

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22

УДК 330.15(045)

JEL D25, O13, Q28

Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов в контексте низкоуглеродного развития

И.М. Потравный^а, Д. Баах^б^а Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия;^б Межрегиональный центр экологического аудита и консалтинга, Аккра, Гана^а <https://orcid.org/0000-0001-8771-6324>; ^б <https://orcid.org/0000-0003-1253-4651>

АННОТАЦИЯ

В статье комплексно увязывается решение проблемы переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) с получением энергии, развитие возобновляемой энергетики и снижения выбросов парниковых газов. На основе анализа мировых тенденций в сфере обращения с ТКО установлено, что выработка энергии из отходов, получение на основе переработки не утилизируемых фракций возобновляемой энергии является важным направлением низкоуглеродной экономики и снижения нагрузки на окружающую среду. Выполнена эколого-экономическая оценка основных технологий термической переработки ТКО. Показан вклад реализации инвестиционных проектов по строительству заводов получения энергии из отходов в Московской области, Сочи в реализацию национальных целей России в области обращения с отходами. С учетом имеющегося зарубежного опыта предложены меры финансирования и поддержки инвестиционных проектов энергетической утилизации отходов, включая введение «зеленого» тарифа для объектов переработки ТКО в энергию, применение механизма стимулирования инвестиций на основе договоров о предоставлении мощности (ДПМ), реализацию механизма расширенной ответственности производителей, государственные меры поддержки, привлечение «зеленых» облигаций и использование методов долевого и проектного финансирования, торговлю квотами на выбросы парниковых газов. Практическая значимость проведенного исследования состоит в обосновании возможности и необходимости разработки и реализации инвестиционных проектов энергетической утилизации отходов, получения энергии и снижения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: энергия из отходов; мусоросжигательные заводы; низкоуглеродная экономика; твердые коммунальные отходы; возобновляемые источники энергии

Для цитирования: Потравный И.М., Баах Д. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов в контексте низкоуглеродного развития. *Управленческие науки = Management Sciences in Russia*. 2021;11(3):6-22. DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22

ORIGINAL PAPER

Energy Management of Municipal Solid Waste in the Context of Low Carbon Development

I.M. Potravnyy^a, D. Baah^b

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia;

Interregional Center for Environmental Audit and Consulting, Accra / Ghana

^a <https://orcid.org/0000-0001-8771-6324>; ^b <https://orcid.org/0000-0003-1253-4651>

ABSTRACT

The paper comprehensively links the solution of the processing municipal solid waste (MSW) problem with the production of energy, the development of renewable energy and the greenhouse gas emissions reduction. There was determined being based on the analysis of global trends in the field of MSW management that the generation of energy from waste, the production of non-recyclable fractions of renewable energy on the basis of processing is an important direction of a low carbon economy and reducing the burden on the environment.

© Потравный И.М., Баах Д., 2021

There was carried out an ecological and economic assessment of the main technologies of thermal processing of MSW. The contribution of the implementation of investment projects for the construction of waste energy plants to the implementation of Russia's national goals in the field of waste management is shown in the Moscow region and Sochi. Taking into account the existing foreign experience, measures for financing and supporting investment projects for energy waste disposal were proposed: the introduction of a green tariff for MSW-to-energy processing facilities; the use of an investment incentive mechanism based on capacity supply agreements (PDMS); the implementation of an extended producer responsibility mechanism; state support measures; the attraction of green bonds; the use of equity and project financing methods, and quotas trading in greenhouse gas emissions. The practical significance of the research is to substantiate the possibility and necessity of developing and implementing investment projects for energy waste disposal, energy generation and reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: energy from waste; incinerators; low carbon economy; solid municipal waste; renewable energy sources

For citation: Potravny I.M., Baah D. Energy management of municipal solid waste in the context of low carbon development. *Upravlencheskie nauki = Management Sciences in Russia*. 2021;11(3):6-22. (In Russ.). DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22

Введение

В настоящее время общемировой тенденцией является переход к такой модели экономики, которая будет учитывать в полной мере экологические и климатические факторы, включая эффективное использование природных ресурсов, сохранение природного капитала, повышение энергетической эффективности производства, уменьшение загрязнения окружающей среды и снижение выбросов парниковых газов [1].

Вопросы утилизации и переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) с получением энергии рассматривались в трудах как российских [2–4], так и зарубежных авторов¹ [5, 6].

Значительный потенциал развития «зеленой», низкоуглеродной экономики имеется в сфере переработки твердых коммунальных отходов, как с точки зрения получения возобновляемой энергии из отходов, так и с точки зрения рационального использования земельных ресурсов, которые изымались из хозяйственного оборота под хранилища и полигоны [7–9]. К примеру, в странах ЕС доля энергетической утилизации ТКО составила в 2019 г. 28%, в Китае — 50%.

В российском законодательстве предусмотрена энергетическая утилизация отходов, в том числе их использование в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических

ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки².

Среди национальных целей развития страны на перспективу предусмотрено создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, обеспечивающей сортировку отходов в объеме 100% и снижение объема отходов, направляемых на полигоны, в два раза³.

Целевыми показателями развития отрасли обращения с ТКО в России предусматривается повышение доли переработки отходов путем сжигания не утилизируемого остатка отходов с получением энергии с 2% в 2019 г. до 24% в 2026 г. Одновременно ставится задача довести уровень переработки отходов во вторичное сырье и компостирование до 24%, при этом доля захоронения таких отходов уменьшится с 93 до 36% в 2026 г.

Анализ международного опыта в сфере переработки ТКО показывает, что энергетическая утилизация отходов является важным направлением развития циркулярной экономики в целом [10, 11]. При этом развитие отрасли по переработке отходов следует рассматривать как важное направление деятельности в сфере формирования рынка экологических товаров, работ и услуг [12]. Ведущие страны мира продолжают активно

¹ Waste-to-Energy. Sustainability, Roadmap. Towards 2035. Turin: Cewep, 2019. 14 p. URL: https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2019/09/WtE_Sustainability_Roadmap_Digital.pdf (дата обращения: 04.06.2021).

² Федеральный закон Российской Федерации от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 17.04.2021).

³ Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития России до 2030 года». URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/63728> (дата обращения: 17.04.2021).

строить заводы по выработке энергии из отходов: строится более 30 заводов в Европе и более 100 заводов в Китае. С применением технологии энергетической утилизации, к примеру на колосниковой решетке, создано более 88% мощностей по энергетической утилизации в мире. При этом производство энергии из отходов в мире и России квалифицируется как возобновляемый источник энергии.

В контексте развития низкоуглеродной экономики необходимо учитывать, что переработка отходов в энергию обладает значительным потенциалом по снижению выбросов парниковых газов. Поэтому при разработке и обосновании инвестиционных программ в сфере переработки ТКО необходимо учитывать различные критерии выбора соответствующих проектов с применением «зеленых» и климатосберегающих технологий с учетом социально-экономических, экологических и энергетических факторов [13, 14].

Несмотря на определенные преимущества, применение технологий получения энергии из отходов вызывает дискуссии у общественности, как с точки зрения утилизации полезного вторичного сырья, возможных выбросов загрязняющих веществ, так и с учетом высокой стоимости таких проектов по строительству мусоросжигательных заводов. Проблема выбросов вредных веществ в атмосферу технологически решена, однако может вызывать социальные опасения. Поэтому важной задачей является анализ, учет и оценка всех экологических, экономических, социальных, а также климатических аспектов при обосновании и реализации проектов по утилизации энергии из отходов, а также разработка эффективной модели их финансирования.

Материалы и методы исследования

Теоретической базой исследования является теория устойчивого развития «зеленой», низкоуглеродной и циркулярной экономики применительно к сфере переработки ТКО [15–17].

Основными документами, регулируемыми вопросы производства энергии из отходов в Европе, являются Директива Европарламента 2018/2001 от 11.12.2018 «Об использовании энергии из возобновляемых источников», Директива Европарламента от 30.05.2018 «Об отходах», Директива Европарламента от 30.05.2018 «Об упаковке и отходах упаковки», а также Директива Европарламента от 30.05.2018 «О захоронении отходов».

В Германии данные вопросы регулируются Законом о возобновляемых источниках энергии (EEG, 2021), Законом об экономике замкнутого цикла и обеспечении экологически безопасного обращения с отходами (Kreislaufwirtschaftsgesetz — KrWG, 1994 г., с изменениями 2020 г.), Законом о размещении и переработке упаковки (Verpackungsgesetz — VerpackG, 2017 г.).

Во Франции регулирование экономики замкнутого цикла и энергетической утилизации отходов осуществляется в соответствии с Законом № 2020–105 «Об экономике замкнутого цикла и борьбе с отходами» и Энергетическим кодексом (февраль 2021).

В настоящее время имеются следующие приоритетные направления в сфере обращения с ТКО:

1. Раздельный сбор отходов для повторного их использования.
2. Сортировка отходов с отбором вторичных и органических фракций для повторного использования.
3. Термическое обезвреживание не утилизируемых фракций с получением энергии.
4. Безопасное захоронение отходов с очисткой фильтрата и свалочного газа.

В табл. 1 приведена иерархия методов обращения с твердыми коммунальными отходами и затраты на утилизацию 1 т отходов в некоторых странах мира.

Для сравнения отметим, что стоимость обращения с 1 т ТКО в других странах составляет: Великобритания — 170 евро, Нидерланды — 427 евро, Австрия — 24 евро. В соответствии с целевыми заданиями ЕС к 2035 г. доля захоронения отходов должна составить не более 10%. Таким образом, переработка отходов во вторичное сырье и энергетическая утилизация остаточных фракций, не подлежащих вовлечению во вторичный оборот, направлены на предотвращение захоронения отходов.

Если говорить о целевых показателях вовлечения ТКО во вторичный оборот в ЕС, то к 2035 г. доля переработки коммунальных отходов должна возрасти до 65% (в 2018 г. — 47%), а переработка отходов упаковки вырастет до 70% (2018 г. — 65%). Переработка отходов во вторичное сырье и переработка в энергию остаточных фракций, не подлежащих вовлечению во вторичный оборот, совместно служат цели предотвращения захоронения отходов и являются приоритетными

Таблица 1 / Table 1

Иерархия методов обращения с твердыми коммунальными отходами и затраты на утилизацию 1 т отходов в некоторых странах мира / Hierarchy of solid municipal waste management methods and disposal costs of 1 ton of waste in some countries

Метод обращения с отходами / Waste management method	Страна / Country			
	Германия / Germany	Швейцария / Switzerland	Франция / France	Россия / Russia
Переработка отходов во вторичное сырье и компостирование органической фракции / Recycling of waste into secondary raw materials and composting of organic fraction	68,0	52,0	40,0	5,0
Переработка отходов в энергию (энергетическая утилизация) / Waste-to-Energy (Energy Utilization)	31,0	48,0	36,0	2,0
Захоронение / Waste disposal	1,0	00,0	24,0	93,0
Затраты на утилизацию 1 т ТКО, евро / Disposal costs of 1 ton of MSW, Euro	218	224	157	33

Источник / Source: «РТ-Инвест» увеличит мощности комплексов по переработке отходов в Подмоскowie. URL: <https://finance.rambler.ru/business/46544579-rt-invest-uvelichit-moschnosti-kompleksov-po-pererabotke-othodov-v-podmoskove> (дата обращения: 02.06.2021) / RT-Invest will increase the capacity of waste processing complexes in the Moscow region. URL: <https://finance.rambler.ru/business/46544579-rt-invest-uvelichit-moschnosti-kompleksov-po-pererabotke-othodov-v-podmoskove> (accessed on 02.06.2021).

Таблица 2 / Table 2

Методы обращения с твердыми коммунальными отходами в отдельных городах и агломерациях мира, 2019 г. / Methods of solid municipal waste management in selected cities and agglomerations of the world, 2019

Города и агломерации мира / Cities and agglomerations of the world	Применяемые технологии, % / Applied technologies, %		
	Переработка отходов во вторичное сырье и компостирование / Recycling of waste into secondary raw materials and composting	Переработка в энергию / Waste-to-Energy	Захоронение / Waste disposal
Московский региона (Россия) / Moscow Region (Russia)	3	5	92
Лиссабон (Португалия) / Lisbon (Portugal)	20	63	13
Лондон (Великобритания) / London (United Kingdom)	34	56	10
Стокгольм (Швеция) / Stockholm (Sweden)	35	65	—
Вена (Австрия) / Vienna (Austria)	40	60	—
Цюрих (Швейцария) / Zurich (Switzerland)	40	60	—

Источник / Source: РТ-Инвест. URL: <https://w2e.ru> (дата обращения: 04.06.2021) / RT-Invest. URL: <https://w2e.ru> (accessed on 04.06.2021).

Таблица 3 / Table 3

Термическая переработка твердых коммунальных отходов в Европе и некоторых странах / Thermal treatment of municipal solid waste in Europe and some countries

Показатель / Indicator	Регионы и страны мира / Regions and countries of the world			
	Европа / Europe	Япония / Japan	Китай / China	США / USA
	Отрасль термической переработки ТКО / Industry of thermal processing of MSW			
Число заводов / Factories number	527	1172	190	77
Общая мощность, млн т в год / Total capacity, mln tons per year	103	65	61	30
Средняя мощность, тыс. т в год / Average capacity, thousand tons per year	195	55	321	390
	Применяемые технологии / Applied technologies			
Колосниковое сжигание, % / Grate burning, %	91,0	83,0	65,0	97,0
Сжигание в кипящем слое, % / Fluidized bed combustion, %	6,0	5,0	32,0	—
Пиролиз, % / Pyrolysis, %	2,0	—	—	—
Газофикация, % / Gasification, %	1,0	9,0	—	—
Прочие, % / Other, %	—	3,0	3,0	3,0
Итого: / Total:	100,0	100,0	100,0	100,0

Источник / Source: What is Waste-to-Energy. URL: <https://www.cewep.eu/what-is-waste-to-energy>, <https://www.wtert.net> (дата обращения / accessed on 04.06.2021).

способами обращения с отходами в мировой практике⁴.

В табл. 2 показаны методы обращения с твердыми коммунальными отходами в отдельных городах и агломерациях мира.

Что касается применения технологий термической переработки ТКО в мире при строительстве новых объектов, то в течение 2008–2015 гг. в мире было построено 458 заводов по их термической переработке суммарной мощностью порядка 110 млн т таких отходов в год. Из них на 88% объектов использовалась технология сжигания на колосниковой решетке, на 5,9% объектов использовалась технология сжигания в кипящем слое, технологии пиролиза и газификации применялись на 5,2% объектов⁵.

⁴ Waste to energy: Considerations for informed decision-making. URL: <https://www.unenvironment.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making> (дата обращения: 20.04.2021).

⁵ Eurowaste. Type of waste. URL: <http://www.eurowaste.be/types-of-waste.shtml> (дата обращения: 20.04.2021).

В Китае регулирование деятельности по утилизации отходов с получением энергии осуществляется в соответствии с Законом Китайской Народной Республики о возобновляемой энергии (2005 г.) и Законом Китайской Народной Республики о предотвращении и контроле экологического ущерба, вызываемого твердыми отходами (2020 г.).

В табл. 3 дана характеристика деятельности по термической переработке ТКО в Европе и некоторых странах мира. При этом понятия «энергетическая утилизация» и «термическая переработка» ТКО рассматриваются как синонимы.

Если говорить о методах обращения с отходами в Китае, то в 2006 г. на захоронение отходов здесь приходилось 85% от их общего объема, 14% составляли методы утилизации отходов с получением энергии. В 2019 г. энергетическая утилизация отходов уже возросла до 51%, на захоронение — 46%.

Китай можно рассматривать в качестве положительного примера по созданию и развитию от-

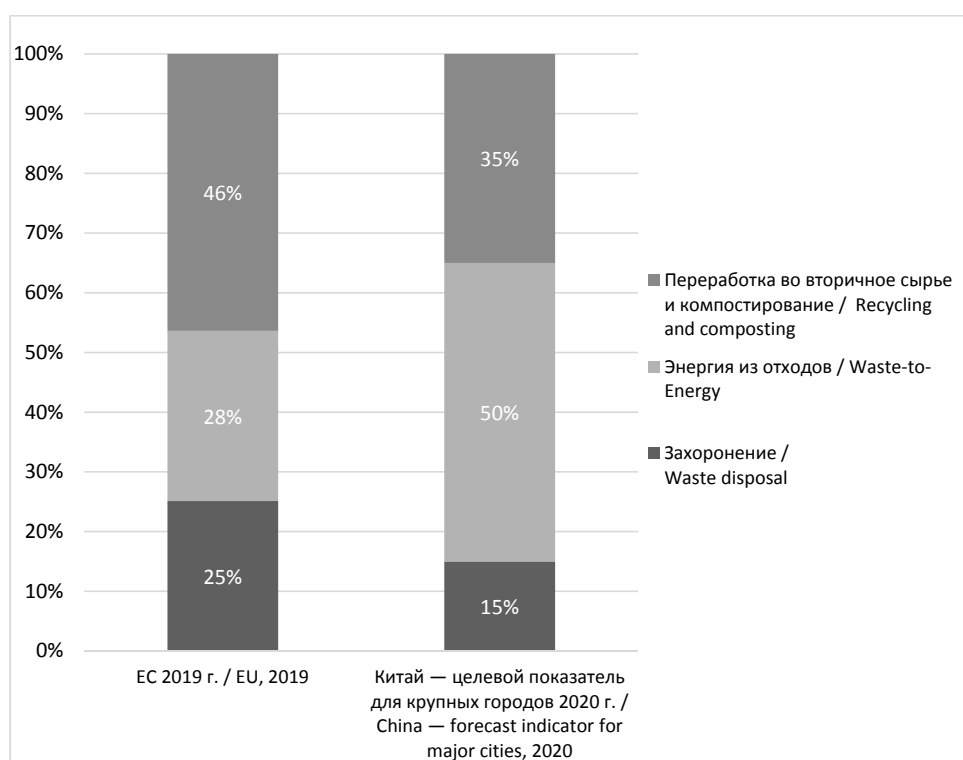


Рис. 1 / Fig. 1. Методы обращения с отходами в ЕС и Китае / Waste management practices in the EU and China

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

расли по производству энергии из отходов. О динамике развития данного рынка свидетельствуют следующие данные. Если в 2004 г. в стране работали 54 завода по переработке отходов в энергию, на которых перерабатывалось 4,5 млн т таких отходов в год, то в 2019 г. уже функционировало 389 таких заводов, которые позволяли утилизировать с получением энергии 121,7 млн т таких отходов в год. На рис. 1 показаны основные методы обращения с ТКО в странах ЕС и в Китае, в 2020 г. целевой показатель переработки отходов в энергию в ЕС составил 28%, в Китае — более 50%.

Отметим, что инвестиции в строительство новых мощностей по выработке энергии из отходов в Китае в 12-й пятилетке (2011–2015 гг.) составили 15 млрд долл. США. Целевым показателем в области развития энергии из отходов на 13 пятилетку (2016–2020 гг.) определялось строительство 400 таких заводов мощностью 126 млн т ТКО в год.

Среди топ-11 стран мира с наибольшим количеством заводов по выработке энергии из отходов можно выделить следующие (в скобках указана доля энергетической утилизации отходов от их общего объема): Япония — 754 (69%), Китай — 286

(38%), Франция — 126 (35%), Германия — 121 (31%), США — 77 (12%), Австрия — 65 (39%), Великобритания — 46 (37%), Италия — 41 (21%), Республика Корея — 35 (25%), Швеция — 34 (53%), Швейцария — 30 (47%).

Всего в мире в настоящее время работает 1795 заводов, перерабатывающих в энергию 216 млн т отходов, что составляет 15% всех мировых отходов жизнедеятельности. Рост мощностей по выработке энергии из отходов в ЕС с 2005 по 2017 г. составил 76%, с 55 до 96 млн т отходов в год. За аналогичный период в Китае мощность по выработке энергии из отходов выросла в 12,7 раза, с 7,9 до 100 млн т отходов в год.

Мировая практика подтверждает эффективность переработки отходов в энергию. Ведущие страны мира продолжают активно строить такие заводы. В Европе за прошедшие 10 лет построено более 120 новых заводов по выработке энергии из отходов, объем выработки возобновляемой энергии из отходов за указанный период в ЕС увеличился на 40%. В Китае за 10 лет построено 285 новых заводов по выработке энергии из отходов, объем переработки отходов в энергию увеличился в 5 раз.

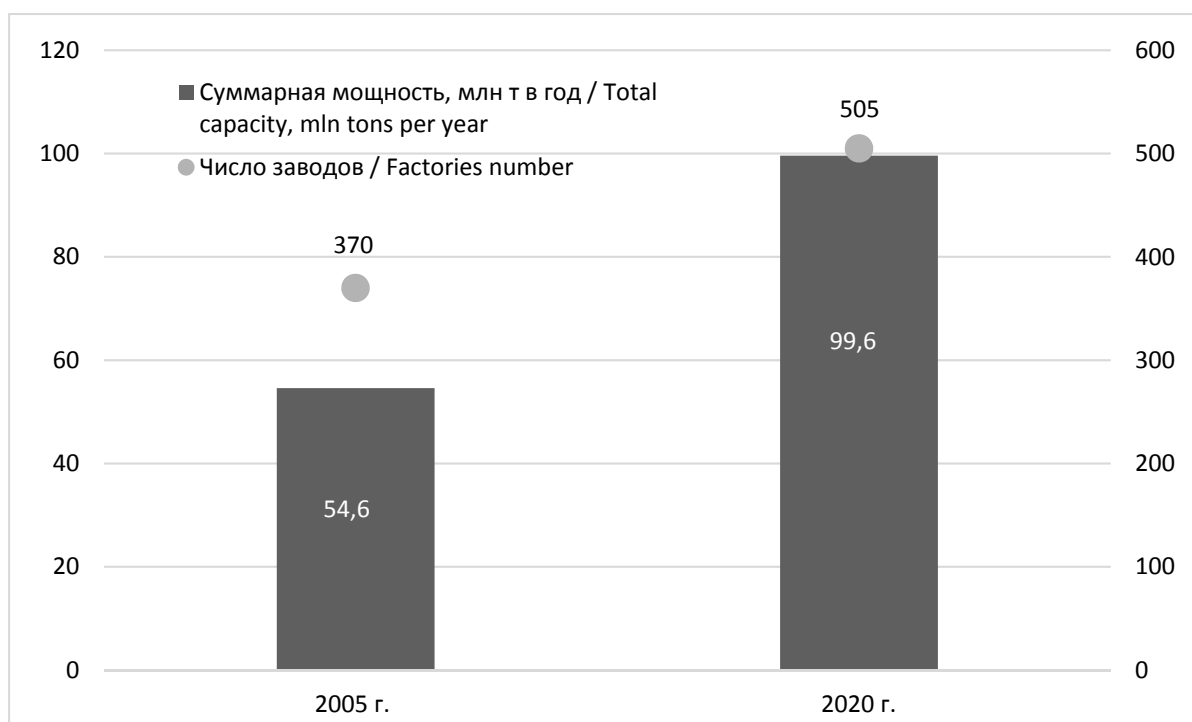


Рис. 2 / Fig. 2. Объем переработки отходов в энергию в ЕС, 2005–2020 гг. / Waste-to-energy conversion in the EU, 2005–2020

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

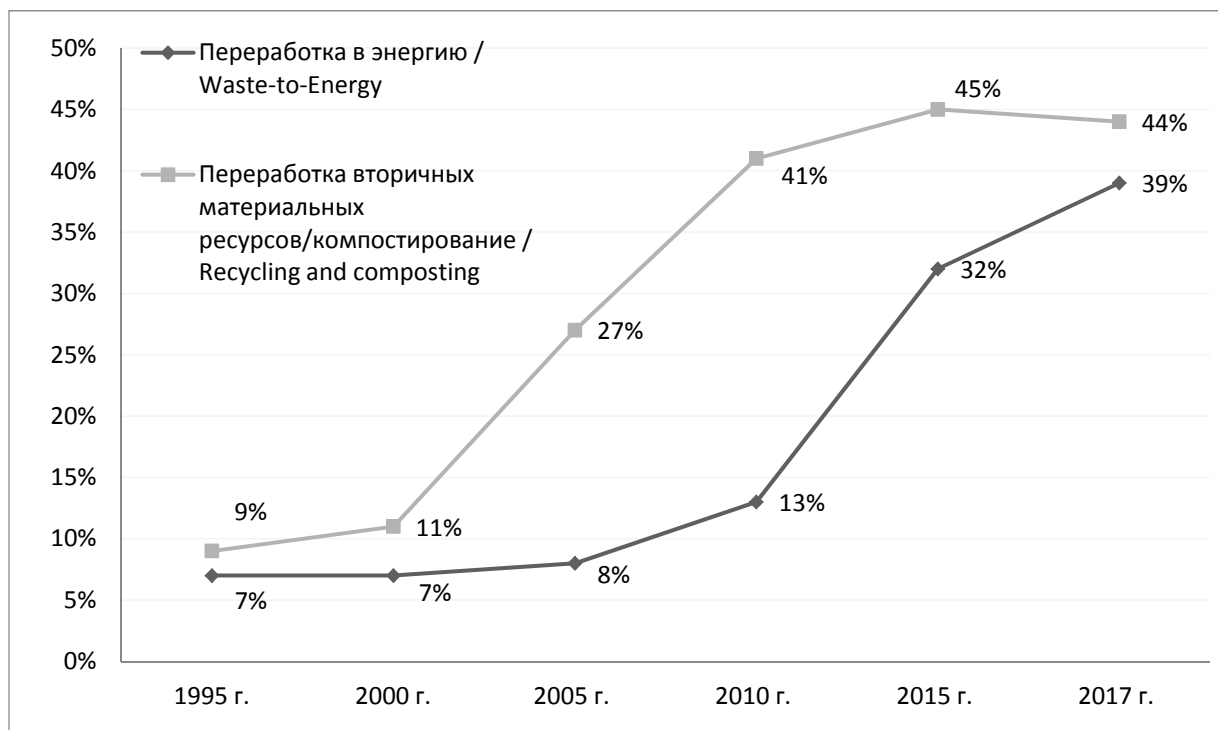


Рис. 3 / Fig. 3. Динамика переработки отходов, в том числе с получением энергии в Великобритании / Dynamics of waste recycling, including energy generation in the UK

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

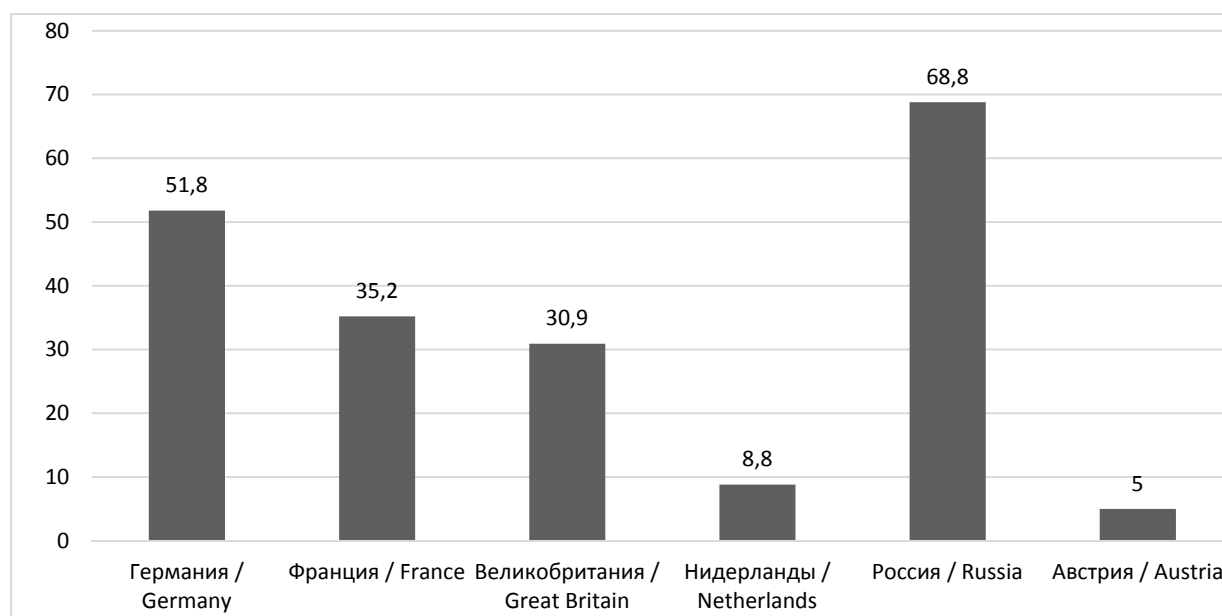


Рис. 4 / Fig. 4. Образование ТКО в странах Европы и России, млн т в год /
MSW formation in Europe and Russia, mln tons per year

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

На рис. 2 показана динамика роста переработки ТКО с получением энергии в странах ЕС за 2005–2020 гг.

Отметим, что в Великобритании основными правовыми документами, регулирующими вопросы энергетической утилизации ТКО, являются Закон о «зеленых тарифах» для возобновляемых источников энергии (2017 г.) и Закон об отходах (2011 г.). На рис. 3 показана динамика переработки отходов с получением энергии и также переработка отходов с получением вторичного сырья и компостирования в Великобритании за 1995–2017 гг.

На рис. 4 приведены сведения об образовании ТКО в странах Европы и России, 2019 г.

По некоторым оценкам, объем образования ТКО в России в настоящее время составляет порядка 80 млн т в год. Для обоснования модели организационного взаимодействия среды обращения с отходами, оценки полноты и достоверности объемов их образования целесообразно применять современные управленческие информационные технологии [18, 19].

Анализ основных технологий термической переработки ТКО

Для термической переработки ТКО в мировой практике применяются следующие основные технологии:

1. Сжигание на колосниковой решетке. Максимальная температура в зоне горения составляет порядка 1200 °С, отходящие газы проходят систему очистки, что позволяет разрушить большинство вредных веществ, в частности диоксины. К недостаткам относится необходимость решения вопроса золошлаковых отходов. Современные заводы с применением данной технологии соответствуют стандартам наилучших доступных технологий (НДТ) в ЕС (Решение Еврокомиссии 2019/2010 от 12.11.2019) и в России (справочник ИТС 9–2020).

2. Сжигание в кипящем слое представляет собой процесс, при котором отходы смешиваются с инертным материалом и приводятся в псевдосжиженное состояние. Горящие отходы нагревают воду и создают пар, который направляется на отопление и/или на паровую турбину. Технология широко применяется при сжигании иловых осадков сточных вод.

3. Пиролиз представляет собой процесс, при котором измельченный ТКО подвергается термическому разложению без доступа кислорода, в результате чего получается жидкое топливо и синтез-газ, который перерабатывается в электроэнергию и тепло. Технология применяется для однородных высококалорийных отходов, например для переработки старых шин.

4. Газификация — процесс переработки отходов в синтетический газ, который перерабатывается в электроэнергию и тепло. Это позволяет снизить объем образования золошлаковых отходов и дает возможность их стеклования и получения инертного шлака. В 2017 г. в Японии было построено 2 установки по газификации отходов. Технология газификации позволяет снизить объем образуемых золошлаковых отходов до 10–15% и производить их стеклование.

5. Плазменная газификация основана на использовании технологии плазменной горелки для создания высокотемпературного газа, который преобразует органические вещества в синтетический газ, а твердые — в жидкое и/или твердое топливо. Положительным моментом данного процесса является отсутствие побочных продуктов переработки отходов. Недостатком технологии является более высокая стоимость — капитальные затраты на тонну мощности по переработке ТКО в год — в 2–3 раза выше, чем у прочих технологий [20].

Сравнительная характеристика различных технологий термической переработки ТКО представлена в табл. 4.

Очевидно, что выбор той или иной технологии, управленческого решения по обезвреживанию и утилизации ТКО тесно связан с эффективной организацией раздельного сбора таких отходов [21].

Результаты исследования

Выполненный анализ показывает, что низкий процент утилизации (использования) ТКО в России связан с недостаточным развитием инфраструктуры по переработке таких отходов. В настоящее время в стране функционирует 243 комплекса по утилизации ТКО, 53 комплекса по сортировке отходов, около 10 мусоросжигательных заводов.

Современное состояние отрасли по переработке отходов характеризуется рядом недостатков, к числу которых относится недостаточная экономическая заинтересованность предприятий, низкий технический уровень применяемых технологий, дефицит современного оборудования по их переработке, значительный поток отходов, вывозимых из города. Преобладание удаления таких отходов посредством захоронения часто сопровождается нарушением экологических и санитарно-эпидемиологических требований при их

размещении и ведет к дополнительной нагрузке на окружающую среду (загрязнение и захламление земель, водных объектов, выделение биогаза, преимущественно метана и углекислого газа, что приводит к климатическим изменениям). Кроме того, безвозвратно теряются материальные и энергетические ресурсы, которые следует повторно использовать в качестве вторичного материального и энергетического сырья.

Реализация национальных целей в области обращения с отходами требует ускоренного развития инфраструктуры в данной области, включая строительство мусоросжигательных заводов по переработке отходов с получением энергии. В качестве примера реализации такого подхода можно рассмотреть инвестиционные проекты по строительству 4 заводов по термической переработке отходов в электроэнергию в Московской области и Татарстане, которые осуществляются в рамках Консорциума РТ-Инвест — Ростех — Росатом — ВЭБ.РФ. Технологическим партнером проекта является швейцарско-японская компания Hitachi Zosen Inova (HZI) — лидер рынка строительства заводов по термической переработке ТКО, которая также является акционером проекта и несет как финансовые, так и репутационные риски.

К примеру, строительство такого завода в Воскресенском районе Московской области позволит перерабатывать 700 тыс. т отходов с получением энергии, что позволит сократить захоронение на полигонах неперерабатываемых отходов на 30% и обеспечить электроэнергией 250 тыс. жителей. При этом общий объем инвестиций составит порядка 30 млрд руб., а выходная электрическая мощность 70 МВт.

Строительство таких заводов только в Московской области позволит предотвратить создание новых полигонов для размещения ТКО, обеспечить экономию земельных ресурсов, снизить выбросы парниковых газов. При этом в учет принимаются такие факторы, как образование парниковых газов в процессе термической переработки отходов, сокращение их выбросов от объектов теплоэнергетики на традиционном топливе (газ, уголь), а также сокращение выбросов метана, образуемого в результате размещения таких отходов на полигонах.

Переработка 1 т ТКО с получением энергии по технологии сжигания на колосниковой решетке позволяет снизить 1,01 т CO₂, включая снижение

Таблица 4 / Table 4

Характеристика технологий в области термической переработки твердых коммунальных отходов / Characteristics of technologies in thermal processing of solid municipal waste

Показатель / Indicator	Технологии термической переработки ТКО / Technologies of thermal processing of MSW				
	Сжигание / Incineration	Газификация / Gasification	Плазменная газификация / Plasma gasification	Пиролиз / Pyrolysis	
На колосниковой решетке / On the grate	В циркулирующем кипящем слое / In a circulating fluidized bed				
Число заводов в мире, шт. / Number of factories in the world, pcs.	1500	200	120	20	20
Капитальные затраты на т годовых мощности по ТКО, тыс. руб./т в год / Capital expenditures per ton of annual capacity for MSW, thousands rubles/tons per year	35–70	35–70	100–150	150–200	50–100
Операционные затраты, тыс. руб./т в год / Operating costs, thousands rubles / tons per year	1,5–1,7	1,7–2,0	2,0–2,5	2,0–30,0	1,5–1,7
Энергетическая эффективность (при производстве только электрической энергии, без тепла), % / Energy efficiency (when producing only electrical energy, without heat), %	28,0	25,0	23,0	н/д	н/д
Температура процесса, °C / Process temperature, °C	850–1200	850–1200	1000–2000	3000–10000	400–500
Необходимость предварительной подготовки отходов / The need for pre-treatment of waste	Не требуется / Not required	Сортировка, измельчение, подсушка, гомогенизация / Sorting, grinding, drying, homogenizing			
Средние размеры заводов, тыс. ТКО в год / Average plant size, thousands MSW per year	200–400	100–300	20–100	20–50	20–75
Опыт использования в России / Experience in Russia	Мусоросжигательные заводы № 2 и № 3 в Москве / Incineration plant No. 2 and No. 3 in Moscow	Мусоросжигательный завод № 4 в Москве / Incineration plant No. 4 in Moscow	Нет / No	Нет / No	Нет / No
Достоинства / Dignities	Высокая энергоэффективность, низкие затраты на т мощности по сравнению с другими технологиями / High energy efficiency, low cost per ton of power compared to other technologies	Технология не чувствительна к типу и калорийности отходов, может использоваться для твердых и жидких фракций / The technology is not sensitive to the type and caloric content of waste, can be used for solid and liquid fractions	Более низкие объемы золошлаковых отходов и возможность их стеклования, что снижает класс их опасности / Lower volumes of ash and slag waste and the possibility of their glass transition, which reduces their hazard class	Отсутствие побочных продуктов переработки / No by-products of processing	Более низкий уровень выбросов вредных веществ в атмосферу по сравнению с методами сжигания / Lower emissions of harmful substances into the atmosphere in comparing to incineration methods
Недостатки / Disadvantages	Необходимость дальнейшего захоронения золошлаковых отходов, негативное общественное мнение относительно технологии сжигания / The need for further disposal of ash and slag waste, negative public opinion regarding the incineration technology	Большое количество золошлаковых отходов, требующих дальнейшей обработки / A large amount of ash and slag waste that requires further processing	Высокая стоимость, энергоэффективность ниже, чем при сжигании, требования к однородности и составу отходов / High cost, lower energy efficiency than incineration, requirements for uniformity and composition of waste	Значительное потребление энергии на собственные нужды, высокая стоимость / Significant energy consumption for their own needs, high cost	Технология применяется при однородных потоках отходов / The technology is used for homogeneous waste streams

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

0,5 т CO₂ за счет экономии ископаемого топлива. При этом захоронение 1 т ТКО без сбора свалочного газа ведет к образованию 1,61 т CO₂. Если принять в расчет среднюю рыночную оценку углеродных квот на выбросы парниковых газов в размере 30 евро за 1 т и снижение таких выбросов в размере 1,01 CO₂-эквивалента при энергетической утилизации таких отходов, то эффект от строительства данного завода может составить более 1,7 млрд руб. в год. Одновременно достигается экологический эффект от сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 10–15 раз по сравнению с вариантом захоронения отходов на полигонах, которые в Московском регионе уже переполнены и рассматривается вопрос о поставках данных отходов в другие регионы, что вызывает социальную напряженность у населения.

В качестве другого инвестиционного проекта, который также позволяет решать задачи развития низкоуглеродной экономики, можно рассмотреть строительство завода по энергетической утилизации (термической переработки) ТКО на территории г. Сочи мощностью 550 тыс. т в год с получением 55 МВт электричества.

Образование ТКО на территории Большого Сочи составляет в настоящее время порядка 387 тыс. т, с учетом прилегающих территорий Черноморского побережья (Туапсе, Геленджик и др.) — более 600 тыс. т, с учетом постоянного роста населения региона и увеличения туристических потоков, к 2025 г. расчетный объем образования таких отходов составит более 980 тыс. т. Вывоз отходов из г. Сочи происходит автотранспортом на полигон в Белореченске, находящийся в 250 км от Сочи.

Тариф на сбор, вывоз и захоронение ТКО в Сочи составляет 4445 руб./тонна с НДС (из них 1190 руб./т — захоронение и 3255 руб./т — сбор и вывоз на полигон). Строительство данного объекта по выработке энергии из отходов позволит полностью исключить их захоронение в курортных регионах и решить проблему несанкционированных свалок. Многие ведущие курортные города и регионы мира пошли по пути развития переработки отходов в энергию: Монако, Андорра, Барселона, Ницца, Майорка, Мальдивские острова.

Располагать объекты по выработке энергии из отходов необходимо в первую очередь в городских агломерациях России с населением более 500 тыс. чел. Экологическая безопасность таких

заводов обеспечивается путем очистки дымовых газов в котле при температуре более 850 °С, где обеспечивается разложение диоксинов. Процесс сухой очистки дымовых газов в реакторе предназначен для удаления частиц пыли и кислотных газообразных загрязняющих веществ посредством нейтрализации с использованием гашеной извести, а органические загрязняющие вещества, тяжелые металлы обезвреживаются путем адсорбции на активированном угле.

На объектах планируется применять трехступенчатую систему очистки отходящих дымовых газов, отвечающую принципам использования «наилучших доступных технологий». Важно отметить, что такие объекты имеют замкнутую систему оборота технической воды, т. е. сброс промышленных стоков в канализационную систему не осуществляется.

Очевидно, что реализация подобных проектов требует разработки соответствующих мер по финансированию и поддержке отрасли по выработке энергии из отходов. К примеру, в странах ЕС среди стимулов для переработки отходов можно отметить запрет на захоронение непереработанных отходов (введен в большинстве стран ЕС). В некоторых странах (Швейцария, Германия) уже введен полный запрет на захоронение. В ряде стран введен налог на захоронение отходов, размер которого колеблется от 107 евро/т в Бельгии, до 5 евро/т в Литве. Например, в Великобритании налог на захоронение отходов составляют 15–20 английский фунтов стерлингов за т, а «налог на свалки» составляет 94,15 английских фунтов стерлингов, что делает любой вид переработки более рентабельным, чем захоронение.

ТКО признается возобновляемым источником энергии и в большинстве стран действует «зеленый» тариф для объектов по переработке ТКО в энергию, который примерно в 2 раза выше рыночной цены на электроэнергию: в рублевом эквиваленте порядка 10 руб. на кВт·ч (рис. 5).

В целях поддержки отрасли по переработке ТКО в энергию в Китае установлен «зеленый» тариф на электроэнергию из отходов, который в 2 раза выше в сравнении с энергией из угля (в рублевом эквиваленте тариф на энергию из ТКО составляет около 7,6 руб./кВт·ч).

Следует отметить, что средняя стоимость приема отходов на переработку в энергию в ЕС составляет порядка 100 евро/т.

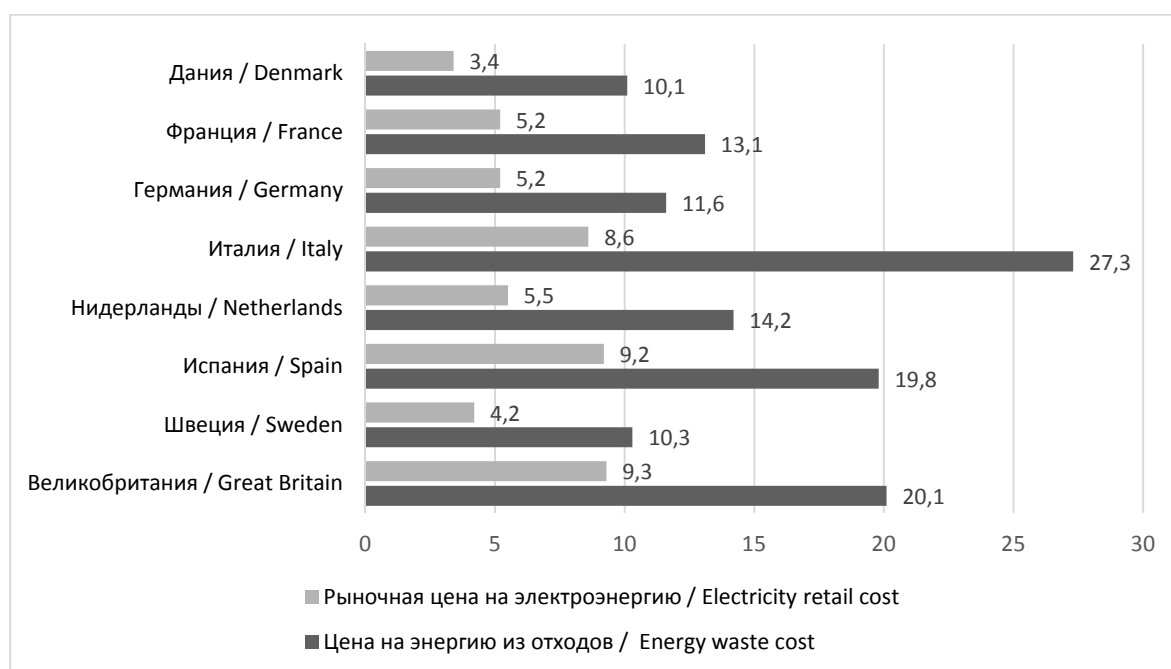


Рис. 5 / Fig. 5. Сравнение цены на энергию из отходов и рыночной цены на электроэнергию в некоторых странах, евро цент/КВт·ч, 2020 г. / Comparison of the energy waste cost and the market price of electricity in some countries, Euro cent/kW-h, 2020

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

ЕС оказывает финансовую поддержку строительству таких заводов, выделяя на это гранты: в Софии, Болгария, ведется строительство завода по выработке энергии из отходов мощностью 180 тыс. т в год по технологии сжигания на колосниковой решетке. Еврокомиссия в 2019 г. приняла решение о выделении на этот проект гранта в размере 94 млн евро. В 2020 г. в Литве (Вильнюс и Каунас) введены в строй 2 завода по переработке отходов в энергию суммарной мощностью 350 тыс. т в год по технологии сжигания на колосниковой решетке. Еврокомиссия в 2016 г. приняла решение о выделении на этот проект гранта в размере 150 млн евро.

Среди механизмов финансирования и поддержки отрасли по переработке отходов с получением энергии можно отметить, в частности, применение механизма на основе договоров о предоставлении мощности (ДПМ), который направлен на стимулирование инвестиций в модернизацию оборудования для снижения издержек и повышения эффективности, а также строительство новых, более современных генерирующих мощностей в электроэнергетике. Такой подход предполагает, что новые мощности оплачивают-

ся по повышенным тарифам в течение определенного времени (10–20 лет), что обеспечивает гарантированную окупаемость инвестиций и эксплуатационных расходов.

К числу таких стимулирующих мер относится введение «зеленого» тарифа на энергию и мощность объектов по энергетической утилизации отходов, механизма расширенной ответственности производителей, а также «зеленых» облигаций [22, 23] и механизмов бюджетной поддержки и долевого финансирования [24]. Важным инструментом в системе управления привлечением инвестиций в инфраструктурные проекты, в том числе в проекты получения энергии из отходов, является проектное финансирование [25].

Расходы на 1 т отходов в России в 5–6 раз ниже, чем в зарубежных странах, где плата за прием отходов составляет 10–20 долл./т, что примерно соответствует текущим уровням в России. Среди других стимулирующих мер можно отметить временное освобождение от уплаты налога на прибыль, предоставление площадки и внешней инфраструктуры под строительство заводов со стороны местных органов управления, возврат НДС с продажи электроэнергии. Основная часть

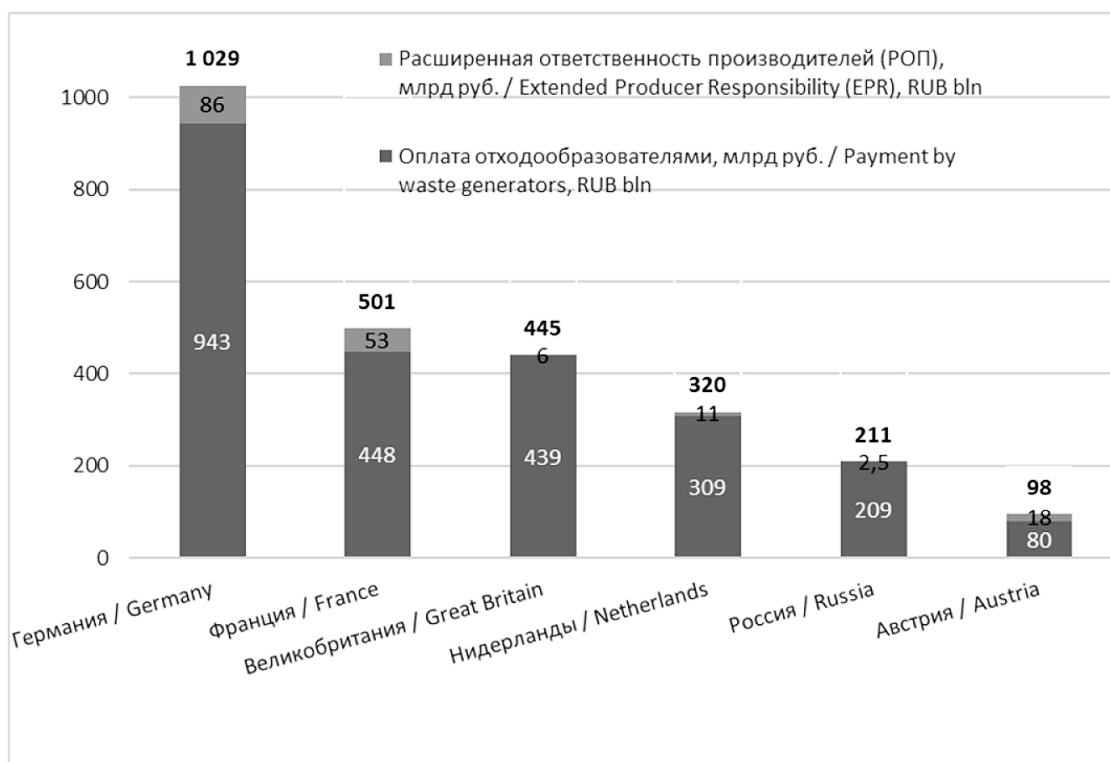


Рис. 6 / Fig. 6. Размер рынка обращения с отходами в некоторых странах Европы и в России, млрд руб., 2020 г. / The size of the waste management market in some European countries and in Russia, bln RUB, 2020.

Примечание / Note: для расчетов взяты курс евро: 91 руб./евро, курс английского фунта стерлинга: 103 руб. / For calculations, the euro exchange rate is taken: 91 RUB/EUR, the Great Britain pound exchange rate: 103 RUB/GBP.

Источник / Source: разработано авторами / developed by the authors.

выручки завода (70–80%) по энергетической утилизации отходов приходится на продажу электроэнергии.

На рис. 6 дана оценка рынка обращения с отходами в некоторых странах Европы и в России с точки зрения возможностей финансирования данной сферы деятельности.

Благодаря применению комплекса мер поддержки Китаю удалось создать отрасль энергетической утилизации отходов «с нуля» за 15 лет и сократить уровень захоронения более чем на 50%. В целях стимулирования инвестиций для строительства объектов по выработке энергии из отходов применяются меры государственной поддержки, а также прямое субсидирование и ряд налоговых льгот [26].

Выводы

1. Решение приоритетных задач по формированию отрасли по переработке ТКО требует применения новых подходов по обоснованию и реализации инвестиционных проектов

в данной сфере. Одним из направлений решения данной проблемы является энергетическая утилизация отходов. Такой подход хорошо зарекомендовал себя за рубежом и позволяет перерабатывать не утилизируемые фракции отходов с получением энергии на колосниковой решетке.

2. Переработка отходов в энергию обладает значительным потенциалом по снижению выбросов парниковых газов. Поэтому применение такого подхода позволяет в комплексе решать не только обострившиеся проблемы утилизации отходов с учетом экологических требований, но и получать энергию из, по сути, возобновляемых источников, снижать выбросы парниковых газов, что в целом направлено на развитие в стране низкоуглеродной экономики.

3. Реализация инвестиционных проектов в сфере производства энергии из отходов предполагает применение новых управленческих решений по финансированию и поддержке таких проектов, что, наряду с мерами государственной поддержки, включает применение «зеленых» та-

рифов на энергию из отходов, «зеленых» облигаций, проектного финансирования и долевого участия заинтересованных сторон, а также торговлю квотами на выбросы парниковых газов.

4. Экологическая и климатическая проблематика становится все более востребованной в российском обществе. Проведенное исследование направлено на то, чтобы показать выгоды и преимущества энергетической утилизации

ТКО, снизить некоторое недоверие и предубеждение населения к проектам «энергия из отходов», а также обосновать перспективы дальнейшей работы в этом направлении. Практическая значимость работы обусловлена возможностью применения ее научных результатов в программах и стратегиях регионального развития в области управления твердыми коммунальными отходами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 20–010–00038а «Разработка инновационных основ переработки отходов в процессе развития “зеленой” экономики».

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper was prepared with the support of the grant of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project No. 20–010–00038a “Development of innovative basis for waste processing in the process of “green” economy development”.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бобылев С.Н., Кирюшин П.А., Кудрявцева О.В., ред. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России. М.: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; 2019. 284 с.
2. Исламова С.И., Мухамедшина Э.И. Технологии переработки, утилизации и получения энергии из твердых бытовых отходов. *Труды Академэнерго*. 2012;(4):88–96.
3. Алексашина В.В. Экология города. Мусоросжигательные заводы. *Academia. Архитектура и строительство*. 2014;(4):77–86.
4. Пляскина Н.И., Харитонов В.Н., Вижина И.А. Эколого-экономическая оценка энергетического потенциала утилизации твердых бытовых отходов в регионе. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки*. 2013;13(2):46–58.
5. Lavaee M.S. Waste to energy (WTE): Conventional and plasma-assisted gasification — experimental and modeling studies. A thesis. Waterloo, ON: University of Waterloo; 2013. 123 p. URL: https://uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/7461/Lavaee_Mohammad.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 04.06.2021).
6. Balsalobre-Lorente D., Leitão N.C., Bekun F.V. Fresh validation of the low carbon development hypothesis under the EKC Scheme in Portugal, Italy, Greece and Spain. *Energies*. 2021;14(1):250. DOI: 10.3390/en14010250
7. Баах Д. Анализ энергетического потенциала переработки твердых коммунальных отходов в управлении природопользованием. Мат. междунар. науч.-практич. конф. «Национальные приоритеты и безопасность» (Нальчик, 15–16 окт. 2020 г.). Нальчик: Графика; 2020:231–235. URL: <https://kbga.ru/nauka/conf/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%20-%202020.pdf> (дата обращения: 04.06.2021).
8. Celli G., Pilo F., Pisano G., Ruggeri S., Soma G.G. Relieving tensions on battery energy sources utilization among TSO, DSO, and service providers with multi-objective optimization. *Energies*. 2021;14(1):239. DOI: 10.3390/en14010239
9. Fragkos F., Fragkiadakis K., Paroussos L. Reducing the decarbonisation cost burden for EU energy-intensive industries. *Energies*. 2021;14(1):236. DOI: 10.3390/en14010236
10. Кирсанов С.А., Мустафин Г.Ф. Мировой и российский опыт утилизации твердых бытовых отходов. *Вестник Омского университета. Серия Экономика*. 2014;(2):114–120.

11. Мочалова Л. А., Гриненко Д. А., Юрак В. В. Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2017;(3):97–101. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-3-97-101
12. Асхабов Р. Ю., Алихаджиева Д. Ш. Управление проектами по переработке отходов на основе развития рынка экологических товаров, работ и услуг. *Горизонты экономики*. 2018;(3):5–9.
13. Алихаджиева Д. Ш. Обоснование критериев выбора инвестиционного проекта с применением «зеленых» технологий на основе методов анализа иерархий. *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2018;(11):238–246. DOI: 10.26726/1812-7096-2018-11-238-246
14. Воронин П. М. Разработка и мониторинг инвестиционной программы в сфере твердых коммунальных отходов. *Контроллинг*. 2017;(64):64–71.
15. Вега А. Ю., Ковальчук А. П., Милорадов К. А. Организационно-экономическая модель переработки отходов в контексте «зеленой» экономики. *Горизонты экономики*. 2020;(6):73–79.
16. Яшалова Н. Н. «Зеленая» экономика: вопросы теории и направления развития. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2013;9(11):33–40.
17. Tulupov A. S., Mudretsov A. F., Prokopiev M. G. Sustainable green development of Russia. In: Bogoviz A., ed. *Complex systems: Innovation and sustainability in the digital age*. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2020:135–140. (Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 282). DOI: 10.1007/978-3-030-44703-8_15
18. Лихачева О. И., Советов П. М. Концептуальное представление модели организации взаимодействия факторов сферы обращения с твердыми коммунальными отходами в регионе. *Экономика устойчивого развития*. 2018;(1):156–163.
19. Павленков М. Н., Маева Л. С. Алгоритм оценки полноты и достоверности информационного обеспечения прогнозирования объемов твердых коммунальных отходов. *Контроллинг*. 2018;(70):64–71.
20. Birsan N. Plasma gasification — the waste-to-energy solution for the future. *Problems of the Regional Energetics*. 2014;(3):107–115.
21. Путинцева Н. А. Организация раздельного сбора твердых коммунальных отходов в России. *Петербургский экономический журнал*. 2019;(1):81–88.
22. Силпагар Э. Ю. Развитие «зеленых» облигаций в России как инструмента инвестирования в природоохранные проекты. *Экономика и предпринимательство*. 2020;(12):1235–1238. DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.248
23. Тютюкина Е. Б., Седаш Т. Н. Экотехнопарк как региональный институт системы обращения с отходами. *Региональная экономика: теория и практика*. 2021;19(3):563–578. DOI: 10.24891/re.19.3.563
24. Новоселов А. Л., Потравный И. М., Новоселова И. Ю., Чавез Феррейра К. Й. Механизм реализации инвестиционных проектов экологической направленности на основе долевого финансирования. *Экономика региона*. 2018;14(4):1488–1497. DOI: 10.17059/2018-4-33
25. Gubernatorov A. M., Tutukina E. B., Kiloeva M. M. Project financing opportunities in the digital economy of municipal solid waste. In: Proc. 1st Int. sci. and pract. conf. on digital economy (ISCDE 2019). Dordrecht: Atlantis Press; 2019:477–480. (Advances in Economics, Business and Management Research. Vol. 105). DOI: 10.2991/iscde-19.2019.90
26. Тулупов А. С., Мудрецов А. Ф., Прокопьев М. Г. О методике исчисления размера вреда окружающей среде, причиненного загрязнением атмосферного воздуха. *Экология и промышленность России*. 2019;23(6):41–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-06-41-45

REFERENCES

1. Bobylev S. N., Kiryushin P. A., Kudryavtseva O. V. Green economy and sustainable development goals for Russia. Moscow: Economics Faculty of Lomonosov Moscow State University; 2019. 284 p. (In Russ.).
2. Islamova S. I., Mukhamedshina E. I. Technologies of processing, utilization and energy production from solid household waste. *Trudy Akademenergo = Transactions of Akademenergo*. 2012;(4):88–96. (In Russ.).
3. Aleksashina V. V. The ecology of the city. Waste incineration plants. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia. Architecture and Construction*. 2014;(4):77–86. (In Russ.).

4. Plyaskina N.I., Kharitonova V.N., Vizhina I.A. Ecological and economic evaluation of the energy potential utilization of solid waste in the region. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Social'no-ekonomicheskie nauki = Vestnik NSU. Series: Social and Economic Sciences*. 2013;13(2):46–58. (In Russ.).
5. Lavaee M. S. Waste to energy (WTE): Conventional and plasma-assisted gasification — experimental and modeling studies. A thesis. Waterloo, ON: University of Waterloo; 2013. 123 p. URL: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/7461/Lavaee_Mohammad.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed on 04.06.2021).
6. Balsalobre-Lorente D., Leitão N. C., Bekun F. V. Fresh validation of the low carbon development hypothesis under the EKC Scheme in Portugal, Italy, Greece and Spain. *Energies*. 2021;14(1):250. DOI: 10.3390/en14010250
7. Baah D. Analysis of the energy potential of solid municipal waste processing in environmental management. In: Proc. Int. sci. and pract. conf. “National priorities and security” (Nalchik, Oct. 15–16, 2020). Nalchik: Grafika; 2020:231–235. URL: <https://kbgau.ru/nauka/conf/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%20-%202020.pdf> (accessed on 04.06.2021). (In Russ.).
8. Celli G., Pilo F., Pisano G., Ruggeri S., Soma G. G. Relieving tensions on battery energy sources utilization among TSO, DSO, and service providers with multi-objective optimization. *Energies*. 2021;14(1):239. DOI: 10.3390/en14010239
9. Fragkos F., Fragkiadakis K., Paroussos L. Reducing the decarbonisation cost burden for EU energy-intensive industries. *Energies*. 2021;14(1):236. DOI: 10.3390/en14010236
10. Kirsanov S. A. Mustafin G. F. World and Russian experience of utilization solid domestic waste. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya: Ekonomika = Herald of Omsk University. Series: Economics*. 2014;(2):114–120. (In Russ.).
11. Mochalova L. A., Grinenko D. A., Yurak V. V. The management of solid municipal waste: Domestic and foreign experience. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2017;(3):97–101. (In Russ.). DOI: 10.21440/2307–2091–2017–3–97–101
12. Askhabov R. Yu., Alikhadzhieva D. Sh. Managing recycling projects based on the development of the market for environmental goods and services. *Gorizonty ekonomiki*. 2018;(3):5–9. (In Russ.).
13. Alikhadzhieva D. Sh. Substantiation of criteria of choice of the investment project with the application of “green” technologies based on methods of analysis of hierarchies. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki = Regional Problems of Economic Transformation*. 2018;(11):238–246. (In Russ.). DOI: 10.26726/1812–7096–2018–11–238–246
14. Voronin P. M. Development and monitoring of the investment program in the field of solid municipal waste. *Kontrolling = Controlling*. 2017;(64):64–71. (In Russ.).
15. Vega A. Yu., Kovalchuk A. P., Miloradov K. A. Organizational and economic model of waste processing in the context of the “green” economy. *Gorizonty ekonomiki*. 2020;(6):73–79. (In Russ.).
16. Yashalova N. N. “Green” economy: Questions of theory and directions of development. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*. 2013;9(11):33–40. (In Russ.).
17. Tulupov A. S., Mudretsov A. F., Prokopiev M. G. Sustainable green development of Russia. In: Bogoviz A., ed. *Complex systems: Innovation and sustainability in the digital age*. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2020:135–140. (Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 282). DOI: 10.1007/978–3–030–44703–8_15
18. Likhacheva O. I., Sovetov P. M. Conceptual representation of the model of organization of interaction of factors in the sphere of solid municipal waste management in the region. *Ekonomika ustoichivogo razvitiya = Economics of Sustainable Development*. 2018;(1):156–163. (In Russ.).
19. Pavlenkov M. N., Maeva L. S. Algorithm for estimating the completeness and accuracy of information support of municipal solid waste forecasting. *Kontrolling = Controlling*. 2018;(70):64–71. (In Russ.).
20. Birsan N. Plasma gasification — the waste-to-energy solution for the future. *Problems of the Regional Energetics*. 2014;(3):107–115.

21. Putintseva N.A. Organization of separate collection of solid municipal waste in Russia. *Peterburgskii ekonomicheskii zhurnal = Saint-Petersburg Economic Journal*. 2019;(1):81–88. (In Russ.).
22. Silpagar E. Yu. Development of “green” bonds in Russia as a tool for investing in environmental projects. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2020;(12):1235–1238. (In Russ.). DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.248
23. Tyutyukina E. B., Sedash T. N. Eco-technology park as a regional institution of the waste management system. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*. 2021;19(3):563–578. (In Russ.). DOI: 10.24891/re.19.3.563
24. Novoselov A. L., Potravny I. M., Novoselova I. Yu., Chàvez Ferreira K. Y. The mechanism to implement environmental investment projects on the basis of equity financing. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2018;14(4):1488–1497. (In Russ.). DOI: 10.17059/2018–4–33
25. Gubernatorov A. M., Tutukina E. B., Kiloeva M. M. Project financing opportunities in the digital economy of municipal solid waste. In: Proc. 1st Int. sci. and pract. conf. on digital economy (ISCDE 2019). Dordrecht: Atlantis Press; 2019:477–480. (Advances in Economics, Business and Management Research. Vol. 105). DOI: 10.2991/iscde-19.2019.90
26. Tulupov A. S., Mudretsov A. F., Prokopyev M. G. On the methods for calculating the size of harm to the environment, caused by air pollution. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2019;23(6):41–45. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816–0395–2019–06–41–45

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иван Михайлович Потравный — доктор экономических наук, профессор, профессор базовой кафедры «Управление проектами и программами Capital Group», Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия
ecoaudit@bk.ru

Дорис Баах — эксперт, Межрегиональный центр экологического аудита и консалтинга, Аккра / Гана
doryzbee@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Ivan M. Potravny — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor of the basic Department Project and Program Management of Capital Group, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
ecoaudit@bk.ru

Doris Baah — Expert, Interregional Center for Environmental Audit and Consulting, Accra, Ghana
doryzbee@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21.04.2021; после рецензирования 24.05.2021; принята к публикации 01.07.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 21.04.2021; revised on 24.05.2021 and accepted for publication on 01.07.2021.

The authors read and approved the final version of the manuscript.