

DOI: 10.58168/TBiEc2025_164-168

УДК 630.8

ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ УПАКОВКИ BIODEGRADABLE PACKAGING RECYCLING TECHNOLOGIES

Курысь Д.А., студент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж.

Стородубцева Т.Н., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», Россия, Воронеж.

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет имени императора Петра I», профессор, Россия, Воронеж.

Ишутин С.С., магистрант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж.

Kurys D.A., student of the FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Storodubtseva T.N., Doctor of Technical Sciences, Professor of the FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Afonichev D.N., doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University named after Emperor Peter I», Professor, Russia, Voronezh.

Ishutin S.S., postgraduate student of the FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Аннотация: в статье рассматриваются современные технологии утилизации биоразлагаемой упаковки, включая промышленное и домашнее компостирование, анаэробное сбраживание, ферментацию и химическую деградацию. Проведен сравнительный анализ методов по скорости разложения, энергетической эффективности и экологичности. Особое внимание уделено проблемам, связанным с недостатком инфраструктуры, отсутствием единых стандартов и высокой стоимостью переработки. Представлены перспективные направления развития технологий, такие как внедрение муниципальных программ компостирования и использование ферментных добавок. Статья содержит графики и таблицы, иллюстрирующие ключевые аспекты утилизации биоразлагаемых материалов.

Abstract: the article discusses modern technologies for the disposal of biodegradable packaging, including industrial and home composting, anaerobic digestion, fermentation and chemical degradation. A comparative analysis of the methods in terms of decomposition rate, energy efficiency and environmental friendliness has been carried out. Special attention is paid to the problems related to the lack of infrastructure, the lack of uniform standards and the high cost of processing. Promising areas of technology development are presented, such as the introduction of

municipal composting programs and the use of enzyme additives. The article contains graphs and tables illustrating the key aspects of the disposal of biodegradable materials.

Ключевые слова: биоразлагаемая упаковка, утилизация, компостирование, анаэробное сбраживание, экологичность, переработка.

Keywords: biodegradable packaging, recycling, composting, anaerobic digestion, environmental friendliness, recycling.

Биоразлагаемая упаковка – это экологичная альтернатива традиционным пластиковым материалам, которая способна разлагаться под действием микроорганизмов, влаги, температуры и других факторов. Однако для эффективного снижения нагрузки на окружающую среду необходимо правильно утилизировать такую упаковку.

Биоразлагаемые материалы можно разделить на несколько групп в зависимости от их происхождения и способа разложения [1].

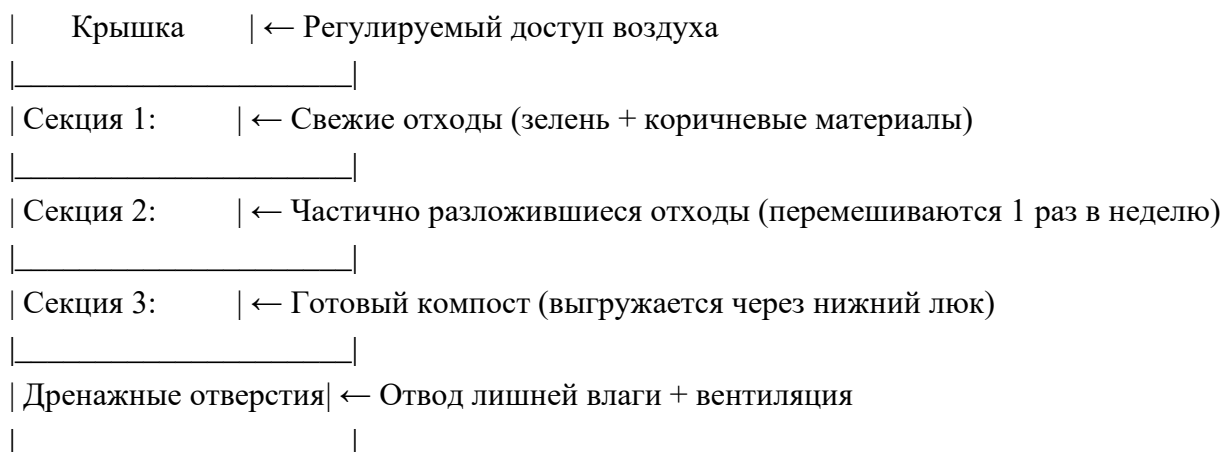
Таблица 1 - Типы биоразлагаемых материалов

Тип материала	Примеры	Срок разложения
Полилактид (PLA)	Кукурузный крахмал, сахарный тростник	6–24 месяца
Полигидроксиалканоаты (PHA)	Бактериальные полимеры	3–12 месяцев
Крахмалосодержащие смеси	Картофельный, кукурузный крахмал	1–6 месяцев
Целлюлозные материалы	Бумага, картон с биопокрытием	1–3 месяца

Существует несколько способов утилизации биоразлагаемых упаковок. Наиболее распространенным является компостирование. Процесс компостирования может быть как промышленным, при температуре 50-60 °C и высокой влажности, так и домашним при естественных условиях и более длительном сроке разложения [2]. Домашний компостер можно изготовить из пластика, дерева или металла. Наиболее популярны многосекционные системы, позволяющие одновременно хранить отходы на разных стадиях разложения. Компостирование остается наиболее экологичным и экономически выгодным методом утилизации биоразлагаемых отходов. Развитие технологии, особенно в области промышленных систем и контроля параметров, позволяет существенно повысить ее эффективность. Для максимального результата требуется комплексный подход, включающий просвещение населения, развитие инфраструктуры и совершенствование нормативной базы.

Следующим способом является анаэробное сбраживание, представляющее собой биологическое разложение органических веществ под воздействием микроорганизмов в условиях отсутствия кислорода. Данная технология применяется для получения биогаза из органических отходов. Преимущества метода заключаются в получении энергии снижении объема отходов, а недостатки в необходимости специальных биореактивов и ограничениях разлагаемых материалов.

Схема вертикального компостера:



Аэробное сбраживание – перспективная технология для устойчивой переработки органики, особенно в условиях роста объемов пищевых отходов. Оптимизация параметров (аэрация, влажность, состав сырья) позволяет ускорить процесс и повысить качество компоста [3]. В будущем развитие автоматизированных биореакторов сделает этот метод еще более эффективным. Некоторые виды биоразлагаемых полимеров (например, РНА) могут перерабатываться с помощью микроорганизмов, выделяющих ферменты. Также для ускоренного разложения PLA с помощью гидролиза или щелочного воздействия используется химическая деградация. Он заключается в "растворении" мусора химией, чтобы тот стал безопаснее. Для некоторых видов отходов химическая деградация — это быстрый и эффективный метод, но он может требовать опасных химикатов и создавать новые отходы. Примером служит обеззараживание воды хлором, убивая бактерии или нейтрализация кислот и щелочей, образующих соль и воду [4]. Ферментирование органических отходов — перспективное направление циркулярной экономики. Развитие технологии позволяет одновременно решать проблемы утилизации отходов и производства ценных продуктов. Ключевыми направлениями совершенствования остаются оптимизация микробных консорциумов и разработка энергоэффективных реакторов [5, 6].

Также в более редких случаях применяют и другие способы переработки отходов. Такие как плазменная газификация (для опасных отходов). Отходы подвергаются воздействию плазмы (8000-15000 °C), что приводит к их распаду на простые молекулы [7]. Преимуществами данного метода являются возможность переработки медицинских отходов и уничтожение токсичных отходов без образования диоксинов [8]. Но для данного метода необходимы специальные установки, имеющие высокую стоимость.

Для композитных материалов применяют криогенное дробление, заключающееся в охлаждении отходов жидким азотом с последующим измельчением. Данный способ применяется для переработки шин, разделения электронных плат утилизации армированного пластика [9].

Таблица 2 - Эффективность методов утилизации

Метод	Скорость разложения	Энергетическая выгода	Экологичность
Промышленное компостирование	Высокая	Низкая	Высокая
Анаэробное сбраживание	Средняя	Высокая	Средняя
Ферментация	Низкая	Низкая	Высокая
Химическая деградация	Очень высокая	Отсутствует	Средняя

Современные технологии утилизации биоразлагаемой упаковки представляют собой важный инструмент в борьбе с загрязнением окружающей среды и переходе к циркулярной экономике. В ходе исследования были рассмотрены ключевые методы переработки, включая промышленное и домашнее компостирование, анаэробное сбраживание, ферментацию и химическую деградацию. Каждый из этих способов обладает своими преимуществами и ограничениями, что делает их применение зависимым от типа упаковки, инфраструктуры региона и экономических факторов. Таким образом, будущее биоразлагаемой упаковки зависит не только от технологий ее производства, но и от системного подхода к ее утилизации, что требует совместных усилий производителей, переработчиков и потребителей.

Список литературы

1. ГОСТ Р 56590–2015. Упаковка биоразлагаемая. Термины и определения. – Введ. 2017-01-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с.
2. Иванова, С. В. Компостирование биоразлагаемых материалов: технологии и экологические аспекты / С. В. Иванова. – М. : Эко-Пресс, 2021. – 156 с.
3. Климов, Д. С. Анаэробное сбраживание органических отходов: теория и практика / Д. С. Климов, Е. Л. Петрова. – СПб. : Профессия, 2020. – 210 с.
4. Смирнова, О. П. Биоразлагаемая упаковка в контексте циркулярной экономики / О. П. Смирнова // Экология и промышленность России. – 2021. – № 12. – С. 18–23.

5. Тихонов, В. В. Современные методы утилизации полимерных отходов / В. В. Тихонов, М. Ю. Григорьева. – М.: Академия, 2022. – 184 с.
6. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 14.07.2022) // Собрание законодательства РФ. – 1998. – № 26. – Ст. 3009.
7. European Bioplastics. Biodegradable and compostable plastics: challenges and opportunities. – Berlin : European Bioplastics, 2022. – 45 p.
8. ASTM D6400-22. Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. – West Conshohocken : ASTM International, 2022. – 8 p.
9. Shah, A. A. Microbial degradation of bioplastics: current trends and future prospects / A. A. Shah, F. Hasan // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 325. – P. 116497. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116497.

References

1. GOST R 56590-2015. The packaging is biodegradable. Terms and definitions. – Introduction. 2017-01-01. Moscow : Standartinform, 2015. 12 p.
2. Ivanova, S. V. Composting of biodegradable materials: technologies and environmental aspects / S. V. Ivanova. – М. : Eco-Press, 2021. – 156 p.
3. Klimov, D. S. Anaerobic digestion of organic waste: theory and practice / D. S. Klimov, E. L. Petrova. St. Petersburg : Profession, 2020, 210 p.
4. Smirnova, O. P. Biodegradable packaging in the context of circular economy / O. P. Smirnova // Ecology and industry of Russia. – 2021. – No. 12. – pp. 18-23.
5. Tikhonov, V. V. Modern methods of polymer waste disposal / V. V. Tikhonov, M. Y. Grigorieva. – М. : Akademiya, 2022. – 184 p.
6. Federal Law No. 89-FZ dated 06/24/1998 "On Production and Consumption Waste" (as amended on 07/14/2022) // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 1998. – No. 26. – Art. 3009.
7. European Bioplastics. Biodegradable and compostable plastics: challenges and opportunities. – Berlin : European Bioplastics, 2022. – 45 p.
8. ASTM D6400-22. Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. – West Conshohocken : ASTM International, 2022. – 8 p.
9. Shah, A. A. Microbial degradation of bioplastics: current trends and future prospects / A. A. Shah, F. Hasan // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 325. – P. 116497. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116497.