекс производителей пластиковых отходов [12]

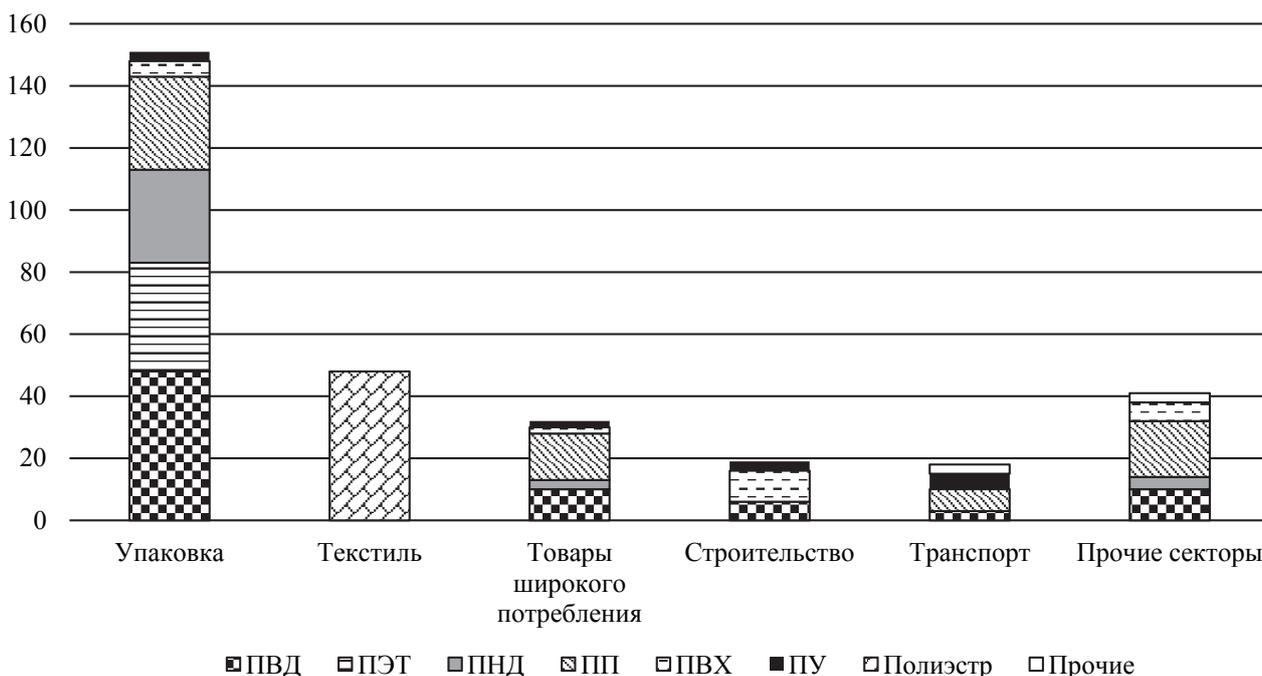
Рейтинг	Компания – производитель полимеров	Производство полимеров	Вклад в образование отходов полимеров
1	ExxonMobil (США)	11,2	5,9
2	Dow (США)	9,3	5,6
3	Sinopec (США)	11,6	5,3
4	Indorama Ventures (Таиланд)	5,1	4,6
5	Saudi Aramco (Саудовская Аравия)	9,5	4,3

На современном этапе индустрия пластмасс вынуждена адаптироваться к новым условиям: в мае 2020 г. 186 стран приняли меры по отслеживанию и контролю за экспортом пластиковых отходов в развивающиеся страны, а более 350 компаний приняли на себя обязательство исключить использование одноразового пластика к 2025 г. [15]. Однако мировой объем отходов уже таков, что этих усилий может оказаться недостаточно. На Западе темпы переработки замедляются, а в развивающихся странах использование упаковки быстро растет при низком уровне переработки.

Заключение. Вторичная переработка пластиков возникла как насущная необходимость

борьбы с последствиями загрязнения экосистемы. Массовое производство и использование изделий из полимерных материалов стало возможным благодаря низкой стоимости, легкости, высокой технологичности, устойчивости к биофакторам, способности к комбинированию пластику. Однако экономические и технические преимущества полимеров оказались не всегда востребованы и делают сложной или невозможной ассимиляцию этих материалов природой. Чтобы выработать оптимальные решения экологических проблем, созданных огромным и непрерывным ростом производства и использования пластика и пластиковых отходов, следует тщательно изучить все вероятные преимущества и недостатки направлений их утилизации. Основными проблемами утилизации полимерных отходов по-прежнему остаются их извлечение из общей массы твердых бытовых отходов и сортировка по видам, снижение токсичности продуктов переработки, сравнительно высокая сложность и низкая рентабельность некоторых методов переработки.

Крупные химические компании называют наиболее перспективной технологией химическую переработку пластиковых отходов, которые могут быть переработаны в высококачественные полимеры. В проекты по совершенствованию технологий пиролиза и деполимеризации ими планируется инвестировать миллиарды долларов. Бизнес-экспертами прогнозируется рост инвестиций с 48 млрд долл. США в настоящее время до 162 млрд долл. США к 2030 г. [16].



Общее количество пластикового мусора по категориям продукции за 2015 г., млн т [14]

Экономически эффективным называют также производство композиционных материалов для отходов потребления, позволяющих получать вторичные ресурсы и производить из них востребованные материалы и изделия. С точки зрения ученых-экологов снижение воздействия на природную среду возможно лишь единственным способом – путем сокращения потребления пластика.

Для решения проблем утилизации пластиковых отходов необходимо выработать стратегию управления отходами, подразумевающую принятие нормативных документов, регламентирующих и стимулирующих утилизацию пластиковых отходов, обмен опытом в области инновационных технологий утилизации, проведение совместных научных исследований.

Список литературы

1. Geyer R., Jambeck J., Lavender Law K. Production, use, and fate of all plastics ever made // *Science Advances*. 2017. No. 3 (7). URL: https://www.researchgate.net/publication/318567844_Production_use_and_fate_of_all_plastics_ever_made (date of access: 02.09.2021).
2. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь от 20.07.2007 № 271-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Минск, 2007. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10700271> (дата обращения: 08.09.2021).
3. Пшебельская Л. Ю., Ледницкий А. В. Обращение с коммунальными отходами: тенденции и перспективные направления // *Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление*. 2020. № 2. С. 111–115.
4. Агрегированные статистические данные об отходах по республике, областям, г. Минску, административным районам, отдельным городам, по видам экономической деятельности, по группам, видам и классам опасности отходов производства; а также данные о выполнении мероприятий по сокращению объемов образования и (или) накопления отходов производства за 2019 год. URL: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2020.pdf> (дата обращения: 04.09.2021).
5. Об объемах сбора и использования вторичных материальных ресурсов, размерах и направлениях расходования средств, полученных от производителей и поставщиков в 2019 г.: отчет ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов». URL: vtoperator.by.pdf (дата обращения: 04.09.2021).
6. TOP 100 polymer producers. URL: <https://www.minderoo.org/plastic-waste-makers-index/data/indices/producers/> (date of access: 03.09.2021).
7. Исследование: 20 компаний производят 55% мировых пластиковых отходов. URL: <https://incruasia.ru/news/worlds-plastic-waste/> (дата обращения: 04.09.2021).
8. Waste to energy sustainability roadmap. URL: <https://docviewer.yandex.by/view> (date of access: 06.09.2021).
9. Михайлова К. В. Современные технологии по переработке пластмассовых отходов // *Молодой ученый*. 2016. № 9.1 (113.1). С. 49–50.
10. European list of wastes – commission decision of 3 May 2000 2000/532/EC. URL: <https://docviewer.yandex.by/view/0/?page> (date of access: 07.09.2021).
11. Потапова Е. В. Проблема утилизации пластиковых отходов // *Известия Байкальского государственного университета*. 2018. Т. 28, № 4. С. 535–544.
12. Pachepsky Y., Hill R. L. Scale and skaling in soils // *Geoderma*. 2017. Vol. 287. P. 4–30.
13. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В. Н. Шахова [и др.] // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 11-2. С. 320–325.
14. Tullo A. Companies are placing big bets on plastics recycling. Are the odds in their favor? URL: <https://cen.acs.org/environment/sustainability/Companies-placing-big-bets-plastics/98/i39> (date of access: 08.09.2021).
15. Переработка пластмасс: оценка рынка и перспективы. Ежемесячное аналитическое обозрение // *Наука за рубежом*. 2018. № 75. URL: https://www.issras.ru/global_science_review (дата обращения: 30.08.2021).
16. Oliver F. Wallis Plastic recycling is a myth: what really happens to your rubbish? URL: <https://www.theguardian.com/environment/2019/aug/17/plastic-recycling-myth-what-really-happens-your-rubbish> (date of access: 10.09.2021).

References

1. Geyer R., Jambeck J., Lavender Law K. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017, no. 3 (7). Available at: https://www.researchgate.net/publication/318567844_Production_use_and_fate_of_all_plastics_ever_made (accessed 02.09.2021).
2. *Ob obrashchenii s otkhodami: Zakon Respubliki Belarus' ot 20.07.2007, no. 271-Z* [On the waste management: Law of the Republic of Belarus, 20.07.2007, no. 271-Z]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10700271> (accessed 08.09.2021).
3. Pshebelskaya L. Yu., Lednitskiy A. V. Municipal waste management: trends and prospective directions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 5, Economics and Management, 2020, no. 2, pp. 111–115 (In Russian).

4. *Agregirovannyye statisticheskiye dannyye ob otkhodakh po respublike, oblastyam, g. Minsky, administrativnym rayonam, ot del'nym gorodam, po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti, po gruppam, vidam i klassam opasnosti otkhodov proizvodstva; a takzhe dannyye o vypolnenii meropriyatiy po sokrashcheniyu ob'yemov obrazovaniya i (ili) nakopleniya otkhodov proizvodstva za 2019 god* [Aggregated statistical data on waste in the republic, regions, Minsk city, administrative districts, individual cities, by types of economic activity, by groups, types and hazard classes of industrial wastes; as well as data on the implementation of measures to reduce the volume of production and (or) accumulation of industrial waste in 2019]. Available at: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2020.pdf> (assessed 04.09.2021).

5. *Ob ob'yemakh sbora i ispol'zovaniya vtorichnykh material'nykh resursov, razmerakh i napravleniyakh raskhodovaniya sredstv, poluchennykh ot proizvoditeley i postavshchikov v 2019 g.: otchet GU "Operator vtorichnykh material'nykh resursov"* [On the volumes of collection and use of secondary material resources, the amount and directions of spending of funds received from manufacturers and suppliers in 2019: report of the State Institution "Operator of secondary material resources"]. Available at: vtoperator.by.pdf (assessed 04.09.2021).

6. TOP 100 polymer producers. Available at: <https://www.minderoo.org/plastic-waste-makers-index/data/indices/producers/> (accessed 03.09.2021).

7. *Issledovaniye: 20 kompaniy proizvodyat 55% mirovykh plastikovykh otkhodov* [Research: 20 companies generate 55% of the world's plastic waste]. Available at: <https://incrossia.ru/news/worlds-plastic-waste/> (accessed 04.09.2021).

8. Waste to energy sustainability roadmap. Available at: <https://docviewer.yandex.by/view> (accessed 06.09.2021).

9. Mikhaylova K. V. Modern technologies for the processing of plastic waste. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2016, no. 9.1 (113.1), pp. 49–50 (In Russian).

10. European list of wastes – commission decision of 3 May 2000 2000/532/EC. Available at: <https://docviewer.yandex.by/view/0/?page> (accessed 07.09.2021).

11. Potapova E. V. The problem of recycling plastic waste. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Baikal State University], 2018, vol. 28, no. 4, pp. 535–544 (In Russian).

12. Pachepsky Y., Hill R. L. Scale and skaling in soils. *Geoderma*, 2017, vol. 287, pp. 4–30.

13. Shakhova V. N., Vorob'yeva, Vitkalova I. A., Torlova A. S., Pikalov E. S. Modern technologies for processing polymer waste and problems of their use. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high technologies], 2016, no. 11-2, pp. 320–325 (In Russian).

14. Tullio A. Companies are placing big bets on plastics recycling. Are the odds in their favor? Available at: <https://cen.acs.org/environment/sustainability/Companies-placing-big-bets-plastics/98/i39> (accessed 08.09.2021).

15. Plastics Processing: Market Assessment and Prospects. Monthly analytical review. *Nauka za rubezhom* [Science abroad], 2018, no. 75. Available at: https://www.issras.ru/global_science_review (accessed 30.08.2021).

16. Oliver F. Wallis Plastic recycling is a myth: what really happens to your rubbish? Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2019/aug/17/plastic-recycling-myth-what-really-happens-your-rubbish> (accessed 10.09.2021).

Информация об авторах

Пшебельская Людмила Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры организации производства и экономики недвижимости. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: psh-ly@inbox.ru

Ледницкий Андрей Викентьевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и управления на предприятиях. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ledniz@inbox.ru

Information about the authors

Pshebelskaya Lyudmila Yur'yevna – PhD (Economics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Production Organization and Real Estate Economics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: psh-ly@inbox.ru

Lednitskiy Andrey Vikent'yevich – PhD (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Enterprise Economy and Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ledniz@inbox.ru

Поступила 16.09.2021