



УДК 338.24.01(476.7)+504.062(476.7)

Т. Ф. СТАРОВОЙТОВА,

Академия управления при Президенте Республики Беларусь
(г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: tstarovoitova@tut.by),
доцент кафедры управления информационными ресурсами;
кандидат экономических наук, доцент

Н. Н. ЛЕОНОВИЧ,

Академия управления при Президенте Республики Беларусь
(г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: nleonovich@g.bstu.by),
аспирантка кафедры управления информационными ресурсами

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БРЕСТА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Рассматриваются основные принципы модели экономики замкнутого цикла (reduce, reuse, recycle – принцип «3R») и предлагается возможность перехода функционирования экономики с линейной модели на новую ресурсосберегающую, предусматривающую в том числе повторное использование и переработку отходов. В связи с этим анализируется текущая ситуация в Республике Беларусь по обращению с отходами в законодательном аспекте, а также динамика образования отходов производства и потребления за последние 8 лет. Выполняется прогнозная оценка количественных показателей образования отходов в среднесрочной перспективе на примере города Бреста для планирования внедрения принципов экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла; ресурсы; отходы производства; отходы потребления; повторное использование.

Введение

Одним из исторически первых элементов концепции экономики замкнутого цикла является международная инициатива, реализуемая программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (UNEP) и направленная на сокращение объемов образования отходов (reduce), повторное использование (reuse), а также использование отходов в качестве вторичного сырья (recycle) – принцип «3R» [1].

Таким образом, концепция экономики замкнутого цикла предполагает построение экономической деятельности на принципах, ориентированных на долговечность и длительное использование, развитие технического обслуживания и сервисной поддержки, восстановление и переработку. Дополнительно на каждом из указанных этапов жизненного цикла продукции сами циклы могут быть замкнуты на разных уровнях: на уровне энергии, материалов, продукции целиком и ее отдельных компонентов. Переход к этому типу экономики характеризует оптимизацию производства, повторное или совместное использование продукта, циклическую переработку отходов в новые ресурсы. Следовательно, для улучшения экологической обстановки, предотвращения необходимости строительства новых полигонов для захоронения

твердых бытовых отходов (далее – ТБО) необходимо максимальное вовлечение в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов, которые нужно отделять каждому гражданину еще до отправки мусора в отходы.

Основная часть

Для устойчивого развития страны, включающего устранение связи между экономическим ростом и потреблением первичных ресурсов (эффект декаплинга) [2], назревает необходимость замены устаревающей традиционной линейной экономической модели производства (рис. 1) (когда ресурсы добываются, используются для производства товаров, которые потребляются, а затем, после использования, вывозятся для захоронения на полигоны), на модель, которая предусматривает использование отходов как вторичных ресурсов в новых циклах производства, – экономику замкнутого цикла или, другими словами, циркулярную экономику (Circular economy) (рис. 2). Следствием перехода к циклическому замыканию ресурсов является повышение конкурентоспособности национальной экономики в результате снижения себестоимости производимой продукции за счет уменьшения использования первичных ресурсов.



Рис. 1. Модель линейной экономики производства

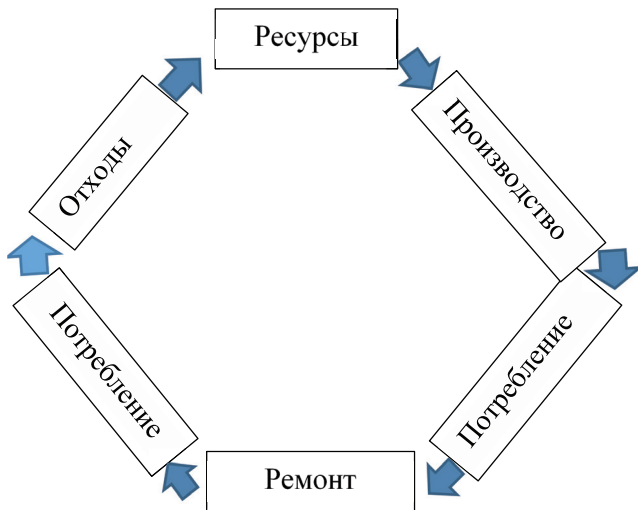


Рис. 2. Модель экономики замкнутого цикла

Необходимость возвращения отходов производства и потребления в оборот очевидна как с точки зрения экономической целесообразности, так и экологической безопасности. Расходы новых природных запасов – это сложное и стоящее больших денег производство, а качественная переработка различных фракций отходов дает возможность использовать вторичное сырье в новых циклах производства, позволяет обеспечить минимизацию добычи и импорта природных ресурсов (включая энергоносители), энергосбережение, а также минимальное захоронение неиспользованных отходов на полигонах (которое, в свою очередь, влечет сопутствующее загрязнение находящихся в непосредственной близости природных ресурсов – воздуха, грунта и недр). В совокупности названные элементы повышают рентабельность во всех масштабах: от домохозяйств и малых предприятий до глобальной экономики.

Эффективная переработка всех отходов имеет следующие положительные аспекты:

- промышленность обеспечивается дешевым сырьем;
- экономится электроэнергия, вода;
- сокращаются затраты, связанные с захоронением мусора на полигонах;
- появляется доход от реализации отсортированных полезных компонентов;
- создаются новые рабочие места на перерабатывающих предприятиях;
- сохраняются ресурсы для будущих поколений.

Важной составляющей ресурсосберегающей модели является обеспечение максимальной эф-

фективности каждого процесса в жизненном цикле товара или услуги: от проектирования и добычи сырья до транспортировки, производства, использования, ремонта, повторного использования и переработки, основанное как на технологических инновациях, так и на социальных. Метод *LCA* (*Life Cycle Assessment*) – это метод, разработанный Международной организацией по стандартизации (*ISO – International Organization for Standardization*) для оценки жизненного цикла продукции [3], рассматривает и выявляет потенциальные воздействия на окружающую среду в целях последующей минимизации использования ресурсов.

Циркулярная экономика входит в концептуальные рамки зеленой экономики и предполагает минимизацию добычи и импорта природных ресурсов (включая энергоносители), а также уменьшение степени захоронения неиспользованных отходов. Согласно статье 1 Закона Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-3 «Об обращении с отходами» (далее – Закон об обращении с отходами), различают [5]:

- отходы производства – отходы, образующиеся в процессе осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями экономической деятельности (производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг), побочные и сопутствующие продукты добычи и обогащения полезных ископаемых;

- отходы потребления – отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека, не связанной с осуществлением экономической деятельности, отходы, образующиеся в потребительских кооперативах и садоводческих товариществах, а также смет, образующийся на землях общего пользования.

Комплекс организационных этапов для увеличения доли повторного использования всех отходов (производства и потребления) предположительно можно свести к следующим шагам [4]:

- получение информации о количестве и происхождении отходов, а также будущей эволюции потоков отходов;
- получение информации о существующих схемах сбора отходов и утилизации, включая опасные отходы, для которых применяются специальные положения и законы;
- оценка потребности в новых системах сбора, организации работы этих систем;
- получение информации об основных объектах по восстановлению;
- разработка стратегий управления отходами, решающих конкретные проблемы производства.

Таким образом, анализ количества отходов и способа их происхождения является одним из



ключевых подходов в стратегическом переходе к экономике замкнутого цикла.

Целью данного исследования является анализ текущей ситуации в Республике Беларусь по управлению отходами и прогнозная оценка количественных показателей образования отходов в среднесрочной перспективе на примере города Бреста для планирования внедрения принципов экономики замкнутого цикла.

Современная ситуация в обращении с отходами по стране. В настоящее время отрасль обращения с отходами в Республике Беларусь находится на стадии формирования. Основным нормативным документом, регламентирующим и регулирующим все этапы обращения с отходами, является Закон об обращении с отходами [5], который определяет правовые основы обращения с отходами, устанавливает порядок сбора, удаления твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) и отходов производства. Согласно пункту 2 статьи 17 Закона об обращении с отходами жители обязаны осуществлять раздельный сбор ТКО, если для этого созданы соответствующие условия, например: расставлены специальные контейнеры для разных видов вторичных материальных ресурсов, организованы приемные пункты заготовки вторичных ресурсов. В свою очередь, коммунальные службы, обслуживающие дома, обязаны создать условия для выполнения жителями установленных законом обязанностей. Перечень коммунальных отходов утвержден постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 26 декабря 2019 г. № 31 «Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам» [6].

В нашей стране можно выделить три основных источника отходов: отходы домохозяйств (твердые бытовые), отходы производства (предприятия и организации) и сточные воды. Организацию, сбор, обезвреживание или использование отходов, образующихся после утраты потребительских свойств товаров координирует министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, а реализует Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь.

Наряду с Законом об обращении с отходами в Беларуси действуют многочисленные нормативные правовые акты и технические нормативные правовые акты. В указанных документах устанавливаются правила ведения документации и учета в области обращения с отходами, а также приводятся требования к хранению, использованию, обезвреживанию, перевозке и захоронению отходов.

Современное управление отходами, предусматривающее предотвращение их образования и минимизацию потока, в Беларуси пока не получило полномасштабного практического развития. Об этом свидетельствует продолжающийся рост объемов отходов потребления, соответствующий росту благосостояния населения, и увеличивающийся объем отходов производства, соответствующий темпам роста промышленности. Динамику количественного образования отходов потребления и отходов производства позволяют отследить статистические данные (рис. 3, 4). За последние 8 лет ежегодная масса ТКО увеличилась на 57 тыс. т, одновременно с этим ежегодная масса отходов производства выросла на 19 990 тыс. т – практически на 50 %.

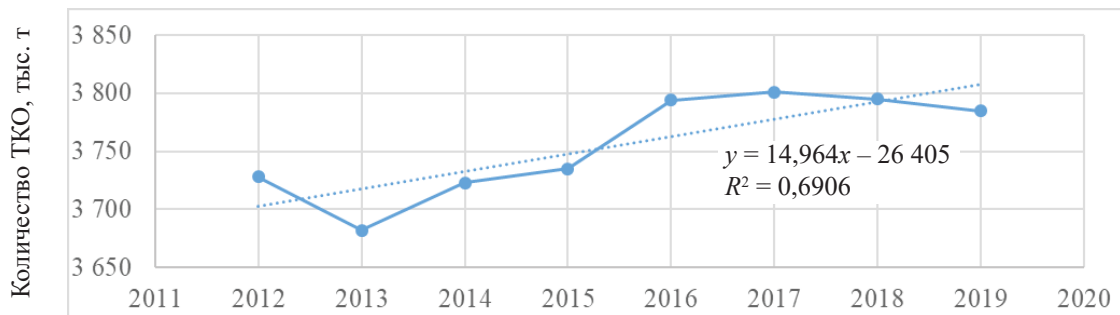


Рис. 3. Динамика ТКО за период 2012–2019 гг.

Примечание: по данным [7].

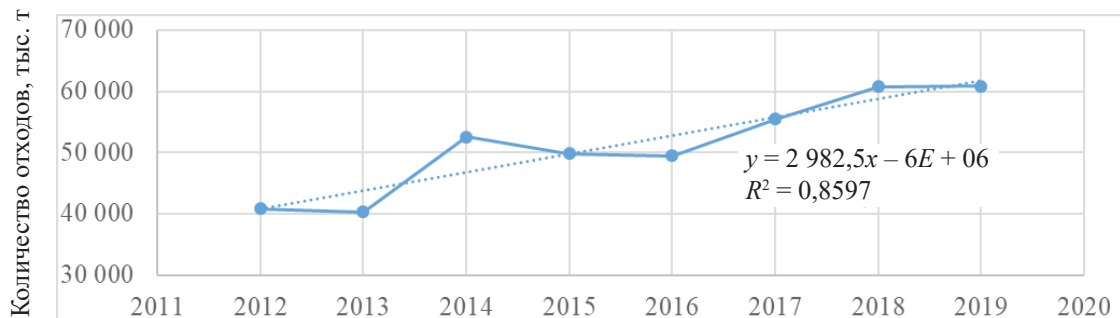


Рис. 4. Динамика отходов производства за период 2012–2019 гг.

Примечание: по данным [7].

Анализ временных рядов образования отходов потребления и методы исследования. Для изучения поведения сложных динамических систем широко используется подход, основанный на анализе значений данных, принадлежащих этой системе, поэтому анализ систем часто реализуется посредством обработки регистрируемых значений. Изучение поведения динамических систем производится при помощи анализа временных рядов [8–10]. Основной целью исследования временных рядов является идентификация модели для дальнейшей экстраполяции на ее основе, т. е. предсказывание будущих значений для улучшения управления существующим производством

и визуализации возможной перспективы поведения динамической системы.

Представленные в таблице данные содержат информацию о массе ТКО, поступивших на Брестский мусороперерабатывающий завод от организаций и населения города Бреста за отрезок времени с 2014 по 2019 г.

Предварительный графический анализ временных рядов из таблицы показывает, что ежегодно тенденции по образованию отходов потребления повторяются и прослеживаются две сезонных составляющих, содержащие локальные максимумы отходов потребления и производства, которые приходятся на весенние месяцы и на третий квартал года (рис. 5).

Таблица

Поступление ТКО за период 2014–2019 гг. по городу Бресту, в тоннах

Месяц	Год					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
январь	5 679	6 259	5 248	4 835	5 564	5 863
февраль	5 576	5 448	5 250	4 453	4 690	5 648
март	6 672	6 721	5 735	6 050	5 667	6 684
апрель	6 835	6 460	6 181	5 528	6 271	7 307
май	6 790	6 560	5 850	6 230	6 378	6 940
июнь	6 462	6 091	5 595	5 603	5 846	6 580
июль	7 180	6 440	6 174	5 918	7 508	7 515
август	8 182	7 096	7 950	6 902	8 524	8 407
сентябрь	8 100	7 206	7 049	6 954	7 636	7 560
октябрь	7 728	7 072	6 849	7 158	7 094	7 909
ноябрь	6 657	6 300	6 140	6 342	6 348	6 978
декабрь	6 207	6 045	5 237	5 737	5 980	6 453
Итого	82 067	77 698	73 258	71 709	77 506	83 845

Примечание: по данным Брестского мусороперерабатывающего завода.

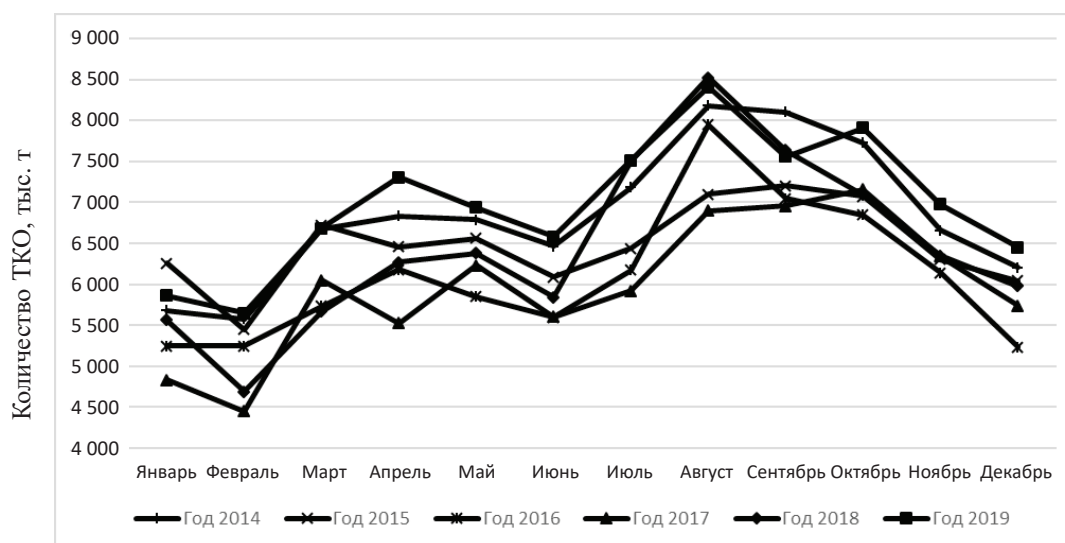


Рис. 5. Образование ТКО в городе Бресте по месяцам за 2014–2019 гг.



Для экстраполяции данных временные ряды были объединены в один числовой ряд с количеством уровней вложения, равным 72. Построенный график по временному ряду имеет явную периодичность (рис. 6), которая является важной характеристикой, позволяющей в дальнейшем упростить поиск наилучшей модели. Результатом использования аналитического метода спектрального анализа Фурье [11] является построенная периодограмма (рис. 7), которая показывает значение периода для экспериментальных данных – 12 уровней, совпадающее со значением точки максимума на периодограмме и количеством месяцев в календарном году.

Для экстраполяции количественных показателей объекта исследования был использован метод скользящей средней.

Метод скользящей средней (*Moving Average, MA*) наиболее эффективен при выполнении среднесрочных прогнозов на несколько периодов вперед

[12]. Применяя данный метод, можно игнорировать случайные компоненты и получить значения, соответствующие влиянию главных факторов. Уравнение расчета значений методом скользящей средней имеет вид

$$Y_{t+1} = m_{t-1} + \frac{1}{n} \cdot (Y_t - Y_{t-1}),$$

где t – период, предшествующий прогнозируемому; $t + 1$ – прогнозируемый период; Y_{t+1} – прогнозируемый показатель; m_{t-1} – скользящая средняя; n – число уровней, входящих в интервал сглаживания; Y_t – фактическое значение исследуемого показателя за период, предшествующий прогнозируемому; Y_{t-1} – фактическое значение исследуемого показателя за два периода, предшествующих прогнозируемому.

При оценке качества модели рассчитывается средняя относительная ошибка по формуле

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_{\phi} - y_p}{y_{\phi}} \cdot 100 \right].$$

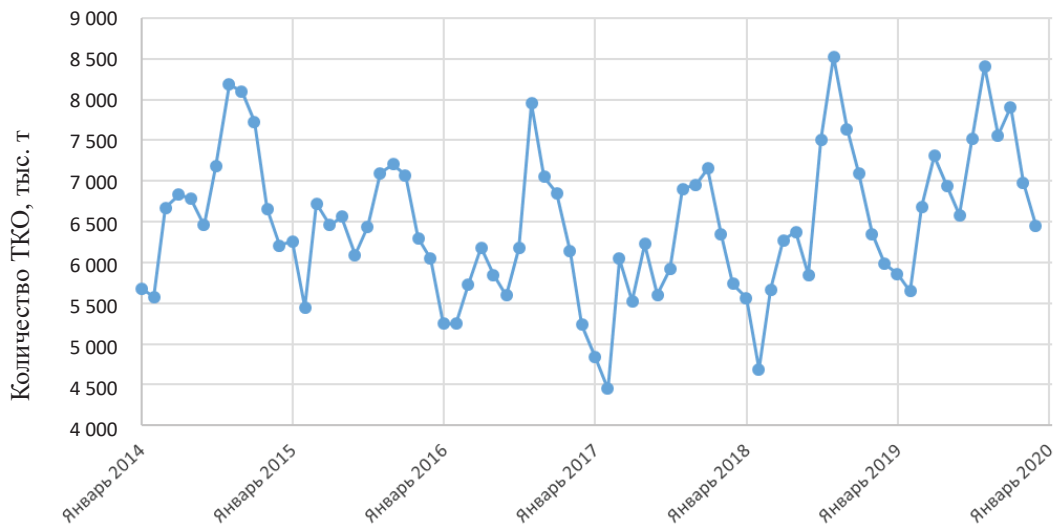


Рис. 6. Поступления ТКО от населения за 2014–2019 гг. в городе Бресте

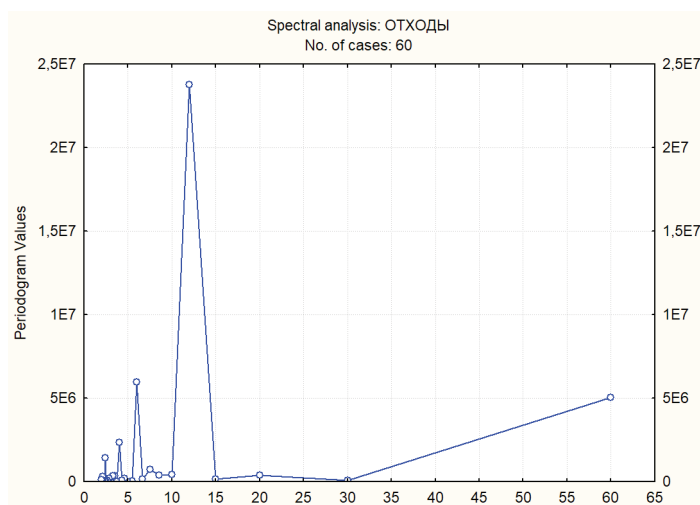


Рис. 7. Периодограмма по временному ряду данных из таблицы

Прогнозные оценки количественных показателей образования отходов потребления. Для визуальной оценки возможности применения метода скользящей средней построены графики исходного временного ряда, а также ряда, полученного при помощи модели скользящей средней (рис. 8), где каждое значение предсказанного ряда строится по предыдущим значениям трех периодов исходного. В результате расчета по фактическим и прогнозным значениям для временного ряда с 2017 по 2019 г. средняя относительная ошибка составила 12,34%. В этом случае не видно, как поведет себя ряд дальше, для этих целей используется проекция, где каждое значение предсказанного временного ряда будет строиться по предсказанным значениям этого же временного ряда.

При помощи полученной экспериментальной модели временной ряд был спрогнозирован на три периода до 2022 г. (рис. 9).

Установлено, что прогнозируемый ежемесячный объем образования ТКО по городу Бресту может составить более 6,5 тыс. т каждый месяц или 216 т ежедневно. Анализ возможного образования отходов потребления по полученным прогнозируемым значениям показал, что прослеживается четкая тенденция к увеличению массы отходов потребления в начале года, в весенние месяцы, а также в октябре.

Заключение

Планирование применения концепции экономики замкнутого цикла предполагает получение ин-

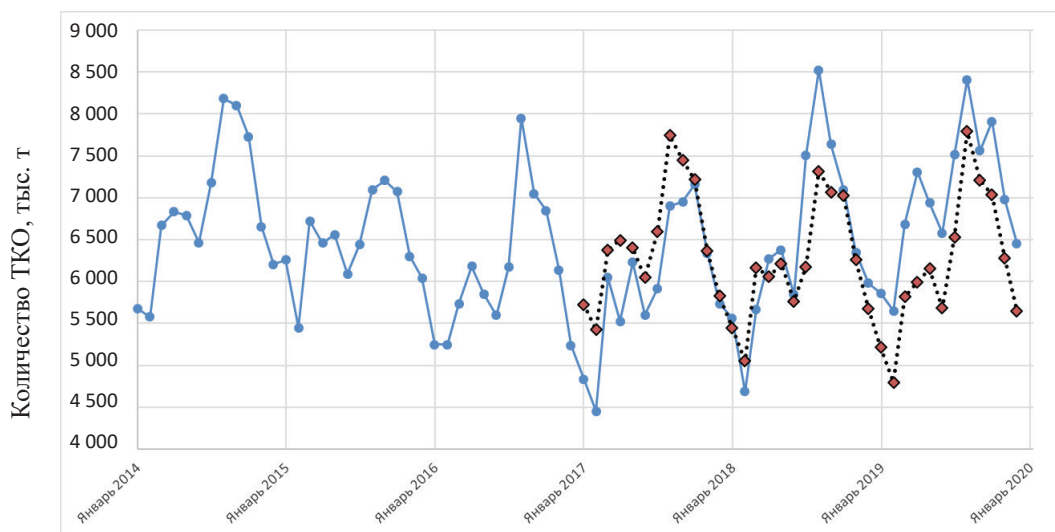


Рис. 8. Применение модели скользящей средней

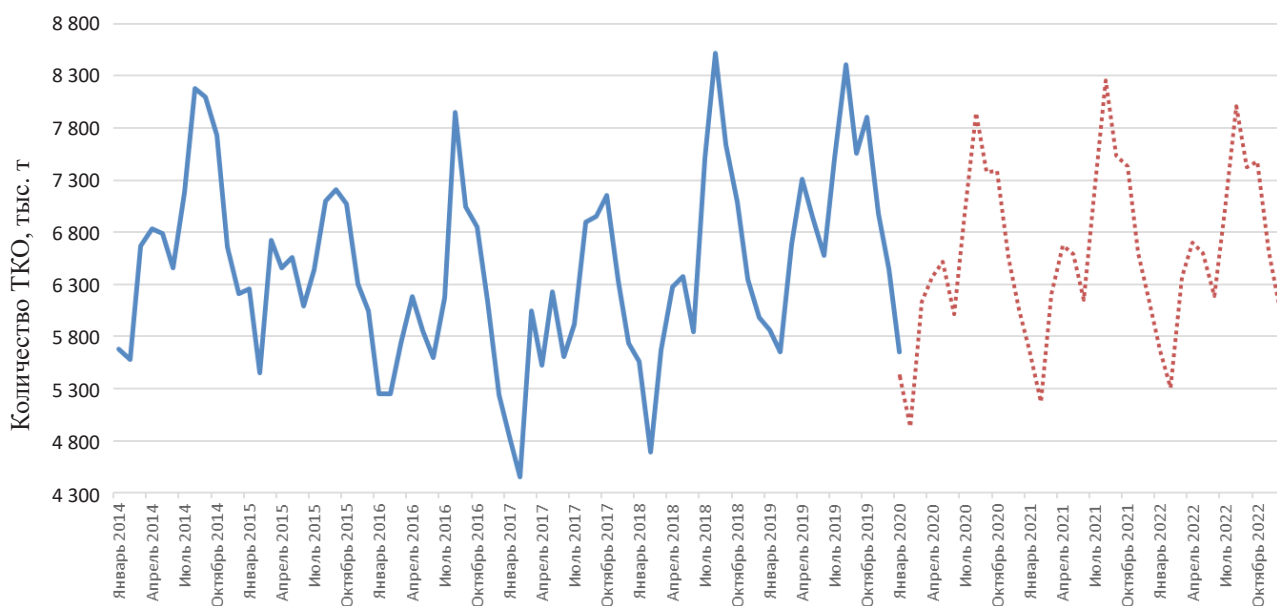


Рис. 9. Проекция возможного образования ТКО по городу Бресту на период 2020–2022 гг.



формации о количестве и происхождении отходов, а также будущей эволюции потоков отходов. В ходе данного исследования изучена текущая ситуация по Республике Беларусь в сфере управления отходами; на основе сведений по образованию отходов потребления в городе Бресте проведен анализ годовой динамики и выполнен среднесрочный прогноз до 2022 г. Построенная модель адекватно отражает тренд и сезонность временного ряда. Значение ошибки прогноза можно уменьшить путем увеличения длины исходного временного ряда, переходом анализа от месячной дискретности к временным отрезкам по дням, учетом дополнительных факторов, влияющих на количество образования отходов производства, так как данная информация позволяет задействовать более сложные и точные инструменты прогнозирования.

Обобщая вышесказанное, следует отметить следующее: для того чтобы идти в ногу с мировым развитием, на государственном уровне необходимо разрабатывать программу для сокращения объемов образования отходов, повторного, а также эффективного использования отходов в качестве вторичного сырья; развивать технологии; создавать новые учебные программы в области ресурсоэффективного циклического производства и готовить кадры, активно объяснять преимущества принципов экономики замкнутого цикла и устойчивого развития на всех уровнях образовательного процесса.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Reduce, reuse and recycle concept (the “3Rs”) and life-cycle economy [Electronic resource] / Governing Council of the United Nations Environment Programme. 2005. UNEP/GC.23/INF/11. – Mode of access: <https://digitallibrary.un.org/record/542126>. – Date of access: 29.08.2020.
2. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth [Electronic resource] / Organization for Economic Cooperation and Development, 2002. – Mode of access: [http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf?doclanguage=en&cote=sg/sd\(2002\)1/final](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf?doclanguage=en&cote=sg/sd(2002)1/final). – Date of access: 20.09.2020.

3. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines [Electronic resource] / ISO 14044:2006(en). – Mode of access: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>. – Date of access : 08.11.2020.

4. Сегрегация отходов как составляющая модели циркулярной экономики // Управление информационными ресурсами : материалы XV Международ. науч.-практ. конф., Минск, 7 декабря 2018 г. / Академия управления при Президенте Республики Беларусь ; редкол.: Н. Н. Бондаренко [и др.]. – Минск, 2018. – С. 286–288.

5. Об обращении с отходами [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З. – Режим доступа : [https://www.pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2007-183/2007-183\(008-046\).pdf&oldDocPage=1](https://www.pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2007-183/2007-183(008-046).pdf&oldDocPage=1). – Дата доступа: 01.10.2020.

6. Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам [Электронный ресурс] : постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, 26 декабря 2019 г., № 31. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035009_1579294800.pdf. – Дата доступа: 06.10.2020.

7. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2019. – 169 с.

8. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974.

9. Hamilton, James D. Time Series Analysis / James D. Hamilton. – Princeton University Press, 1994. – 820 с.

10. Паклин, Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / Н. Б. Паклин, В. И. Орешков. – СПб. : Изд. Питер, 2013. – 704 с.

11. Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://statsoft.ru/resources/statistica_text_book.php. – Дата доступа: 04.10.2020.

12. Елисеева, И. И. Статистика : учебник / И. И. Елисеева. – М. : Проспект, 2013. – 448 с

Дата поступления статьи в редакцию: 16.10.2020.

T. STAROVOITOVA, Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus (Minsk, the Republic of Belarus), Associate Professor of the Department of Information Resources Management; PhD in Economics

N. LEONOVICH, Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus (Minsk, the Republic of Belarus), Postgraduate Student of the Department of Information Resources Management

FORECASTED WASTE PRODUCTION ESTIMATIONS USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF BREST FOR CLOSED-CYCLE ECONOMIC MANAGEMENT PLANNING

The article considers the basic principles of the closed cycle economy model (reduce, reuse, recycle – “3R” principle) and proposes the possibility of transition of the economy functioning from the linear model to a new resource-saving one, which implies among other things, reuse and recycling of waste. In this regard, the current situation in the country on waste recycling management in the legislative aspect, as well as the dynamics of waste production over the last 8 years is analyzed. Further, the author makes the forecast estimation of the quantitative

indicators for waste production in the medium term perspective on the example of the city of Brest for planning the implementation of closed-cycle economy principles.

Key words: closed-cycle economy; resources; waste production; consumption waste; reuse.

REFERENCES

1. Reduce, reuse and recycle concept (the “3Rs”) and life-cycle economy [Electronic resource] / Governing Council of the United Nations Environment Programme. 2005. UNEP/GC.23/INF/11. – Mode of access: <https://digitallibrary.un.org/record/542126>. – Date of access: 29.08.2020.
2. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth [Electronic resource] / Organization for Economic Cooperation and Development, 2002. – Mode of access: [http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=sg/sd\(2002\)1/final](http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=sg/sd(2002)1/final). – Date of access: 20.09.2020.
3. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines [Electronic resource] / ISO 14044:2006(en). – Mode of access: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>. – Date of access: 08.11.2020.
4. Segregacija othodov kak sostavljajushhaja modeli cirkuljarnoj jekonomiki // Upravlenie informacionnymi resursami : materialy XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 7 dekabnja 2018 g. / Akademija upravljenja pri Prezidente Respubliki Belarus’ ; redkol.: N. N. Bondarenko [i dr.]. – Minsk, 2018. – S. 286–288.
5. Ob obrashhenii s othodami [Jelektronnyj resurs]: Zakon Resp. Belarus’, ot 20 ijulja 2007 g., № 271-Z. – Rezhim dostupa: [https://www.pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2007-183/2007-183\(008-046\).pdf&oldDocPage=1](https://www.pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2007-183/2007-183(008-046).pdf&oldDocPage=1). – Data dostupa: 01.10.2020.
6. Ob ustanovlenii perechnja othodov, odnosjashhihsja k kommunal’nym ot-hodam [Jelektronnyj resurs] : postanovlenie Ministerstva zhilishhno-kommunal’nogo hozjajstva Respubliki Belarus’, 26 dekabnja 2019 g., № 31. – Rezhim dostupa: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035009_1579294800.pdf. – Data dostupa: 06.10.2020.
7. Ohrana okruzhajushhej sredy v Respublike Belarus’ : stat. sb. / Nac. stat. komitet Resp. Belarus’ ; redkol.: I. V. Medvedeva [i dr.]. – Minsk, 2019. – 169 s.
8. *Boks, Dzh.* Analiz vremennyh rjadov. Prognoz i upravlenie / Dzh. Boks, G. Dzenkins. – M. : Mir, 1974.
9. *Hamilton, James D.* Time Series Analysis / James D. Hamilton. – Princeton University Press, 1994. – 820 c.
10. *Paklin, N. B.* Biznes-analitika: ot dannyh k znaniyam / N. B. Paklin, V. I. Oreshkov. – SPb. : Piter, 2013. – 704 s.
11. Jelektronnyj uchebnyk po statistike [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://statsoft.ru/resources/statistica_text_book.php. – Data dostupa: 04.10.2020.
12. *Eliseeva, I. I.* Statistika : uchebnyk / I. I. Eliseeva. – M. : Prospekt , 2013. – 448 s.