

Экологические аспекты жизненного цикла продукции в условиях цифрового развития

Л. В. Гринцевич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

grintsevich@bntu.by

Аннотация. Рассмотрено влияние цифрового развития и научно-технического прогресса на жизненный цикл продуктов. Технический прогресс и цифровые технологии ускоряют смену поколений продуктов, и отношение людей к материальным объектам становится утилитарным: они воспринимаются как расходный материал для обеспечения текущего комфорта. Правительства многих стран и общественные организации прилагают большие усилия для решения вопроса защиты окружающей среды путем переработки отходов. Цикл производства и потребления линейной экономики не решает проблему возникновения отходов. Принципы циркулярной экономики, направленные на разумное потребление и продление времени эксплуатации продуктов, расходятся с принципами экономической эффективности производства, согласно которым, для получения прибыли необходимо выпускать больше товаров. *Новизна и актуальность* данного исследования заключаются в попытке разрешить данное противоречие. *Цель исследования* — обоснование необходимости переориентации стратегий борьбы с возрастающим уровнем отходов на минимизацию их производства за счет управления стадиями жизненного цикла продуктов в концепции циркулярной экономики с использованием возможностей цифровых технологий. *Основные результаты:* установлено, что жизненный цикл продуктов сокращается под влиянием возможности покупки дешевых товаров и тенденций быстрого морального старения техники. Предложены меры, позволяющие стимулировать внедрение принципов циркулярной экономики в экономические системы стран.

Ключевые слова: цифровое развитие, жизненный цикл продукции, циркулярная экономика, управление ресурсами, проблема отходов

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Гринцевич Л. В. «Экологические аспекты жизненного цикла продукции в условиях цифрового развития». *Экономические и социально-гуманитарные исследования* 12.4 (2025): m12s01a12. <https://doi.org/10.24151/2409-1073-2025-12-4-m12s01a12>
EDN: MPGYNF.

Original article

Ecological aspects of production life cycle under conditions of digital development

L. V. Grintsevich

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

grintsevich@bntu.by

Abstract. In this work, the digital development impact on products life cycle is considered. Technical advance and digital technologies accelerate generational change of products, and human attitude towards material objects becomes utilitarian: they are perceived as expendable supplies for day-to-day comfort. Government bodies of several countries and public organizations put in place important steps to solve the environmental issues by waste recycling. Production-consumption cycle of linear economy provides no solution for wastes origination problem. The principles of cyclic economy aimed at sustainable consumption and prolongation of products in-service time diverge from production efficiency principles, according to which, profit earning requires greater commodity output. *The novelty* and *the relevance* of this study are in the attempt to resolve this contradiction. *The purpose of the study* is the statement of need to refocus strategies from fight against ever-growing waste level to minimizing waste production by managing products life cycle under cyclic economy conception using digital opportunities. *Main results:* it has been established that product life cycle shortens due to the possibilities of buying cheap goods and the tendency of fast technical product obsolescence. The measures are proposed allowing the stimulation of cyclic economy principles incorporation into economic systems of countries.

Keywords: digital development, production life cycle, cyclic economy, resources management, wastes problem

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Grintsevich L. V. "Ecological Aspects of Production Life Cycle Under Conditions of Digital Development". *Ekonomicheskie i sotsial'no-gumanitarnye issledovaniya = Economic and Social Research* 12.4 (2025): m12s01a12. (In Russian).
<https://doi.org/10.24151/2409-1073-2025-12-4-m12s01a12>

Введение

Научно-технический прогресс открывает большие возможности производства и реализации больших объемов продуктов (за последние пять лет человечество потребило более 500 гигатонн ресурсов, что составляет 28 % всех материалов, потребленных с 1900 г.), однако это, в свою очередь, влечет за собой проблемы перепроизводства и увеличения количества бытовых и производственных отходов.

Рост благосостояния граждан и быстрое развитие городов вызывают рост образования отходов. Прогнозируется, что к концу 2025 г. суммарный годовой объем твердых коммунальных отходов в мире достигнет отметки в 2,2 млрд т. Ежегодно в глобальную систему утилизации и на полигоны поступает 1,3 млрд т отходов. Увеличение скорости образования отходов наблюдается в большинстве государств планеты.

© Гринцевич Л. В.

В будущем этот тренд, скорее всего, продолжится, поскольку, учитывая глобальный рост численности людей и процесс урбанизации, предполагается¹, что годовой выход отходов к 2050 г. достигнет отметки в 3,8 млрд т. В 2020 г. мировые прямые затраты на управление отходами оценивались в 252 млрд долл. США. С учетом скрытых издержек, связанных с загрязнением окружающей среды, ухудшением здоровья и изменением климата в результате ненадлежащей утилизации отходов, эти затраты возросли до 361 млрд долл. США. Без срочных мер по управлению отходами к 2050 г. расходы на утилизацию этого мусора составят 640,3 млрд долл. США, что в 1,5 раза превышает бюджет России 2025 г. Данные российской статистики указывают, что российские тенденции соответствуют глобальным: согласно анализу FinExpertiza, основанному на информации Росприроднадзора², за 2024 г. количество отходов в стране увеличилось на 1,3 млн т, составив 47,2 млн т. Возникает общемировое несоответствие: экономическое процветание в сочетании с передовыми достижениями в области цифровизации благоприятствуют улучшению условий жизни, при этом увеличивают давление на окружающую среду (Перелет, 2018).

Количество научных статей, посвященных внедрению концепции циркулярной экономики, за последние пять лет выросло почти втрое, но доля вторичных материалов, потребляемых мировой экономикой, снизилась с 9,1 % в 2018 г. до 7,2 % в 2023 г. Управление жизненным циклом продукта может стать идеей, способствующей экономии ресурсов, минимизации потенциальных экологических угроз и увеличению рыночной конкурентоспособности компаний. Это определяет актуальность исследования.

Проблематику внедрения принципов циркулярной экономики в действующие экономические модели изучают специалисты разных направлений. В публикациях рассматриваются государственное управление процессом перехода от линейной экономики к циркулярной (Фидря, 2021; Лоскутова, Алексеева, 2022); проблемы перехода к экономике замкнутого цикла (Арутюнова, Антипенко, Ломачук, 2023), заключающиеся в недостаточной информационной и стимулирующей поддержке экологических инициатив государством, неэффективности нормативно-правового регулирования; обосновывается необходимость совершенствования системы обращения с отходами (Кот, 2024). Для решения этих проблем предлагаются меры совершенствования налогового законодательства (Бекмурзаева, Джандарова, 2021; Шушкевич, 2025) путем введения налоговых льгот для предприятий, внедряющих товары и процессы циркулярной направленности. Разработана система показателей циркулярной экономики для анализа и контроля экономических систем и процессов (Карпенко, Андриющенко, Ян, 2025).

На корпоративном и региональном уровнях исследований в области циркулярной экономики затрагиваются вопросы корректировки корпоративной политики и структурные изменения на рынке машиностроения (Бекмурзаева, 2021), направления технологических преобразований в промышленности (Елисеева, Манохина, Манохин, 2023), обсуждается изменение существующих бизнес-моделей (Доценко, Ездина, Мудрова, 2023). Тем не менее предлагаемые учеными меры пока не стали теоретической основой для системных решений проблемы роста генерации отходов.

¹ United Nations Environment Programme; International Waste Management Association. "Global Waste Management Outlook". UNEP. 2015. Web. 30 Nov. 2025. <<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9672>>.

² Приводится по: Давыдова Ю. «Тонны мусора: как современная экономика заставляет нас увеличивать количество отходов». 10.04.2025. *Forbes.ru: сетевое издание*. 30.11.2025. <<https://www.forbes.ru/sustainability/534595-tonny-musora-kak-sovremennaa-ekonomika-zastavlaet-nas-uvelicivat-kolicestvo-othodov>>.

Цель представленного исследования — обоснование переориентации стратегий управления отходами с борьбы со всевозрастающим уровнем отходов на минимизацию производства отходов за счет управления стадиями жизненного цикла продуктов в концепции циркулярной экономики. Смена стратегии требует многостороннего рассмотрения проблемы внедрения принципов экономики замкнутого цикла в национальные социально-экономические модели, изучения опыта других стран, выявления барьеров, препятствующих распространению экологических способов производства, разработке направлений государственной политики, стимулирующих экономию ресурсов и снижение отходов в течение жизненного цикла продуктов и услуг на этапе их проектирования. Это определяет актуальность и новизну нашего исследования.

Методы

Теоретическая часть исследования базируется на анализе актуальных публикаций в области внедрения принципов циркулярной модели развития и управления жизнен-

ным циклом продуктов. Анализ научных исследований позволил выявить проблему дисбаланса целей циркулярной экономики и целей промышленного производства, направленного на повышение эффективности и качества жизни людей. Основная — эмпирическая — часть исследования базируется на анализе статистических данных о динамике отходов и причинах их роста. Используются также методы сравнения мнений экспертов по проблемам внедрения идей циркулярной экономики в существующую систему экономических отношений и их группировка по направлениям исследований. Синтез мнений и собственные исследования автора позволили предложить направление решения выявленной проблемы — управление этапами жизненного цикла продуктов с применением цифровых технологий.

Результаты

Согласно рейтингу EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research³, базы данных выбросов для глобальных атмосферных исследований), наибольший углеродный след оставляют Китай, США и Индия (табл. 1).

Таблица 1. Выбросы CO₂ по странам
Table 1. CO₂ emissions by country

| Место в общем рейтинге (из 209 стран) | Страна | Общие выбросы, Мтонн CO ₂ | Доля углеродного следа в общей величине мировых выбросов, % |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | Китай | 13 259,64 | 33,9 |
| 2 | США | 4682,04 | 12 |
| 3 | Индия | 2955,18 | 7,57 |
| 4 | Европейский Союз | 2512,07 | 6,44 |
| 5 | Россия | 2069,5 | 5,3 |
| 114 | Беларусь | 54,18 | 0,14 |

Источник: база данных выбросов для глобальных атмосферных исследований EDGAR³.

³“Emissions Data and Maps”. EDGAR — Emissions Database for Global Atmospheric Research. N. d. Web. 12 Dec. 2025. <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_data_and_maps>.

Наибольшие общие выбросы углекислого газа производят страны с высоким уровнем промышленного производства и потребления.

Цифровизация порождает двойной эффект: с одной стороны, цифровые решения значительно повышают производительность и уменьшают потребление ресурсов при производстве; с другой стороны, они провоцируют более быстрое устаревание товаров и способствуют накоплению плохо поддающихся переработке отходов. Из-за быстрых темпов развития технологий во всем мире устойчиво растут объемы электронных отходов⁴: по мере повышения уровня сложности потребительской электроники сокращается ее жизненный цикл (потребители приобретают новое оборудование, а ранее использовавшаяся техника утилизируется). Электронные отходы стали существенной экономической и экологической проблемой: они составляют около 2,7 % от общего объема отходов, производимых в мире; их опасность связана с содержащимися в них веществами (ртуть, кадмий и свинец), которые при ненадлежащем обращении могут угрожать здоровью человека и окружающей среде. Около 80 % пришедшей в негодность электроники выбрасывается на свалку, сжигается или незаконно продается. В 2024 г. объем электронных отходов в глобальном масштабе достиг 69,1 млн т, почти половина этих отходов пришлось на Азиатско-Тихоокеанский регион⁵. По итогам 2024 г. объем мирового рынка утилизации ИТ-оборудования достиг 17,89 млрд долл. США. Более 40 % от

общемировых расходов на утилизацию ИТ-оборудования пришлось на Североамериканский регион.

Кроме того, к значительным накоплениям промышленных отходов приводят остатки нереализованной продукции, связанные или со сменой поколений техники, или с перепроизводством товаров. Так, в различных странах скопления нераспроданных автомобилей занимают целые полигоны⁶. Легкая промышленность ответственна за выработку 8–10 % парниковых газов. В год выбрасывается около 100 миллиардов предметов одежды, что составляет 92 млн т. В среднем по миру, одну вещь, перед тем как выбросить, надевают всего семь раз⁷. Сегодня лишь 12 % материалов, используемых для изготовления одежды, отправляются на переработку; всё остальное хранится на полигонах.

Основным препятствием для развития циклической текстильной промышленности служит перепроизводство дешевой и низкокачественной одежды. Массовые бренды выпускают до 24 коллекций в год, но 30 % одежды остается нераспроданной⁸. Китай — крупнейший в мире производитель и потребитель изделий из текстиля: согласно подсчетам экспертов, в Китае образуется больше 25 млн т отходов, значительную часть которых составляют синтетические материалы. В США ежегодно выбрасывается на свалки 17 млн т одежды. Средний американец покупает до 70 предметов гардероба в год, следуя модной тенденции *fast fashion* (быстрая мода).

⁴ Это списанное электронное оборудование: телефоны, смартфоны, элементы умного дома, ноутбуки и телевизоры.

⁵ «Электротехнические отходы (мировой рынок). Электронный мусор». 19.09.2025. *TAdviser: [сайт]*. 19.12.2025. <[https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электротехнические_отходы_\(мировой_рынок\)_Электронный_мусор](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электротехнические_отходы_(мировой_рынок)_Электронный_мусор)>.

⁶ Сергиенко Д. «Миллионы нереализованных автомобилей попадают на „кладбище“». 22.05.2014. *Автомобили и тюнинг: [сайт]*. 17.12.2025. <<https://autotuni.ru/magazine/9366-kuda-otpravlyayutsya-neprodannye-mashiny.html>>.

⁷ Никитина К. «100 млрд выброшенных предметов одежды и 60 % гринвошинга. Что не так с модной индустрией». 17.12.2022. *1.5^oDAO: [сайт]*. 19.12.2025. <<https://poltoragradusa.com/pererabotka-fast-fashion-greenwashing>>.

⁸ «A Circular Textile Industry Is Within Reach». *Circularity Gap*. N. d. Web. 12 Dec. 2025. <<https://www.circularity-gap.world/textiles>>.

Основные причины роста отходов в мировом масштабе:

- увеличение численности населения;
- повышение благосостояния и возможность быстрой замены относительно дешевых товаров новыми модификациями;
- неконтролируемый рост производства различных видов продукции, часть из которой не реализуется потребителям;
- ускорение научно-технического прогресса, стимулирующего сокращение жизненного цикла сложно-технических продуктов.

Как отмечено в отчете *The Circularity Gap Report* за 2024 г., «циклическая экономика набирает популярность, но пока безрезультатна. С ростом индекса развития человеческого потенциала увеличивается потребление материалов и, следовательно, нагрузка на окружающую среду. Нам нужна новая экономическая модель XXI в.: модель, которая максимизирует выгоды для людей и минимизирует нагрузку на системы жизнеобеспечения планеты»⁹. Однако, как отмечено нами во введении, у ученых и экономистов-экспертов не вызывает сомнений, что смена парадигмы на модель циркулярной экономики принесет не только выгоды для экологии, но и ощутимую финансовую отдачу, проявляющуюся через минимизацию расходов, формирование новых рабочих мест и уменьшение воздействия на природу (Бабкин, Шкарупета, Польшиков, 2023). Подобный подход обеспечивает как экономические, так и экологические преимущества: снижается зависимость от добычи природных ресурсов и импортных поставок, а также уменьшается негативное воздействие на окружающую среду, возникающее при добыче и переработке сырья и утилизации отходов посредством сжигания или захоронения.

Реализация модели циркулярной экономики вследствие ее значимости для будущих

поколений должна происходить на всех уровнях управления: на макроуровне — путем разработки национальных и региональных законодательных документов и нормативных актов в области обращения с отходами; на мезоуровне — за счет оптимизации логистических цепей поставок; на микроуровне — посредством изменения взглядов и системы ценностей человека по отношению к природе, формирования новой культуры потребления (Несиоловская, Уппина, 2024; Гурьева, 2019; Гурьева, Бутко, 2019).

Для получения максимального экологического эффекта следует изменять подходы к проектированию продуктов на протяжении всего жизненного цикла: делать конструкции модульными, ремонтпригодными, обеспечивать обновление программного обеспечения до конца службы электронного устройства, устанавливать стандарты энергоэффективности (Татаринев, 2023).

Оценка жизненного цикла продукции с учетом его воздействия на окружающую среду рассматривается в международных стандартах ISO 14044 «Экологический менеджмент — Оценка жизненного цикла», в национальных стандартах, например ГОСТ Р 71107–2023 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы, требования и руководящие указания по нормализации, определению взвешенного значения и интерпретации». Оценка этапов жизненного цикла продукта, которую можно применить на предприятии, включает рассмотрение используемых ресурсов и возникающих отходов (Омельченко, Бром, 2013), путей продления времени эксплуатации. Большинство авторов предлагают увеличивать сроки эксплуатации изделий за счет повышенного качества, ремонта, вторичного использования, снижения потребления, но такие методы вступают в конфликт с теорией экономического роста,

⁹ “The Circularity Gap Report 2024”. *European Circular Economy Stakeholder Platform*. N. d. Web. 19 Dec. 2025. <<https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/circularity-gap-report-2024>>.

требующей увеличения производства различных товаров и услуг. Возникает противоречие между необходимостью наращивания производства и одновременного снижения потребления (Амирова, Саргина, Кондратьева, 2022). Влияние циркулярной экономики на экономическое развитие и открывает возможности, и создает проблемы (Ветрова, Иванова, 2020, 2021; Ишин, Череповицын, Лебедев, 2024), в частности:

- при производстве продуктов из вторичного сырья может возникнуть больший экологический ущерб, чем при текущем производстве;
- качество продуктов из переработанного сырья может быть ниже;
- потребуются существенные инвестиции в новые экотехнологии;
- снижение общего уровня потребления может повлечь за собой потерю рабочих мест;
- вероятно неравенство доступа к новым возможностям и технологиям в различных социальных группах;
- возникнет или усилится дисбаланс ответственности в сфере обращения с отходами. В существующей системе производители не несут полной ответственности за жизненный цикл своей продукции и ее утилизацию.

Эти противоречия необходимо решать на государственном уровне, корректируя критерии оценки эффективности деятельности предприятий в циркулярной экономике.

Так как Республика Беларусь является страной с доходами населения выше среднемирового уровня и высокоразвитой политико-экономической системой, мировые проблемы развитых стран можно проецировать на белорусский общественный уклад. В Республике Беларусь Постановлением Совета Министров от 29 мая 2024 г. № 393 утверждена «Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики

Беларусь на период до 2035 года», которая определила приоритетные направления развития циркулярной экономики, заключающиеся в совершенствовании методов разработки продукции и снижении нагрузки на окружающую среду посредством внедрения принципов экодизайна на производстве; ресурсоэффективном производстве; создании инновационно-промышленных кластеров и технологических платформ, которые могут обеспечивать замещение традиционных моделей организации производства циркулярными; снижении объемов упаковки; развитии шеринговой экономики. Таким образом, в нормативных документах обозначены основные направления экологического управления жизненным циклом продуктов.

Предприятия в концепции циркулярной экономики принимают расширенную ответственность производителя за весь жизненный цикл продукции, начиная с разработки и заканчивая утилизацией в конце срока службы, в том числе сбор и переработку отходов. Такая ответственность стимулирует разработку более экологичных товаров, поскольку предполагается, что производители будут финансировать расходы на сбор и утилизацию продукции, сотрудничать с организациями, принимающими на себя эти функции, инвестировать ресурсы в разработку экологичных видов продукции, переработку отходов и прочие научно-исследовательские работы в области экологии. В зоне ответственности предприятий лежит разработка новых бизнес-моделей, основанных на развитии продуктово-сервисных систем вместо владения продукцией, совместном потреблении, повышении прозрачности и сотрудничества в производственно-сбытовых цепочках, развитии промышленного симбиоза, при котором отходы одной компании становятся ресурсом для другой.

Принципы устойчивого производства предполагают, что жизненный цикл продукта рассматривается не просто как набор

этапов его создания и коммерческой реализации, но как непрерывный процесс, включающий мероприятия по повторному применению продукта, утилизации и реинтеграции материалов в производственный процесс. Научно-технический прогресс снижает сроки эксплуатации изделий за счет активного морального износа. Следовательно, необходимо менять и принципиальные подходы к проектированию продуктов. Если до конца XX в. основными качественными характеристиками продуктов были те, что направлены на долгосрочную эксплуатацию — долговечность, прочность, ремонтпригодность, — то в современном мире ускоренное научно-техническое развитие и цифровые технологии смещают акценты с качества продуктов на короткие сроки эксплуатации. При таких условиях необходимо разрабатывать и применять новые материалы, которые обладают свойствами выдерживать небольшие сроки эксплуатации и при этом быть хорошо утилизируемыми, биоразлагаемыми.

Применение принципов циркулярной экономики меняет подходы не только к управлению жизненным циклом продуктов, но и к проектированию качественных характеристик, расчету затрат на эксплуатацию и утилизацию в зависимости от прогнозируемого срока службы и возможного вторичного использования.

Выявление, изучение и прогнозирование динамики потребительских запросов выступают основой для эффективного регулирования этапов существования конкретного товара. Обычно параметры товара, которые задаются в рамках конкретного производственного процесса, не соответствуют тому, что рассчитывают увидеть потребители. Данная диспропорция устанавливает качественные особенности производимого продукта

и влияет на предполагаемый объем его продаж. В образцовом сценарии, опирающемся на идеи экологически ответственного производства, экономические и технические свойства продукции должны устанавливаться заблаговременно, с учетом запросов целевой аудитории, требований по экологической безопасности и потенциала для вторичного применения товара. Подобное совпадение гарантирует гармонизацию производственных и коммерческих свойств изделия, что, в свою очередь, способствует усилению его позиций на рынке и уменьшению образования отходов на каждой стадии его эксплуатации.

Основой для разработки производственной системы служит комбинация технико-организационных и технико-экономических параметров продукции — таких элементов, как особенности конструкции, масштабность серии, сроки производства и плановая себестоимость — наряду с технико-экономическими показателями, к которым относятся технические характеристики, эстетика, экологические стандарты и ожидаемая рентабельность. В контексте модели циркулярной экономики эти характеристики приобретают критически важный статус, поскольку они влияют не только на производственную результативность, но и на экологическую безопасность изделия на протяжении всего времени его существования. Современные технологии позволяют оптимизировать объемы производства продуктов за счет отслеживания предпочтений потребителей и быстрой перестройки промышленно-логистических цепочек. Такие подходы позволяют уменьшить объемы нерезализованной продукции.

Возможности внедрения принципов циркулярной экономики на этапах жизненного цикла продуктов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Экологическое проектирование и управление на этапах жизненного цикла продуктов
 Table 2. Ecological design and management at product life cycle stages

| Этап жизненного цикла | Основные направления экологического проектирования | Описание |
|----------------------------|--|--|
| Научные исследования | Разработка новых методов утилизации отходов | Применение биотехнологий для утилизации отходов. Разработка новых материалов и технологий с перспективой их утилизации |
| | Разработка биоразлагаемых материалов | Повышение ценности продукта для потребителя и производителя за счет снижения затрат на утилизацию |
| | Разработка безотходных технологий | Оптимальный подбор исходного сырья к имеющимся технологиям или разработка новых технологий изготовления, материалов с новыми свойствами |
| Маркетинговые исследования | Прогнозирование качественных характеристик | Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта для исследования предпочтений потребителей, индивидуализация характеристик изделий под конкретные нужды покупателей |
| | Прогнозирование объемов продаж | Прогнозирование оптимального объема продаж, смена партий товаров в целях полной их реализации |
| Разработка | Экопроектирование | Применение модульного принципа проектирования, использование универсальных частей в разных моделях изделий, цифровизация проектирования и испытаний |
| | Проектирование жизненного цикла продукта | Подбор материалов и технологий изготовления, системы постпродажного обслуживания исходя из длительности жизненного цикла продукта, его морального старения |
| | Цифровизация продуктов | Разработка цифровых копий или аналогов продуктов, дополнение продуктов цифровым сервисом |
| | Безотходное производство | Оптимальный подбор технологий изготовления с наименьшим количеством отходов |
| | Энергоэффективные технологии | Применение энергосберегающих технологий и оборудования, снижение затрат энергии и материальных ресурсов за счет оптимизации конструкции изделия и технологии его производства |
| | Упаковка | Сокращение объема упаковочных материалов, разработка новых видов упаковки, биоразлагаемая упаковка, возможность вторичного использования упаковочных материалов, разработка способов сбора и утилизации упаковки |

Таблица 2. Экологическое проектирование и управление на этапах жизненного цикла продуктов
Table 2. Ecological design and management at product life cycle stages (Продолжение таблицы)

| Этап жизненного цикла | Основные направления экологического проектирования | Описание |
|-----------------------|---|--|
| Производство | Оптимизация производственных процессов | Оптимизация в целях снижения затрат, неэффективных простоев оборудования, уменьшение брака, применение датчиков производственного интернета вещей, контролирующих производство |
| | Минимизация отходов | Преобразование отходов производства в сопутствующие изделия или энергию, рециклинг отходов, создание систем промышленного симбиоза |
| | Безопасность | Защита здоровья и безопасности как участников производственного процесса, так и населения вне предприятий, снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду и отходов производства |
| | Система экологического менеджмента | Внедрение стандартов ISO 14000, сертификация и маркировка продукции и ее элементов для контроля нахождения и вторичного использования, работа с партнерами, применяющими стандарты ISO 14000 |
| Хранение и логистика | Снижение затрат на склад и логистику | Сокращение запасов сырья и материалов, запасов готовой продукции за счет тесной кооперации с партнерами, поставки точно-в-срок, применение экологического транспорта, оптимизация маршрутов |
| Продажи | Использование интернета для предварительного заказа продукции | Применение принципа предварительного заказа продукции с нужной комплектацией с целью снизить издержки производства и потребность в материально-сырьевых ресурсах |
| | Продажи с использованием цифровых технологий | Ускоренное продвижение продукции, сбор данных о потребителях, снижение затрат на реализацию, быстрая консультация потребителя с помощью роботизированных систем |
| Эксплуатация | Возможность кооперации | Применение способов совместного использования продуктов |
| | Снижение затрат на эксплуатацию | Разработка более эффективных версий продукта, потребляющих меньше ресурсов при эксплуатации |
| | Возможность продления срока использования продуктов | Разработка методов повторного использования продуктов, использование в другом качестве |

Таблица 2. Экологическое проектирование и управление на этапах жизненного цикла продуктов
 Table 2. Ecological design and management at product life cycle stages (Продолжение таблицы)

| Этап жизненного цикла | Основные направления экологического проектирования | Описание |
|----------------------------|--|--|
| Постпродажное обслуживание | Ремонт | Повышение ремонтпригодности продуктов в рамках их экономической эффективности |
| | Методы приема использованного товара | Система приемки и перераспределения товаров для повторного использования или дальнейшей утилизации, минуя полигоны захоронения отходов |
| | Повторное использование | Разработка системы и методов повторного использования продуктов в процессе их проектирования и указание этих методов при маркировке |
| Утилизация | Возврат товара производителю | Система возврата товара производителю по маркировке |
| | Технологии безотходной утилизации | Применение технологий самоутилизации продуктов, биоразлагаемых материалов |
| | Переработка | Разработка системы сортировки отходов, методов их переработки и утилизации |

Источник: авторская разработка.

Требуется объединить цифровые инструменты с системой управления отходами для минимизации экологических угроз и создания новых производственных подходов к проектированию продукции.

Заключение

Цели устойчивого развития призваны служить универсальным планом действий для всех стран, чтобы обеспечивать баланс между социальными, экономическими и экологическими аспектами развития для ныне живущих и будущих поколений. Природная составляющая является наследством, которое сегодняшнее поколение оставит своим потомкам — это качество воздуха, воды, биоразнообразия и устойчивость экосистем, а не загрязнение окружающей среды и изменение климата. Инновацией в защите окружающей среды становится изменение общественного мышления, в том числе оценка эффективности любых инвестиционных, промышленных проектов, которая должна включать экологические показатели. Основным барьером становления циркулярной

экономики является противоречие между заявленными в ней принципами и сущностью современного понимания экономического роста.

Любое принципиальное новшество нуждается в институциональной поддержке, создании инфраструктуры продвижения новой идеи в общественном сознании. Для интенсификации инновационного развития в Республике Беларусь созданы институциональные условия на законодательном и организационно-управленческом поле, касающиеся всех возрастных групп населения, отраслей экономики, уровней управления. Аналогичную институциональную среду необходимо развивать для внедрения циркулярной экономики, которая может лечь в основу ускорения технологического и экономического развития страны, повышения конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках и международной конкурентоспособности предприятий. Необходимо расширять меры стимулирования предприятий для внедрения принципов циркулярной экономики,

направленных на минимизацию экологического ущерба еще на стадии разработки продукции и последующей ее реализации. Таковыми мерами могут стать:

1. Интеграция принципов экономики замкнутого цикла в национальное планирование. В Беларуси уже разработана Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла. Необходимо ввести в планы развития регионов и отраслей показатели, отражающие использование ресурсоэффективных технологий, производство экоутилизируемых продуктов, разработку новых технологий экологической направленности.
2. Внедрение системы маркировки продукции для упрощения ее сортировки и утилизации, коррелирующей с системой переработки отходов.
3. Обоснование экологического планирования завершения процессов при создании новых технологий и продуктов (в научных или промышленных организациях), составлении бизнес-планов.
4. Включение в программы фундаментальных и прикладных исследований направлений исследования в сфере циркулярной экономики.
5. Поощрение разработок и стартапов, направленных на инновации экономики замкнутого цикла.
6. Изменение системы налогообложения для перенесения налоговой нагрузки с трудоемких производств на материало- и энергоемкие. Модернизация системы налогообложения требует глубокого обоснования и постепенного перехода, но может быть весьма эффективным ин-

струментом государственного управления циркулярной экономикой.

Бурное развитие промышленного производства под воздействием научно-технического прогресса повышает жизненный уровень населения планеты и имеет отрицательный экологический эффект. В данной триаде между промышленным развитием, жизненным уровнем населения планеты и экологическими проблемами необходимо соблюдать баланс, который позволит найти пути, позволяющие удовлетворять текущие потребности без ущерба для будущих поколений. Это требует перехода к более эффективным производственным моделям, инновационным технологиям и грамотному управлению ресурсами, чтобы минимизировать негативные экологические последствия и обеспечить долгосрочное благосостояние людей. Ключом к такому развитию может стать внедрение принципов циркулярной экономики в социально-экономическую жизнь общества, развитие институтов экономики замкнутого цикла, стимулирование предприятий и организаций к экологическому управлению жизненным циклом продуктов и принятию на себя экологической ответственности за производимые товары и услуги. Комплексный государственный подход к экономике замкнутого цикла для Республики Беларусь, не обладающей необходимым количеством природных ресурсов для обеспечения промышленного производства, может содействовать повышению конкурентоспособности белорусской промышленности на мировом уровне.

Список литературы и источников / References

- Амирова Н. Р., Саргина Л. В., Кондратьева Я. Э. «Основные подходы внедрения циркулярной экономики». *Постсоветский материк* 1 (33) (2022): 89–106. https://doi.org/10.48137/2311-6412_2022_1_89. EDN: JUIKGX.
- Amirova N. R., Sargina L. V., Kondrateva Ya. E. “Main Approaches to the Implementation of the Circular Economy”. *Postsovetskiy materik = Post-Soviet Continent* 1 (33) (2022): 89–106. (In Russian). https://doi.org/10.48137/2311-6412_2022_1_89
- Арутюнова А. М., Антипенко П. А., Ломачук М. И. «Проблемы перехода к экономике замкнутого цикла (циркулярной экономике)». *Финансовая экономика* 12 (2023): 175–177. EDN: DEMAXO.
- Arutyunova A. M., Antipenko P. A., Lomachuk M. I. “Problems of Transition to a Closed-Cycle Economy (Circular Economy)”. *Finansovaya ekonomika = Financial Economy* 12 (2023): 175–177. (In Russian).
- Бабкин А. В., Шкарупета Е. В., Польщиков Т. И. «Концепция эффективного устойчивого ESG-развития промышленных экосистем в циркулярной экономике». *Экономическое возрождение России* 1 (75) (2023): 124–139. <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-1-75-124-139>. EDN: NUYYXJ.
- Babkin A. V., Shkarupeta E. V., Polshchikov T. I. “The Concept of Effective Sustainable ESG-Development of Industrial Ecosystems in a Circular Economy”. *Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii = Economic Revival of Russia* 1 (75) (2023): 124–139. (In Russian). <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-1-75-124-139>
- Бекмурзаева Р. Х. «Концепция циркулярной экономики: бизнес-стратегия развития экономики региона». *Экономика и предпринимательство* 8 (133) (2021): 220–223. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.133.8.039>. EDN: XIMSUL.
- Bekmurzaeva R. Kh. “Circular Economy Concept: Business Strategy for Regional Economic Development”. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* 8 (133) (2021): 220–223. (In Russian). <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.133.8.039>
- Бекмурзаева Р. Х., Джандарова Л. Х. «Эколого-экономические аспекты системы рационального природопользования в Чеченской Республике». *Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: Российский и зарубежный опыт* 2 (34) (2021): 15–18. EDN: BEXUPR.
- Bekmurzaeva R. Kh., Dzhandarova L. Kh. “Ecological and Economic Aspects of the System of Rational Nature Management in the Chechen Republic”. *Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt = Actual Problems and Prospects for the Development of the Economy: Russian and Foreign Experience* 2 (34) (2021): 15–18. (In Russian).
- Ветрова М. А., Иванова Д. В. «Развитие замкнутого жизненного цикла продукта и принципа „загрязнитель платит“ в контексте циркулярной экономики». *Наука Красноярья* 10.4 (2021): 7–26. <https://doi.org/10.12731/2070-7568-2021-10-4-7-26>. EDN: TJYVIZ.
- Vetrova M. A., Ivanova D. V. “Development of a Closed Product Life Cycle and the ‘Polluter Pays’ Principle in the Context of the Circular Economy”. *Nauka Krasnoyar'ya = Krasnoyarsk Science* 10.4 (2021): 7–26. <https://doi.org/10.12731/2070-7568-2021-10-4-7-26>
- Ветрова М. А., Иванова Д. В. «Циркулярные модели производства и потребления как инструмент достижения целей устойчивого развития». *Russian Economic Bulletin* 3.5 (2020): 44–54. EDN: FDWKLC.
- Vetrova M. A., Ivanova D. V. “Circular Production and Consumption Models as a Tool for Achieving the Sustainable Development Goals”. *Russian Economic Bulletin* 3.5 (2020): 44–54. (In Russian).
- Гурьева М. А. «Анализ методических подходов к оценке развития циркулярной экономики». *Экономические отношения* 9.4 (2019): 3155–3172. <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.41293>. EDN: NLFEDX.
- Gureva M. A. “The Analysis of Methodical Approaches to the Assessment of the Circular Economy Development”. *Ekonomicheskiye otnosheniya = Journal of International Economic Affairs* 9.4 (2019): 3155–3172. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.41293>

- Гурьева М. А., Бутко В. В. «Практика реализации модели циркулярной экономики». *Экономические отношения* 9.4 (2019): 2367–2384. <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.40991>. EDN: AUHUIK.
Gureva M. A., Butko V. V. “Practice of Implementation of the Circular Economy Model”. *Ekonomicheskiye otnosheniya = Journal of International Economic Affairs* 9.4 (2019): 2367–2384. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.40991>
- Доценко Е. Ю., Ездина Н. П., Мудрова С. В. «Бизнес-модели циркулярной экономики». *Постсоветский материк* 2 (38) (2023): 94–106. https://doi.org/10.48137/2311-6412_2023_2_93. EDN: PPGYEU.
Dotsenko E. Yu., Ezdina N. P., Mudrova S. V. “Business Models of the Circular Economy”. *Postsovetskiy materik = Post-Soviet Continent* 2 (38) (2023): 94–106. (In Russian). https://doi.org/10.48137/2311-6412_2023_2_93
- Елисеева М. Д., Манохина Е. Э., Манохин П. А. «Планирование внедрения технологий циркулярной экономики на предприятии радиоэлектронной отрасли с учетом политики импортозамещения». *Известия СПбГЭУ* 3-2 (141) (2023): 77–81. EDN: LENWMO.
Eliseeva M. D., Manokhina E. E., Manokhin P. A. “Planning for the Implementation of Circular Economy Technologies at the Enterprise of the Radio Electronic Industry, Considering the Import Substitution Policy”. *Izvestiya SPbGEU* 3-2 (141) (2023): 77–81. (In Russian).
- Ишин Л. А., Череповицын А. Е., Лебедев А. П. «Преимущества и недостатки экономики замкнутого цикла: Путь к экологически чистому производству». *Вестник Самарского университета. Экономика и управление* 15.3 (2024): 135–153. <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-3-135-153>. EDN: KBRAVD.
Ishin Leonid, Cherepovitsyn Alexey, Lebedev Andrey. “Advantages and Disadvantages of a Closed-Loop Economy: The Path to Environmentally Friendly Production”. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravleniye = Vestnik of Samara University. Economics and Management* 15.3 (2024): 135–153. (In Russian). <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-3-135-153>
- Карпенко Е. М., Андрищенко А. Ю., Ян Ю. «Анализ показателей циркулярной экономики на этапе формирования модели экономики замкнутого цикла Китая». *Новая экономика* S1 (2025): 5–15. EDN: ZMXLKJ.
Karpenko E. M., Andryushchenko A. Yu., Yang Yu. “Analysis of Circular Economy Indicators at the Stage of Formation of China’s Closed-Loop Economy Model”. *Novaya ekonomika* S1 (2025): 5–15. (In Russian).
- Кот Н. Г. «Рециклинг — новая форма циркулярной экономики». *Вестник БрДУ сер. 2 История. Экономика. Права* 3 (2024): 73–80.
Kot N. G. “Recycling is a New Form of Cyclic Economy”. *Vyesnik BrDU ser. 2 Historyya. Ekanomika. Prava = Bulletin of BrSU ser. 2 History. Economy. Law* 3 (2024): 73–80. (In Russian).
- Лоскутова М. А., Алексеева А. Н. «Циркулярная („зеленая“) экономика — угроза экономики или обеспечение безопасности?». *Вопросы экономики и права* 173 (2022): 51–56. <https://doi.org/10.14451/2.173.51>. EDN: EBFBTV.
Loskutova M. A., Alekseeva A. N. “Is Circular (‘Green’) Economy — a Threat to Economy or Ensuring Security?”. *Voprosy ekonomiki i prava* 173 (2022): 51–56. (In Russian). <https://doi.org/10.14451/2.173.51>
- Несиоловская Т. Н., Уппина А. Е. «Мировой опыт становления и развития циркулярной экономики». *Теоретическая экономика* 12 (120) (2024): 76–85. <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2024-12-76-85>. EDN: WOACQV.
Nesiolovskaya T. N., Uppina A. E. “The Global Experience of the Formation and Development of the Circular Economy”. *Teoreticheskaya ekonomika = Theoretical Economics* 12 (120) (2024): 76–85. (In Russian). <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2024-12-76-85>
- Омельченко И. Н., Бром А. Е. «Современные подходы к оценке жизненного цикла продукции». *Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева* 2 (21) (2013): 29–34. EDN: ROMOYD.

- Omelchenko I. N., Brom A. E. “System of an Assessment of Life Cycle of Production”. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V. N. Tatishcheva = Vestnik of Volzhsky University after V. N. Tatischev* 2 (21) (2013): 29–34. (In Russian).
- Перелет Р. А. «Экологические аспекты цифровой экономики». *Мир новой экономики* 12.4 (2018): 39–45. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-4-39-45>. EDN: YPEJHV.
- Perelet R. A. “Environmental Issues in a Digital Economy”. *Mir novoy ekonomiki = The World of New Economy* 12.4 (2018): 39–45. (In Russian). <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-4-39-45>
- Татаринов К. А. «Экологические последствия цифровизации современного общества». *Геополитика и экогеодинамика регионов* 9.4 (2023): 25–36. EDN: PWRVFN.
- Tatarinov K. A. “Environmental Consequences of Digitalization of Modern Society”. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov = Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions* 9.4 (2023): 25–36. (In Russian).
- Фидря М. А. «Циркулярная экономика: проблемы перехода от линейной экономики к экономике замкнутого цикла в России». *Теоретические и прикладные вопросы экономики, управления и образования: сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф.* (Пенза, 15–16 июня 2021 г.). Т. II. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. 238–243. EDN: IZCANW. В 2 т.
- Fidrya M. A. “Circular Economy: Problems of Transition from a Linear Economy to a Closed-Cycle Economy in Russia”. *Teoreticheskiye i prikladnyye voprosy ekonomiki, upravleniya i obrazovaniya: sb. statey II Mezhdunar. nauch.-prakt. conf.* (Penza, 15–16 iyunya 2021 g.). Vol. II. Penza: Penza State Agrarian U, 2021. 238–243. (In Russian). 2 vols.
- Шушкевич А. М. «Экологоориентированная налоговая политика в целях устойчивого развития экономики: Обзор зарубежного опыта». *Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь* 6 (2025): 16–26.
- Shushkevich Aliaksandr. “Green Tax Policy for Sustainable Economic Development: A Review of Foreign Experience”. *Ekonomicheskiy byulleten' NIEI Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus'* 6 (2025): 16–26. (In Russian).

Информация об авторе

Гринцевич Любовь Владимировна — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и управление инновационными проектами в промышленности» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, уч. корп. 18), grintsevich@bntu.by, SPIN-код: 3951-9225.

Information about the author

Liubov V. Grintsevich — Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Associate Professor at the Department “Economics and Management of Innovative Projects in Industry”, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, 220013, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65, acad. bldg. 18), grintsevich@bntu.by, SPIN code: 3951-9225.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025, одобрена после рецензирования 19.12.2025.
The article was submitted 01.12.2025, approved after reviewing 19.12.2025.