

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ЭКОНОМИКИ И СТРАТЕГИИ NATIONAL INDUSTRIAL ECONOMICS AND STRATEGIES

Научная статья

Research article

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-2-1305>

Алгоритм решения одной из задач экономики замкнутого цикла – возврат в производство твердых коммунальных отходов из пластика

А.Б. Крельберг  

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация

 ecoprom.misis@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ данных, опубликованных Росстат по России в целом и по г. Москве, представленных в форме федерального статистического наблюдения 2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления». Результаты анализа данных, приведенных в отчете Росстат, показали, что положение дел по России в целом и ее столице с раздельным сбором мусора, его обработкой и сортировкой с дальнейшей утилизацией, включающей рециклинг, нельзя назвать удовлетворительным. Исследование причин и определения путей улучшения сложившейся ситуации проведено на примере г. Москвы. Это связано с тем, что данные Росстата отражают усредненную картину по стране, так как природные условия, особенности проживания и, соответственно, состояние обращения с твердыми коммунальными отходами в различных регионах страны имеют существенные отличия и зависят от специфики каждого из регионов. Рассмотрены пути решения имеющихся проблем, связанных с потребностью в улучшении ситуации в обращении с твердыми коммунальными отходами в г. Москве. Для исследования выбран самый сложный с точки зрения роста объемов захоронения отходов сегмент – неперерабатываемые твердые коммунальные отходы, пластики, которые разделены на два класса: перерабатываемые и неперерабатываемые пластиковые отходы. В перерабатываемой части выделен наиболее объемный при сборе отходов и вполне пригодный для рециклинга вид твердых коммунальных отходов из пластика – полиэтиленовая упаковка (ПЭТ-тара). Рассчитана доля объема ПЭТ-тары в образованных твердых коммунальных отходах, доказана экономическая и экологическая эффективность вторичной переработки упаковки и ее возврата в производство, предложены оптимальные пути сбора и поставки отходов на вторичную переработку (рециклинг). По полученным в проведенном исследовании результатам разработан алгоритм возврата в производство твердых коммунальных отходов в ПЭТ-таре.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, раздельный сбор, обработка, сортировка, утилизация, рециклинг, пластики, перерабатываемые твердые коммунальные отходы, неперерабатываемые твердые коммунальные отходы

Для цитирования: Крельберг А.Б. Алгоритм решения одной из задач экономики замкнутого цикла – возврат в производство твердых коммунальных отходов из пластика. *Экономика промышленности*. 2024;17(2):161–171. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-2-1305>

Algorithm for solving one of the tasks of the closed-loop economies – how to return municipal solid waste made of plastic to production

A.B. Krelberg  

National University of Science and Technology “MISIS”,
4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation

 ecoprom.misis@mail.ru

Abstract. The article deals with the analysis of data published by the Federal Service for State Statistics (Rosstat) regarding the whole Russia and regarding Moscow and presented in the form of the federal statistical observation No. 2-TP (waste) “Information on the formation,

processing, utilization, neutralization, disposal of waste production and consumption". The results of the analysis of the data adduced in the Rosstat report show that the situation with the separate waste collection, its processing and sorting for further utilization including recycling cannot be called satisfactory in Russia and its capital city. The author chooses Moscow to study the reasons and improve the situation. This is caused by the fact that the Rosstat data depict the average picture for the country as the nature conditions, the specificities of the people's habitation and, consequently, the state of management of solid municipal waste in different regions of the country vary greatly and depend on the peculiar feature of each region. The author of the article studies the ways of solving the existing in the capital city problems connected with the need for improving the situation in the management of municipal solid waste. The most difficult segment from the viewpoint of growing volumes of waste disposal is non-rotting solid municipal waste, plastics, which are classified into two categories: recyclable and non-recyclable plastic waste. This segment has been chosen for the author's study. Within the recyclable category the polyethylene packaging (PET containers) is identified as the most voluminous when collecting waste and as quite suitable for recycling among plastic solid municipal waste. The author calculates the proportion of PET containers in the generated municipal solid waste, indicates economic and environmental efficiency of packaging recycling and its return to production, and suggests optimal ways of collecting and delivering waste for recycling. The results obtained during the study has become the basis for developing the algorithm for the return to the production of municipal solid waste in PET containers.

Keywords: municipal solid waste, separate collection, processing, sorting, utilization, recycling, plastic waste, recyclable municipal solid waste, non-recyclable municipal solid waste

For citation: Krelberg A.B. Algorithm for solving one of the tasks of the closed-loop economies – how to return municipal solid waste made of plastic to production. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2024;17(2):161–171. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-2-1305>

解决循环经济问题之一的算法——将城市固体塑料废物重返生产过程

A.B. 克列尔贝格  

国立研究型技术大学 “MISIS”, 119049, 俄罗斯联邦莫斯科市列宁斯基大街4号1栋

 ecoprom.misis@mail.ru

摘要: 文章分析了俄罗斯国家统计局公布的俄罗斯全国和莫斯科市的数据, 这些数据以联邦统计观察格式 2-TP (废物) “关于生产和消费废物的形成、处理、回收、中和、处置的信息” 呈现。对俄罗斯统计局报告中提供的数据进行分析的结果表明, 俄罗斯整体及其首都在垃圾分类收集、处理、分类和进一步处置 (包括回收利用) 方面的情况不尽令人满意。文章以莫斯科为例研究导致现状的原因和改进措施。这是因为俄罗斯统计局的数据反映的是全国的综合情况, 而全国不同地区的自然条件、人口生活特点以及城市固体废物管理状况存在很大差异, 并取决于每个地区的具体情况。研究了解决首都与改善城市固体废物管理状况有关的现有问题的方法。研究对象选为废物处理量增长方面最重要的部分——非腐烂性城市固体废物——塑料, 它分为两类: 可回收塑料废物和不可回收塑料废物。在可回收部分, 确定了由塑料制成且非常适合回收的数量最大的城市固体废物类型——聚乙烯包装 (PET 容器)。计算了 PET 容器在产生的城市固体废物中所占的比重, 指出了塑料包装回收及其重返生产过程的经济和环境效益, 并提出了收集和回收利用 (再循环) 的最佳方式。根据研究结果, 开发了一种算法, 用于将城市固体废物 PET 容器重返生产过程。

关键词: 城市固体废物、分类收集、处理、分类、回收利用、塑料、可回收城市固体废物、不可回收城市固体废物

Введение

Проблемы, связанные с переработкой отходов, требуют решения во всех странах мира. Как и в других странах, объемы генерации отходов в России неуклонно растут. Ситуация нуждается в контроле, поскольку свалки мусора в нашей

стране в настоящее время переполнены [1]. Актуальной задачей является максимально возможный возврат отходов в экономику страны [2; 3].

В России изданы законы, которые должны способствовать возвращению перерабатываемых отходов в экономику, приносить эконо-

мическую и экологическую выгоду и снижать объемы вывозимого на свалки мусора. Так, в 2019 г. Федеральным законом от 26 июля 2019 г. № 225-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» введены понятия федерального оператора по обращению с отходами I и II классов опасности, российского экологического оператора, оператора по обращению с отходами I и II классов опасности»¹. В Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ² дополнительно включена статья 13.5 о создании государственной информационной системы учета твердых коммунальных отходов, содержащая информацию об обращении с твердыми коммунальными отходами. Оператором этой системы является Минприроды России [3].

Для контроля прохождения в стране процесса обращения с отходами Приказом Росстата от 09.10.2020 № 627 (с изменениями от 13.11.2020 № 598) утверждена новая редакция формы федерального статистического наблюдения 2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, обработке,

утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления»³.

Постановлением Правительства г. Москвы от 18 июня 2019 г. № 734-ПП «О реализации мероприятий по раздельному сбору (накоплению) твердых коммунальных отходов в городе Москве» с 1 января 2020 г. в г. Москве введен раздельный сбор ТКО⁴. Для сбора на дворовых территориях установлены два вида контейнеров, синего и серого цвета. В синие контейнеры (вторсырьё) укладывают подлежащие переработке отходы – стекло, металл, пластик, макулатуру. Серые контейнеры (смешанные отходы) предназначены для неперерабатываемого сырья – пищевых и загрязненных отходов, емкостей с остатками пищи, средств личной гигиены.

В табл. 1 приведены данные за 2020–2022 гг. по объемам образованных отходов, всего, и объемам твердых коммунальных отходов (ТКО) по этапам их прохождения в России и Москве.

³ Приказ Росстата от 09.10.2010 № 627. Редакция от 13.11.2020. Федеральная служба государственной статистики. Приказ от 9 октября 2020 г. № 627 «Об утверждении Формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации федеральной службой по надзору в сфере природопользования федерального статистического наблюдения за отходами производства и потребления». Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=376732> (дата обращения: 23.10.2023).

⁴ Постановление Правительства Москвы от 18 июня 2019 г. № 734-ПП «О реализации мероприятий по раздельному сбору (накоплению) твердых коммунальных отходов в городе Москве». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/49559246/> (дата обращения: 23.10.2023).

¹ Федеральный закон от 26 июля 2019 г. № 225-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Режим доступа: <https://rg.ru/2019/07/31/azakon-dok.html> (дата обращения: 23.10.2023).

² Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 23.10.2023).

Таблица 1 / Table 1

Генерация отходов в 2020–2022 гг.

Waste generation in 2020–2022

Год	Страна, столица	Образовано отходов, всего	Твердые коммунальные отходы, млн т			
			Образовано ТКО, всего, млн т	Обработано, млн т	Утилизировано (включая рециклинг), млн т	Захоронено, млн т
2020	Россия	7,0 млрд т	48,5	18,7	1,8	36,1
	Москва	8,3 млн т	5,0	3,6	1,1	1,7
2021	Россия	8,4 млрд т	48,4	22,5	3,1	44,5
	Москва	17,2 млн т	5,2	4,4	0,9	1,2
2022	Россия	9,0 млрд т	45,9	22,4	3,0	36,8
	Москва	17,0 млн т	3,7	3,7	0,2	0,5

Источник: составлено автором с использованием отчетных данных по форме 2-ТП (отходы), сведений об образовании, обработке, утилизации отходов производства и потребления, представленных региональными операторами и операторами, осуществляющими деятельность с твердыми коммунальными отходами за 2019–2022 гг. Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 23.10.2023).

Source: compiled by the author using reporting data in form 2-TP (waste), information on the generation, processing, disposal of production and consumption waste, presented by regional operators and operators involved in activities with municipal solid waste for 2019–2022. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (accessed on 23.10.2023).

Согласно представленным в табл. 1 данным, объем образованных в России отходов, составивший в 2020 г. 7,0 млрд т, вырос в 2021 г. на 20 % – до 8,4 млрд т и в 2022 г. достиг 9,0 млрд т (на 7,1 % выше аналогичного показателя 2021 г.). Доля ТКО в общем объеме собранных в России отходов за 2020–2022 гг. составила менее одного процента: 0,7; 0,6 и 0,5 % соответственно.

Часть твердых коммунальных отходов – перерабатываемые ТКО – отправляется на обработку: «обработка отходов – предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку»⁵.

Приведенные в табл. 1 данные также показывают, что в России в 2020–2022 гг. поступило на обработку 38,6; 46,5 и 48,8 % общего объема образованных в эти годы ТКО соответственно.

Следует отметить тот факт, что ограниченные объемы переработанных в 2020–2022 гг. ТКО, составившие менее половины объемов всех собранных в России в эти годы коммунальных отходов, были связаны не только с выделенной и направленной на обработку перерабатываемой частью ТКО, но и с ограниченной суммарной мощностью перерабатывающих ТКО заводов: в России в 2020–2022 гг. этим занимались 206 заводов, рассчитанных на суммарную мощность в 23 млн т [4].

Неудовлетворительные показатели демонстрирует и этап утилизации: лишь 9,6; 13,8 и 13,4 % объемов обработанных ТКО соответственно были утилизированы: «утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация)»⁶.

Согласно представленным в табл. 1 данным, доля захороненных в России ТКО в 2020–2022 гг. была велика: 74,4; 91,9 и 80,2 %, объема образованных в эти годы ТКО соответственно.

⁵ Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2023). Статья 1. Основные понятия. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (дата обращения: 23.10.2023).

⁶ Федеральный закон от 29 декабря 2014 г. № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями). Статья 1. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/?ysclid=lvawj920ku470304593 (дата обращения: 23.10.2023).

Анализ показателей состояния обращения с твердыми коммунальными отходами в Москве

Данные табл. 1 позволяют оценить вклад г. Москвы в объем образованных в стране в 2020–2022 гг. ТКО. Долевое участие объемов ТКО, собранных в г. Москве в эти годы, по отношению к их значениям по России в целом характеризуют следующие показатели: на г. Москву в 2020–2022 гг. приходится 10,3; 10,7 и 8,1 % общих объемов образованных в России отходов соответственно. При этом общие объемы образованных в эти годы ТКО составили 5,0; 5,2 и 3,7 млн т соответственно.

Необходимо отметить, что в г. Москве, в отличие от других регионов в целом по России, отсутствуют ограничения в мощностях перерабатывающих ТКО заводов – их для переработки достаточно, и приведенные в табл. 1 данные отражают сложившуюся в столице ситуацию обращения с ТКО без влияния такого рода ограничений.

Из табл. 1 видно, что на обработку в эти годы в г. Москве поступило 3,6; 4,4 и 3,7 млн т ТКО. Долевое соотношение в процентах обработанных ТКО к общему объему образованных отходов составило 72,0; 84,6 и 100 % соответственно, т.е. на обработку поступали все большие объемы по отношению к собранным в 2020–2022 гг. ТКО. Причем в 2022 г. все образованные отходы, включая перерабатываемую (содержимое синего контейнера) и неперерабатываемую (серые контейнеры) их части, поступили на обработку. Этот крайне негативный факт свидетельствует о том, что в 2022 г. раздельный сбор мусора не дал ожидаемых результатов. Возможно, это произошло из-за некорректного разделения отходов на перерабатываемую и неперерабатываемую части жителями города или за счет объединения содержимого двух контейнеров при доставке и отгрузке ТКО.

Что касается утилизации ТКО (включая рециклинг), то по данным табл. 1 значения показателей утилизации (включая рециклинг), составившие в 2020–2022 гг. 1,1; 0,9 и 0,1 млн т, соответственно, или 30,6; 20,4 и 5,4 % объема обработанных отходов, характеризующих дальнейшее использование ТКО, в 2020–2022 гг. снижались и в натуральных единицах, и в процентном отношении.

В 2020–2022 гг. захоронено 1,7; 1,2 и 0,5 млн т, или 34,0; 23,1 и 13,5 % соответственно от общего объема образованных за этот период времени ТКО.

Проведенный в статье анализ данных, представленных в табл. 1 и характеризующих положение в отрасли обращения с ТКО в г. Москве, показывает, что для решения задач возврата в экономику столицы ТКО в настоящее время

в первую очередь необходимо *поставить цель обеспечения полноценной работы закона о раздельном сборе мусора*, внедрить его в жизнь.

О значимости процедуры раздельного сбора мусора подчеркнуто в Национальном проекте «Экология»: «Без раздельного сбора мусора трудно наладить его дальнейшую переработку. Раздельный сбор – основа начавшихся масштабных изменений в отрасли обращения с отходами»⁷. Важной задачей проекта, рассчитанного на период с 2019 до 2030 г., является преобразование всей системы обращения с ТКО, в результате которого до 2030 г. должна производиться стопроцентная домашняя сортировка твердых коммунальных отходов: «Научиться сортировать мусор сегодня может и должен каждый»⁸.

Во многих странах мира имеется большой опыт обращения с ТКО, и важно внедрить элементы этого опыта, пригодные к использованию в нашей стране, в российскую практику обращения с ТКО [5]. Международный опыт стимулирования раздельного сбора бытовых отходов проанализирован и изложен в работе М.С. Байновой [6]. А. Раксина и П. Куколев провели глубокое исследование мирового опыта сбора и сортировки отходов, собрав, сопоставив и оценив ситуацию в Германии, Франции, Италии, США, Канаде, Японии, Китае, Индии, Мексике и Бразилии [7]. С. Андреаси Басси, Т.Х. Кристенсен и А. Дамгаард описали опыт управления ТКО на примере ведущих стран Европы [8]. Таким образом, в настоящее время полностью сложилась не только необходимость, но и имеется возможность выбора и применения уже имеющегося положительного опыта обращения с ТКО.

Изучив опыт европейских стран, во многих из которых система раздельного сбора ТКО действует около 30 лет, становится ясно, что решение вопроса с эффективным выполнением требований закона о раздельном сборе ТКО не ограничивается только привлечением всех жителей г. Москвы к ручной домашней сортировке отходов, но и в контроле за качеством сортировки ТКО и правильным использованием поставленных для сбора отходов контейнеров. Такой контроль могут проводить активисты дома с привлечением делегатов от организованных экологами компаний, осуществляющих выборочные рейды,

либо осуществляться правовыми органами, причем с облагаемыми нарушителей штрафами.

В европейских странах со сложившимся опытом обращения с ТКО при невыполнении принятых условий сбора по отношению к нарушителям действуют различного рода санкции. Например, в Германии жители платят большие штрафы за невыполнение требований раздельного сбора мусора, сортировки ТКО перед его помещением в установленные для отходов контейнеры, а игнорирование разделения мусора и загрязнение природы считается уголовным преступлением^{9,10}.

Вторичное использование в производстве твердых коммунальных отходов

Серьезной проблемой развития экономики является создание экономики замкнутого цикла за счет возврата в производство перерабатываемых отходов. Это относится в равной степени и к промышленным, и к коммунальным отходам. Так, в статье А.Б. Долгушина, А.А. Цуканова и А.Д. Петрова рассмотрены вопросы перехода текстильной промышленности России на экономику замкнутого цикла: так как текстильные отходы обладают ресурсной ценностью как сырье для производства пряжи низких сортов, различных нетканых, смесовых материалов, швейной технической и обивочной ваты, производства обуви, изоляционных материалов и другими экономически эффективно возвращать текстильные отходы в промышленность, одновременно уменьшая экологическую нагрузку за счет снижения объемов их захоронения [9]. В статье Д.Ю. Савон, К.П. Колотырина и Э.С. Сахно исследованы вопросы управления проектами авторециклинга [10].

Особую роль в обращении с отходами играет их неперегнивающая часть – пластики, поэтому вторичная переработка является основным путем решения проблемы неперегнивающего пластикового загрязнения окружающего пространства.

Отношение населения к раздельному сбору пластиковых отходов характеризуют данные исследования, проведенного на основании анкетного опроса жителей и гостей Перми Е. Роженцовой, А. Салтыковой и Е. Третьяковой [11]. Выделены ключевые факторы, определяющие

⁷ Сортировать бытовые отходы – Национальные проекты. Режим доступа: <https://xn--80aarpemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/opportunities/sortirovat-bytovye-otkhody> (дата обращения: 23.10.2023).

⁸ Национальный проект «Экология». Режим доступа: <https://xn--80aarpemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/projects/ekologiya> (дата обращения: 23.10.2023).

⁹ Жвик Н. Цветные пакеты, жалобы на нарушителей и штрафы: как устроена сортировка отходов в Европе. 07.11.2022. Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/list/eco-europe/> (дата обращения: 10.01.2024).

¹⁰ Все о переработке вторсырья и переработке отходов. Сортировка мусора в разных странах: Германии, Швеции, Японии, Корее и других. Режим доступа: <https://rcycle.net/musor/razdelnyj-sbor/sortirovka-othodov-v-raznyh-stranah> (дата обращения: 10.01.2024).

поведение людей, – важность для человека той пользы, которую он несет для окружающей среды, готовность посвятить личное время мерам по ее защите и осознание экологического вреда пластиковых отходов. В среднем, при прочих равных условиях, осведомленность человека об экологической опасности пластика приводит к увеличению вероятности его участия в раздельном сборе пластика. Исследование показало, что близость контейнеров для раздельного сбора пластиковых отходов увеличивает вероятность того, что человек примет участие в раздельном сборе пластика, на 45,57 %.

Пластик нашел широкое применение при создании упаковки, причины чего достаточно полно изложены в исследовании американской Franklin Associates¹¹. В ходе исследования было изучено более 70 показателей различных упаковочных материалов для разных отраслей промышленности, проанализировано их воздействие на окружающую среду, возможность вторичной переработки и утилизации. Сравнительный анализ параметров упаковки из пластика и других материалов выявил, что пластики по сравнению с другими доступными видами упаковки – стекло, алюминий – при изготовлении и вторичной переработке показывают самый низкий углеродный след, что имеет большое значение при значительных объемах обрабатываемого сырья для производства упаковки. Самым емким источником выбросов CO₂ является стекло.

Принимая во внимание «экологическую выгоду» использования пластика в упаковке, надо иметь в виду, что пластик используется благодаря сравнительно невысоким затратам на производство и высоким эксплуатационным качествам и тому, что ему можно придавать разнообразную форму: листы, гранулы, нити и т.д. [12].

При выпуске изделий и упаковки используются следующие виды пластика¹²:

1) ПЭТ/PET (полиэтилентерефталат/polyethylene terephthalate) – при изготовлении бутылок для молочной продукции, фруктовых соков, безалкогольных напитков, растительного масла;

2) ПЭВП/HDPE (полиэтилен высокой плотности/high density polyethylene) – для упаковки шампуня, косметики, детских игрушек;

3) ПВХ/PVC (пластифицированный поливинилхлорид/polyvinyl chloride) – для создания натяжных потолков, пластиковых окон, линолеума, искусственной кожи и пр.;

4) ПЭНП/LDPE (полиэтилен низкой плотности/low density polyethylene) – мусорные баки и мешки;

5) ПП/PP (полипропилен/polypropylene) – ланч-боксы, контейнеры для еды на вынос, мороженого;

6) ПС/PS (полистирол/polystyrene) – поролоновые чашки для горячих напитков, пластиковые столовые приборы, емкости для яиц и пр.;

7) О (OTHER – прочее) – диски, линзы, защитные очки, строительные элементы из пластика.

Упаковки маркируются цифрами в треугольниках, и маркировка отвечает виду пластика [12]:

1. ПЭТ



В основном, это чистые, без наклеек, ПЭТ-бутылки, подлежащие рециклингу.

2. HDPE (ПНД)

Из этого пластика производят пакеты-майки, упаковку для продуктов питания, пластиковые ведра, лейки, элементы на детских площадках и др.

3. PVC (ПВХ)

Этот вид пластика применяется при изготовлении линолеума, различных пластиковых труб, натяжных потолков, кожанамителя, детских игрушек и пр. не может иметь много примесей и выделять вредные и опасные вещества. Несмотря на то, что есть предприятия по переработке этого типа пластика, принимают они его избирательно, главным образом от крупных магазинов (обрезки и брак).

4. LDPE (PELD, ПВД)

Из этого пластика изготавливают скотч, пленку для упаковки, пакеты для молока и кисломолочной продукции.

5. PP



Этот пластик используется при изготовлении одноразовой посуды.

¹¹ PLASTINFO. Пластиковые бутылки экологичнее, чем стеклянные и алюминиевые. 28 июня 2021. Режим доступа: https://plastinfo.ru/information/news/47695_28.06.2021/ (дата обращения: 10.01.2024).

¹² Виктус. Пластиковое загрязнение. 4 апреля 2023. Режим доступа: <https://vk.com/@victuscom-plastikoe-zagryaznenie> (дата обращения: 10.01.2024).

6. PS

Из этого пластика изготавливают одноразовую посуду.

7. OTHER – прочие пластмассы

В основном это упаковка или изделия из нескольких типов пластика, и разделить их в домашних условиях невозможно: бутылочки для кормления младенцев, мерные кухонные стаканы, чаши миксеров и блендеров.

Анализ применяемого для изготовления упаковки пластика и практика его использования в настоящее время показывают, что основным видом перерабатываемого упаковочного материала из пластика является ПЭТ. Это связано с существенными преимуществами такой упаковки, заключающимися в том, что, во-первых, она требует меньшего потребления энергии при ее производстве; во-вторых, у этой упаковки самый низкий углеродный след при условии их правильной переработки; в-третьих, собственно переработка ПЭТ-тары может быть многократной, при этом качество продукции не снижается, и характеристики вторичного ПЭТ-сырья полностью идентичны первичному, а применение рециклингового материала в производстве ПЭТ-преформ позволяет существенно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду¹³.

При производстве и потреблении упаковки из ПЭТ следует отметить такие важные качества материала, как хорошие показатели прочности на растяжение, ударная вязкость, химическая стойкость, прозрачность, технологичность и термическая стабильность. Упаковка из ПЭТ обеспечивает высокую герметичность продукции при невысокой цене.

Основываясь на этой информации, можно сказать, что вторичная переработка ПЭТ и возвращение его в производство весьма важны для экологии и экономики России. Рециклинг тонны ПЭТ требует в среднем 10% затрат на энергию и воду по сравнению с затратами на его первичное производство. Экономически выгодна и возможность использовать при переработке неограниченное число циклов [13].

Основным видом упаковки из ПЭТ, предназначенным для упаковки продуктов, является ПЭТ-бутылка. Такая упаковка для пищевой продукции имеет следующие преимущества:

– в отличие от аналогичной упаковки из стекла, ПЭТ-упаковка не только намного легче и прочнее, она инертна и не вступает в реакцию

с другими веществами, что позволяет ее использовать при упаковке пищевых продуктов, в том числе, бутылок для молочных продуктов, воды и газированных безалкогольных напитков, растительного масла;

– она обладает хорошей энергоэффективностью, заключающейся в соотношении емкости и массы, что позволяет упаковывать большую массу в меньший объем и экономно расходовать топливо для транспортировки груза, а также нужно учесть повышение энергоэффективности при применении новых технологических решений, которые дают возможность снизить массу ПЭТ-тары, например, двухлитровая ПЭТ-бутылка в 1980 г. весила 68 г, а в настоящее время от 42 до 45 г (масса стеклянных и алюминиевых бутылок значительно больше и за эти годы не изменилась);

– бутылки из ПЭТ можно использовать повторно, и при эффективном управлении отходами и их вторичной переработке объем выбросов углекислого газа в атмосферу будет снижен по отношению к первичному производству на 30–80 % [14].

Рециклинг ПЭТ-бутылок широко используется во многих странах. Так, выпускаемая в настоящее время ПЭТ-бутылка в Германии состоит почти на 30% из переработанного пластика, в Китае такие бутылки на 90–95% используют для производства волокна (рис. 1); во многих странах, внедряющих в практику принципы экономики замкнутого цикла, следуют правилам переработки «бутылка – в бутылку» (*bottle-to-bottle*)¹⁴.

В настоящее время в стране уже есть примеры производства ПЭТ-бутылки из переработанного сырья. В Московской области работает завод по переработке пластмасс «Пларус»: это завод, который использует уникальную технологию переработки ПЭТ-тары «бутылка в бутылку». Завод укомплектован оборудованием ведущих европейских производителей: SOREMA (Italy), BUHLER AG (Switzerland), RTT GmbH (Germany), TITECH GmbH (Germany), BOA (Holland) [14].

Поскольку ПЭТ-бутылка в настоящее время является наиболее широко применимым в г. Москве видом упаковки из пластика, рассчитаем, какую годовую долю в 2020–2022 гг. составил общий объем использованной за год упаковки в ПЭТ-бутылке по отношению к общему годовому объему образованных в городе ТКО.

¹³ Завод по переработке сырья «Пларус». Режим доступа: <http://plarus.ru/upload/company/plarus-presentation.pdf> (дата обращения: 10.01.2024).

¹⁴ Переработка отходов ПЭТ в России: особенности. 15.02.2023. Режим доступа: <https://reo.ru/tpost/fo5ykntox1-pererabotka-othodov-pet-v-rossii-osobenn> (дата обращения: 10.01.2024).



Рис. 1. Вторичное производство ПЭТ-бутылки в Германии и Китае

Fig. 1. Recycling of PET bottles in Germany and China

Таблица 2 / Table 2

Объем направленных жителями г. Москвы
в ТКО ПЭТ-бутылок за год, 2020–2022 гг.

Number of PET bottles sent by Moscow residents per year
as municipal solid waste, 2020–2022

Год	Насе- ление, тыс. чел.	Коли- чество домо- хозяйств, тыс. шт.	Количество ПЭТ-буты- лок за год, тыс. шт.	Объем образованных в составе ТКО ПЭТ-бутылок в год, млн т
2020	12655	5752	2099480	0,94
2021	13015	5916	2159340	0,97
2022	13104	5956	2173940	0,98

Общий объем всех поступивших за год в отходы ПЭТ-бутылок московских домохозяйств определим по следующей формуле:

$$P = p \cdot n \cdot D \cdot N, \quad (1)$$

где P – общий годовой объем ПЭТ-бутылок; p – объем одной ПЭТ-бутылки; n – количество отправленных в отходы ПЭТ-бутылок домохозяйством в день; D – число домохозяйств; N – число дней в году.

Согласно данным, полученным в результате Всероссийской переписи населения 2020 г., неоднократно используемым экспертами, средний состав семьи в настоящее время за счет достаточно большого числа одиноких жителей г. Москвы (порядка 42 %) составляет 2,2 чел. По авторской оценке, такая семья за день потребляет продукцию минимум одной ПЭТ-бутылки.

Данные за 2020–2022 гг. для расчета количества ПЭТ-бутылок, отправляемых населением г. Москвы за год в качестве ТКО, и объема образованных в составе ТКО ПЭТ-бутылок в год представлены в табл. 2.

Долю годового объема ПЭТ-бутылок в общем объеме образованных за год в г. Москве ТКО можно определить по формуле, %

$$Q = \frac{P}{S} \cdot 100, \quad (2)$$

где Q – доля объема ПЭТ-бутылок в общем объеме образованных за год ТКО, %; P – общий годовой объем ПЭТ-бутылок, млн т; S – объем образованных в течение года ТКО, млн т (см. табл. 1).

Подставив данные в соотношение (2), получим, что в 2020–2022 гг. доля годового объема ПЭТ-бутылок в общем объеме за год образованных ТКО составила в Москве 18,8; 18,6 и 26,5 %.

Долю пластиковых отходов, находящихся в синих контейнерах вторсырья, оценил оператор по обращению с отходами «ЭкоЛайн». Исследовав содержимое баков, которые обслуживает компания «ЭкоЛайн», и проанализировав собираемые в г. Москве ТКО, компания выяснила, что пластик занимает порядка 55 % объема баков для вторсырья (синих контейнеров). Основным объемом при этом составляют ПЭТ-бутылки.

Подводя итоги и учитывая возможность и экономическую и экологическую выгоду многократного использования в качестве упаковки продуктов питания ПЭТ-бутылку, простоту вторичной переработки таких отходов и существенные объемы бутылок в содержимом ТКО в г. Москве, нужно рассмотреть способы, позволяющие массово встроить отходы в виде ПЭТ-бутылок в экономику замкнутого цикла.

Оптимальные способы внедрения концепции экономики замкнутого цикла в процесс использования ПЭТ-бутылок

Существует несколько вариантов для решения проблемы возврата ПЭТ-бутылок в производство.

Первый вариант заключается в том, что на месте сбора ТКО во дворах г. Москвы для ПЭТ-бутылок ставится дополнительно еще один контейнер (условно – желтый) [11]. В этом случае, при домашней сортировке и соответствующей подготовке ПЭТ-бутылок это даст возможность:

– исключить потребность в сортировке собранных в установленный (условно – желтый) контейнер ПЭТ-бутылок, которые будут поставляться сразу непосредственно на рециклинг;

– освободить половину объема контейнеров вторичных отходов для сбора в них отличных от этого вида мусора перерабатываемых отходов, что позволит снизить суммарные расходы на перевозку для сортировки из-за уменьшения общего объема отходов, собранных в синих контейнерах за выделенный промежуток времени.

В настоящее время в г. Москве рядом с некоторыми крупными торговыми центрами установлены для отдельного сбора отходов емкости-приемники пластика и стекла. Несмотря на то, что в такие резервуары для пластика попадают в основном ПЭТ-бутылки, там присутствует и одноразовая посуда, и отличная от бутылок пластиковая упаковка, в связи с чем сортировка таких отходов необходима.

Установка контейнеров во дворах столицы позволит обеспечить их использование всеми жителями столицы, а не только главным образом посетителями торговых центров.

Возможен и второй вариант, используемый в настоящее время в ряде стран: открыть пункты сдачи либо установить в супермаркетах г. Москвы автоматы для сбора ПЭТ-бутылки. Стои-

мость сданных бутылок должна учитываться при покупке продуктов.

По-видимому, второй вариант является предпочтительным, так как в этом случае условие возврата залоговой суммы предполагает полную очистку ПЭТ-тары.

Система сдачи ПЭТ-упаковки в пункты сбора отходов в настоящее время действует в Литве. Покупателю, сдающему ПЭТ-тару, возвращают залоговую стоимость, входящую в цену покупаемой продукции. Порядок, связанный с наличием залоговой стоимости, используется и в Германии. Покупатель при приобретении напитков в ПЭТ-упаковке оплачивает в кассе залоговую стоимость, которая затем возвращается ему при сдаче упаковки в автомат.

На **рис. 2** представлена блок-схема алгоритма возврата в производство ТКО в ПЭТ-бутылке.

Заключение

На основании данных федерального статистического наблюдения 2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления в 2020–2022 гг.» в статье проанализировано состояние обращения с твердыми коммунальными отходами в целом по России и в г. Москве. Результаты анализа показали,

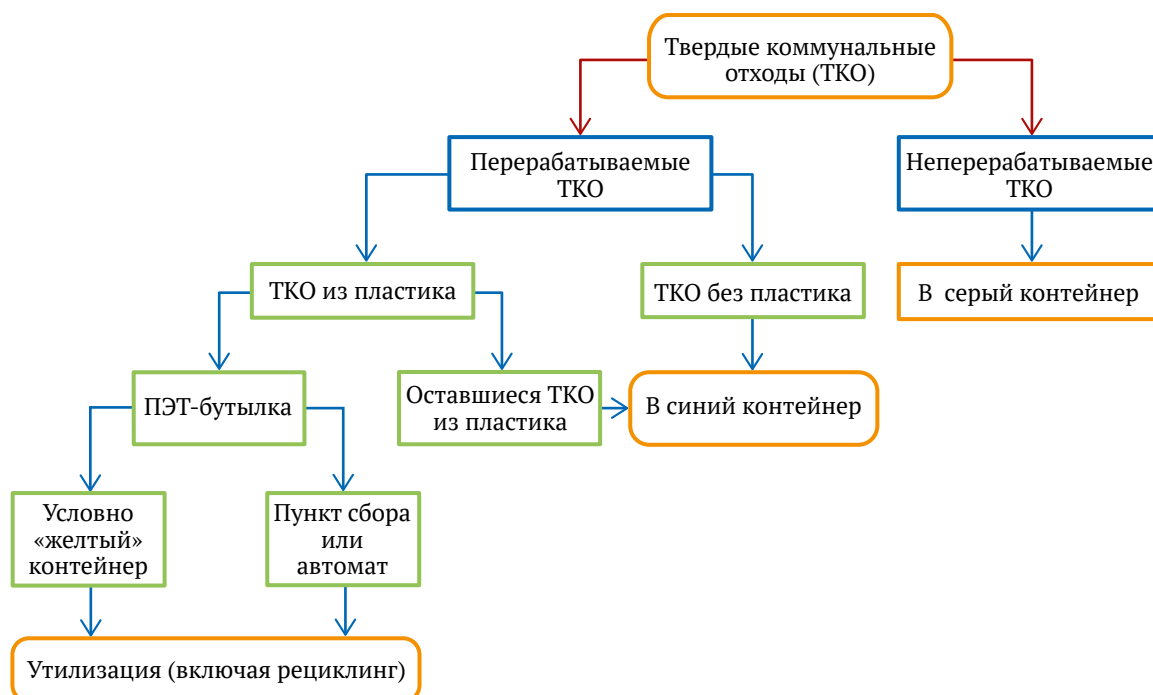


Рис. 2. Блок-схема алгоритма возврата в экономику пластиковых твердых коммунальных отходов – ПЭТ-бутылки

Fig. 2. Flowchart of the algorithm for returning plastic solid municipal waste to the economy – PET bottles

что, несмотря на то, что в г. Москве отдельный сбор мусора введен с 1 января 2020 г., когда для перерабатываемых и неперерабатываемых ТКО во дворах столицы были поставлены отдельные контейнеры, синий и серый, за три прошедших года (2020–2022 гг.) состояние с отдельным сбором мусора осталось неудовлетворительным. В настоящее время в стране требуется 100 % домашнее разделение мусора, укладываемого в предназначенные для этой цели контейнеры, и правильная отгрузка в пункты доставки без объединения их содержимого. Это должно производиться при периодическом контроле экологов или правоохранительных органов. Так делается в других странах, и для России иного выхода не просматривается.

При домашнем разделении мусора предложено отдельно собирать упаковку в виде ПЭТ-бутылки. Этот вид упаковки из всех видов пластика

в наибольшей степени экономически и экологически эффективен для вторичной переработки. Это представляется крайне важным, учитывая тот факт, что рециклинг является основным путем устранения пластикового загрязнения окружающей среды, а также то, что пластики для решения проблем с загрязнением играют особую роль, так как представляют собой неперегнивающие отходы.

Рассчитан долевым объемом ПЭТ-тары в бутылке по отношению к образованному в 2020–2022 гг. ТКО и разработан возможный алгоритм возврата в экономику города такой ПЭТ-тары. Предложены реальные способы отправки твердых коммунальных отходов в виде ПЭТ-бутылки непосредственно на рециклинг, исключая этап сортировки, и разработан алгоритм возврата в экономику ТКО ПЭТ-тары. Представлена блок-схема алгоритма возврата ТКО в ПЭТ-таре в производство.

Список литературы / References

1. Яковлев А. Страна отходов. Как мусор захватил Россию и можно ли ее спасти. 2021. М.: Individuum; 2021. 288 с.
2. Коршунова Л.Н., Сидорова Е.Ю., Костюхин Ю.Ю. Факторы и ориентиры рециркуляционной экономики России и построение системы управления отходами. *Экономика промышленности*. 2022;15(3):276–286. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-276-286>
Korshunova L.N., Sidorova E.Yu., Kostukhin Yu.Yu. Factors and guidelines of recycling economics in Russia and building up the waste management system. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(3):276–286. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-276-286>
3. Крельберг А.Б. Перспективы перехода индустрии обращения с твердыми коммунальными отходами на экономику замкнутого цикла. *Экономика промышленности*. 2022;15(1):49–57. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-1-49-57>
Krelberg A.B. Prospects for the transition of the municipal solid waste management industry to a circular economy. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(1):49–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-1-49-57>
4. Бабаева Р. Общество потребления: сколько мусора мы производим. *РБК Тренды*. 2021; 26 апреля. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/608058d99a79474434696eee> (дата обращения: 10.01.2024).
5. Рыкова И.Н., Шкодинский С.В., Юрьева А.А. Зарубежный опыт регулирования обращения с твердыми коммунальными отходами и его адаптация к российским условиям. *Экономика, предпринима-*
6. *тельство и право*. 2021;11(7):1759–1776. <https://doi.org/10.18334/epp.11.7.112326>
Rykova I.N., Shkodinskiy S.V., Yuryeva A.A. Foreign experience in solid municipal waste management and its adaptation in Russia. *Economics, entrepreneurship and law*. 2021;11(7):1759–1776. <https://doi.org/10.18334/epp.11.7.112326>
7. Байнова М.С. Международный опыт стимулирования раздельного сбора бытовых отходов. *Управление*. 2021;9(2):5–14. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2021-9-2-5-14>
Baynova M.S. International experience in stimulating the separate collection of household waste. *Upravlenie = Management (Russia)*. 2021;9(2):5–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2021-9-2-5-14>
8. Раксина А., Куколев П. От отходов на улицах до глубокой сортировки: Мировой опыт борьбы с мусором. ТАСС. Режим доступа: https://tass.ru/spec/mirovoi_musor (дата обращения: 10.01.2024).
9. Andreasi Bassi S., Christensen T.H., Damgaard A., 2017. Environmental performance of household waste management in Europe – an example of 7 countries. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.042>
10. Долгушин А.Б., Цуканов А.А., Петров А.Д. Перспективы перехода текстильной промышленности России на экономику замкнутого цикла. *Экономика промышленности*. 2021;14(4):418–424. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-418-424>
Dolgushin A.B., Tsukanov A.A., Petrov A.D. Prospects for the transition of the textile industry in the Russian to a closed-loop economy. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(4):418–424. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-418-424>

10. Савон Д.Ю., Колотырин К.П., Сахно Э.С. Управление проектами авторециклинга на основе государственно-частного партнерства. *Экономика промышленности*. 2021;14(2):203–213. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-2-203-213>
Savon D.Yu., Kolotyryn K.P., Sakhno E.S. Management of based on public private partnership auto-recycling projects. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(2):203–213. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-2-203-213>
11. Rozhentsova E., Saltykova A., Tretiakova E. Population's willingness to separate collection of plastic waste in Russian city. In: *E3S Web of conf. Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region" (UESF-2021)*; 2021. Vol. 258. N 08001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125808001>
12. Huang S., Wang H., Ahmad W., Ahmad A., Vatin N.I., Mohamed A.M., Deifalla A.F., Mehmood I. Plastic waste management strategies and their environmental aspects: a scientometric analysis and comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(8):4556. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084556>
13. Переработка отходов ПЭТ в России: особенности. 15.02.2023. Режим доступа: <https://reo.ru/tpost/fo5ykntox1-pererabotka-othodov-pet-v-rossii-osobenn> (дата обращения: 10.01.2024).
14. Бабаева Р. Как устроена сфера переработки пластика в России. РБК Тренды. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/61824ae79a79472af5cd7189> (дата обращения: 10.01.2024).

Информация об авторе

Алла Борисовна Крельберг – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ответственный секретарь журнала «Экономика промышленности», Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4037-0773>; e-mail: ecoprom@misis.ru

Information about the author

Alla B. Krelberg – PhD (Eng.), Senior Researcher, Executive Secretary of the Russian Journal of Industrial Economics, National University of Science and Technology "MISIS", 4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4037-0773>; e-mail: ecoprom@misis.ru

Поступила в редакцию **09.04.2024**; поступила после доработки **03.06.2024**; принята к публикации **17.06.2024**
Received **09.04.2024**; Revised **03.06.2024**; Accepted **17.06.2024**