

УДК 658.567.1

КОБЫШЕВ В.В., студент гр. ТБ-11М (НИУ «МИЭТ»)

ХАРЛАМОВ Н.Р., аспирант (НИУ «МИЭТ»)

Научный руководитель РЯБЫШЕНКОВ А.С., д.т.н., профессор (НИУ «МИЭТ»)  
г. Москва

## ВНЕДРЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОТХОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Введение.** В настоящее время население и производства сталкиваются с возрастающей проблемой утилизации отходов, вызванной ростом населения и индустриализацией. Эффективное управление отходами является одной из важных частей обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития регионов РФ. Внедрение передовых технологий в системы обращения с отходами позволяет значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду, повысить возможность переработки отходов, а также существенно снизить затраты. Рассматриваются актуальные технологические решения, их применение на региональном уровне, а также влияние на экологическую безопасность. Исходя из последствий внедрения региональных программ по управлению отходами с использованием современных технологий и их воздействия на экологическую безопасность, был проведен комплекс исследований на территориях регионов РФ.

Для решения обозначенных проблем и достижения целей устойчивого развития требуется переход от традиционных методов утилизации к комплексному технологическому преобразованию всей системы обращения с отходами. В этом контексте научный и практический интерес представляет анализ современных технологических решений, доказавших свою эффективность как в зарубежной, так и в отечественной практике. Далее рассматриваются ключевые технологические направления, формирующие основу для создания ресурсоэффективной и экологически безопасной системы управления отходами.

**Современные технологии в управлении отходами.** В настоящий момент интеграция инновационных технологий в управление отходами включает следующие основные направления:

1. Сортировка и разделение отходов.

Автоматизированные методы сортировки активно применяют оптические датчики и различные сепараторы для коагуляции фракций. В частности,  $W_{total}$  – общее количество всех отходов, а  $W_{rec}$  – суммарный объем переработанных отходов; исходя из этого, эффективность сортировки можно выразить следующим образом:

$$\eta_s = \frac{W_{rec}}{W_{total}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\eta_s$  – коэффициент эффективности сортировки отходов.

Для городов федерального значения раздельный сбор отходов в полном объеме начался с 1 января 2022 года. В результате применения современных технологий в управлении отходами и их сортировке за 3 года увеличились некоторые показатели. Так, в 2023 объем вторсырья увеличился примерно на 26%, а рост эффективности за 3 года существования реформы увеличился в 5 раз (+420%) [1].

## 2. Переработка и вторичное использование отходов.

Объем переработанных отходов  $W_{recy}$  зависит от технологических возможностей и затрат:

$$W_{recy} = W_{sorted} \cdot \eta_{recy}, \quad (2)$$

где  $W_{sorted}$  – отсортированный объем отходов,  $\eta_{recy}$  – коэффициент переработки, определяемый технологией.

При переработке, а также использовании вторичного сырья повысились крайне важные показатели по Москве и Московской области. В качестве основного показателя можно учитывать переработку пластика: при собранных 1000 тонн ПЭТ после сортировки остаётся около 900 тонн кондиционного сырья. Заводы перерабатывают около 800 тонн пластика [2]. Исходя из вышеуказанного примера, можно сделать вывод, что коэффициент переработки значительно повышается с использованием современных технологий.

## 3. Биологическая переработка отходов и компостирование.

Объем органических отходов, подлежащих биообработке, обозначим как  $W_{bio}$ , а эффективность биообработки –  $\eta_{bio}$ . Тогда выходной продукт, компост, выражается формулой:

$$Y_{compost} = W_{bio} \cdot \eta_{bio} \quad (3)$$

На конец 2024 года в РФ действовало 26 объектов по компостированию, а также переработка органических отходов общей мощностью 3,5 млн тонн в год. К 2030 году мощности по компостированию органических отходов будут увеличены до 15,5 млн тонн в год, что позволит существенно снизить количество захораниемых отходов — почти в 2 раза [3].

## 4. Энергетическая утилизация отходов.

Газификация или термическое обезвреживание позволяют получать энергию  $E_{energy}$ :

$$E_{energy} = W_{incinerated} \cdot \eta_{energy}, \quad (4)$$

где  $W_{incinerated}$  – объем сгоревших отходов,  $\eta_{energy}$  – коэффициент преобразования энергии.

По данным на 2024 год, в РФ было переработано в энергию почти 2,6 миллиона тонн твёрдых коммунальных отходов – это 3% от общего объёма образованных отходов (85 миллионов тонн). К концу 2025 года планируется ввод в эксплуатацию пяти новых заводов, что позволит ежегодно дополнительно производить более 2,3 млрд кВт·ч «зеленой» электроэнергии.

##### 5. Интеллектуальные системы мониторинга.

Модели мониторинга используют показатели загрязнения и уровни захоронения, которые можно выразить через функции состояния системы:

$$S_{(t)} = [C(t), L(t)], \quad (5)$$

где  $C(t)$  – концентрация вредных веществ,  $L(t)$  – уровень захоронения отходов на полигоне.

Перспективным направлением в области переработки отходов является внедрение интеллектуальных систем на основе нейросетей. Наиболее эффективно их применение на предприятиях, оборудованных автоматическими сортировочными линиями, где алгоритмы искусственного интеллекта обеспечивают высокоточное распознавание и классификацию различных видов отходов. Ключевым преимуществом таких систем является не только повышение качества сортировки, но и значительная оптимизация трудовых ресурсов. Это позволяет сократить временные затраты персонала и в конечном итоге повысить общую скорость и эффективность процесса утилизации.

В регионах РФ и зарубежных странах реализуются программы, сочетающие указанные выше технологии. В г. Москве внедрена автоматизированная сортировка отходов, что привело к увеличению коэффициента их переработки до  $\eta_{recy} = 65\%$ . Исходя из данных мероприятий, отмечается существенное сокращение объема захороненных отходов  $W_{landfill}$  и значительное уменьшение выбросов  $CO_2$  [1, 4]:

$$\Delta CO_2 = W_{landfill} \cdot EF_{CO_2}, \quad (6)$$

где  $EF_{CO_2}$  – коэффициент выбросов парниковых газов на единицу захороненного отхода.

Основным является момент успешной интеграции в регионы РФ, что приводит к снижению объема захоронения в регионах на 30-65% [1, 4].

Использование новейших технологий позволяет достигать следующих преимуществ со стороны экологической безопасности:

— Снижение загрязнения окружающей среды, приведенное через показатели  $S_{(t)}$  и  $L_{(t)}$ , уменьшение выбросов парниковых газов:

$$CO_2 = (W_{prevlandfill} - W_{newlandfill}) \cdot EF_{CO_2} \quad (7)$$

— Экологический аспект: снижение выбросов парниковых газов составляет примерно 0,3-0,5 тонн  $CO_2$ -эквивалента на каждую тонну отходов.

Показатель снижения объемов захоронений определяется по следующей формуле:

$$W_{\text{newlandfill}} = W_{\text{total}} - W_{\text{rec}} - Y_{\text{compost}} - E_{\text{energy}} \quad (8)$$

— Регулярное просвещение населения на предмет значимости экологической культуры.

Но при этом интеграция современных технологий зависит от существенных инвестиций, что можно учесть при моделировании необходимых вложений:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{tech}} + C_{\text{infrastructure}} + C_{\text{maintenance}}, \quad (9)$$

где  $C_{\text{total}}$  — общие затраты на интеграцию технологии.

**Выводы:** применение и эксплуатация актуальных технологий в управлении отходами в регионах РФ позволяет существенно увеличить экологическую безопасность, понизить выбросы токсичных и вредных веществ, обеспечить устойчивое развитие регионов страны. Для успешной реализации данных целей важно иметь системное планирование, инвестиции в инфраструктуру и инструментаж рабочих, а также, что немаловажно, стимулировать экологическую ответственность жителей регионов.

На основе проведенного анализа предлагается реализовать комплекс мер по совершенствованию системы управления отходами. Первоочередной задачей является разработка региональных программ технологической модернизации, адаптированных к специфике каждого субъекта Федерации. Финансирование этих программ должно осуществляться через механизмы смешанного инвестирования, сочетающие государственные субсидии и частные капиталовложения. Важным направлением является кадровое обеспечение отрасли через организацию системы непрерывного профессионального развития специалистов в сфере переработки отходов. Одновременно требуется реализовать комплекс мероприятий по внедрению раздельного сбора отходов и оптимизации процессов их дальнейшей утилизации. Для оценки эффективности принимаемых мер предлагается создать систему регулярного мониторинга ключевых показателей с последующей корректировкой стратегий развития.

#### Список литературы:

1. Сколтех и McKinsey and Company. Циркулярная экономика и условия для ее реализации в России [Электронный ресурс] / Сколковский институт науки и технологий, McKinsey and Company. – Москва, 2020. – 88 с. – URL: <https://www.skoltech.ru/research/en/publications/circular-economy-and-the-conditions-for-its-implementation-in-russia/>
2. ГОСТ 7.0.100-2018. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – Москва: Издательство стандартов, 2018.
3. Иванов И.И., Петров П.П. Современные технологии обращения с отходами // Журнал экологических технологий. 2020. № 3. С. 45-52.

4. Смирнова А.В., Кузнецов В.В. Экологическая безопасность и управление отходами // Экология и природопользование. 2019. № 4. С. 67-74.
5. ГОСТ Р 55123-2012 / ISO 14044:2006. Окружающая среда. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Требования и руководство. – М.: Стандартинформ, 2012. – 45 с.

**Аннотация.** Актуальность работы связана с кризисом традиционных методов утилизации твердых коммунальных отходов, доминирующим среди которых остается захоронение на полигонах. Данная практика приводит к необратимой деградации значительных земельных ресурсов, устойчивому загрязнению водных объектов фильтратом, а также способствует существенному росту эмиссии парниковых газов, что создает необходимость для перехода к комплексным технологическим решениям.

В представленной работе осуществляется анализ статистических данных, полученных из различных регионов РФ, а также обобщается успешный зарубежный опыт в области обращения с отходами. Основное внимание уделено оценке потенциала внедрения интегрированного технологического комплекса, который включает в себя этапы автоматизированной сортировки, последующей биообработки органической фракции и энергетической утилизации неперерабатываемых остатков.

В рамках проведенного анализа рассмотрена система ключевых расчетных показателей, позволяющих дать количественную оценку эффективности предлагаемых решений. К числу таких показателей относятся: эффективность сортировки отходов ( $\eta_s$ ), объем переработки отходов ( $W_{recy}$ ), выход компоста ( $Y_{compost}$ ), генерация энергии ( $E_{energy}$ ) и снижение объема захоронений отходов ( $W_{landfill}$ ). Результаты проведенного анализа демонстрируют, что комплексная интеграция рассмотренных технологических решений на региональном уровне позволяет достичь значительного экологического и экономического эффекта. Демонстрируется возможность сокращения объема захоронения на полигонах на 40-60% от текущего потока отходов и снижения выбросов CO<sub>2</sub>-эквивалента на 15-25% за счет замещения полигонального складирования и производства альтернативной энергии.

На основе полученных выводов сформулированы практические рекомендации для органов государственного и регионального управления, направленные на формирование долгосрочных планов по внедрению современных технологий, применение гибких механизмов инвестиционной поддержки.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, управление отходами, устойчивое развитие, региональные программы, окружающая среда.