

## Обоснование эффективности использования технологий повторной переработки и утилизации отходов на основе модели управления материалами

*С.Н. Гончаренко, А.Ф.М. Алмунтафеки*

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,  
Москва*

**Аннотация:** В работе произведен анализ существующих в мире эффективных технологий повторной переработки и утилизации отходов. Рассмотрены различные подходы в международной практике переработки отходов производства и потребления. Дана оценка возможностей использования эффективных технологий повторной переработки и утилизации отходов и необходимых затрат для их реализации применительно к условиям промышленного предприятия. Рассмотрены виды и объемов отходов, способных к повторной переработке и утилизируемых безвозвратно, для которых рассчитаны параметры углеродного следа по модели управления материалами и сокращения отходов. Осуществлен статистический регрессионный анализ данных производства, переработки, захоронения и сжигания отходов полиэтилена, твердых бытовых отходов и бумаги. Определены принципы построения системы снижения техногенных рисков и управления отходами производства и потребления.

**Ключевые слова:** переработка отходов; утилизация отходов; углеродный след; методы расчета углеродного следа; система управления техногенными рисками; опасные факторы воздействия; управление отходами производства.

В настоящее время в мире существуют различные технологии по переработке отходов. Важно отметить, что выбор конкретной технологии переработки отходов зависит от различных факторов, включая характер отходов, регулятивные требования, экономическую эффективность и другие соображения. Каждая страна и компания может выбрать оптимальный подход в соответствии со своими потребностями и возможностями [1,2].

Виды отходов производства и потребления по своему составу не могут быть повторно использованы непосредственно после проверки, очистки или ремонта без проведения дополнительной обработки. В то же время переработке и утилизации, исходя из возможностей специализированных организаций, подлежат все виды отходов производства и потребления, за исключением твердых коммунальных отходов. При этом ряд отходов могут быть подвергнуто переработке, а для остальных отходов доступны

---

технологии утилизации, в первую очередь путем сжигания с извлечением тепловой энергии. На захоронение следует направлять только один вид отходов – твердые коммунальные отходы, после предварительной сортировки и извлечения из них таких компонентов как отходы пластмасс, пластика и полиэтилена, макулатура, картон и отходы бумаги, стеклянная тара, стеклобой, лом цветных и черных металлов, электронное и электрическое оборудование, строительные и пищевые отходы [3-5].

Для обращения с основными образующимися отходами производства и потребления применимы следующие технологии.

Переработка отходов полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП) (тара), пластмассы, а также других видов пластмасс, является важной задачей с точки зрения устойчивого управления отходами. Существует международный опыт по переработке этих материалов, и различные страны применяют разные подходы и технологии [6].

Германия является одним из лидеров в области переработки пластмассовых отходов. Здесь широко применяются методы механической переработки, при которых отходы ПЭ и ПП сортируются, моются и измельчаются для получения гранул или стружки. Эти материалы могут использоваться для производства новых пластиковых изделий или упаковочных материалов.

В Японии также разработаны технологии переработки пластмассовых отходов, включая ПЭ и ПП. Здесь используются различные методы, такие, как механическая переработка, химическая переработка и переработка методом пиролиза. Переработанные материалы могут использоваться для производства пластиковых изделий, включая упаковочные материалы, мебель и другие продукты.

В США также проводятся работы по переработке пластмассовых отходов. Здесь применяются методы механической переработки, химической

---

переработки и переработки методом пиролиза. Пластиковые отходы, включая ПЭ и ПП, могут быть переработаны в гранулы или стружку, которые затем используются в производстве новых пластиковых изделий.

Нидерланды также являются одной из стран, где проводятся исследования и разработки по переработке пластмассовых отходов. Здесь применяются инновационные технологии, включая химическую переработку, при которой пластиковые отходы разлагаются на молекулярном уровне и превращаются в сырье для производства новых пластиковых продуктов.

Переработка твердых коммунальных отходов (ТКО) является актуальной темой во всем мире, и различные страны и регионы применяют разнообразные подходы к управлению и переработке этих отходов [7].

Швеция является одной из ведущих стран в переработке ТКО. Более 99% ТБО в Швеции перерабатываются или используются для производства тепла и электроэнергии. Отходы подвергаются процессам сортировки, переработки и сжигания с использованием современных технологий.

Германия также имеет развитую систему переработки ТКО. Немцы активно применяют методы сортировки, переработки и утилизации для получения энергии и вторичных сырьевых материалов. Значительная часть ТКО перерабатывается с использованием технологии механической-биологической обработки, а также процессов сжигания с энергетическим использованием.

Япония известна своими инновационными методами переработки ТКО. Здесь применяются передовые технологии, такие, как пиролиз, газификация и переработка в биогаз для получения энергии. Кроме того, в Японии широко применяются методы сортировки и переработки отходов, а также повторное использование и переработка материалов.

В Нидерландах существует эффективная система сортировки и переработки ТКО. Голландцы используют механическую сортировку и

---

биологическую переработку, а также технологии сжигания с использованием энергии. Также важным элементом является стимулирование переработки и утилизации через экономические механизмы и налоги на отходы.

Бумага, картон являются одними из наиболее распространенных материалов в мире и имеют большое значение в области устойчивого управления отходами. Бумажные отходы включают в себя использованную бумагу, газеты, журналы, карточки и другие подобные материалы. Отходы макулатуры являются ценным ресурсом для переработки и повторного использования. Макулатура также служит важным источником сырья для производства переработанной бумаги и может быть использована для создания различных продуктов, включая упаковочные материалы, туалетную бумагу, бумажные полотенца и другие бумажные изделия. Раздельный сбор и переработка макулатуры играют важную роль в устойчивом использовании ресурсов и сокращении отрицательного влияния на окружающую среду.

Международный опыт по переработке и утилизации бумаги и картона включает различные методы и технологии [8].

Швеция является одной из стран с самым высоким уровнем переработки бумаги и картона. Здесь осуществляется сбор бумажных и картонных отходов отдельно от других видов отходов. После сбора материалы сортируются, удаляются посторонние включения, а затем перерабатываются в новую бумагу и картон или используются для производства энергии.

В Германии также существует развитая система сбора и переработки бумаги и картона. Бумажные отходы собираются отдельно и подвергаются процессу сортировки, удаления посторонних материалов и переработки. Затем материалы могут использоваться для производства новой бумаги, картонных упаковок, гофрированного картона и других продуктов.

В США также существует система сбора и переработки бумаги и картона. Отдельные контейнеры для бумажных отходов установлены в

---

различных местах, таких, как офисы, школы, магазины и т.д. После сбора бумага и картон перерабатываются в новые материалы, такие как бумага, картон, упаковочные материалы и другие продукты.

Развита система сбора и переработки бумаги и картона и в Японии. Здесь бумажные отходы собираются отдельно и подвергаются процессу сортировки и переработки. Материалы могут быть использованы для производства новой бумаги и картона, упаковочных материалов, а также для производства биогаза и энергии.

Отходы строительных материалов, образующиеся во время строительства, ремонта или сноса зданий включают в себя бетонные осколки, кирпичи, древесные материалы, металлические элементы и т.д. [9,10]. Строительный мусор требует правильной обработки и утилизации, так как неправильная утилизация может иметь негативное воздействие на окружающую среду [11,12]. Во многих европейских странах утилизация строительного мусора является довольно перспективной отраслью, где строительный рынок развивается достаточно интенсивно [13,14]. Постоянно увеличивающиеся объемы строительных отходов все острее ставят проблему их вторичного использования, утилизации, а также экологичного захоронения [15]. Во многих странах также существуют специальные правила и нормативы для сбора, переработки и утилизации строительного мусора с целью минимизации его негативного воздействия и повторного использования ресурсов. Раздельный сбор строительных отходов, таких, как бетон, кирпичи, древесина и металл, позволяет переработать их для производства новых строительных материалов или использовать в процессе строительства дорог и других инфраструктурных проектов. Это способствует устойчивому развитию и сокращению использования природных ресурсов.

Отходы деревообработки и деревянная тара имеют потенциал для переработки и использования в различных отраслях, включая производство

---

энергии, строительство, производство мебели и других деревянных изделий. Правильная утилизация и переработка отходов древесины могут помочь снизить негативное воздействие на окружающую среду и оптимизировать использование ресурсов. Они могут быть использованы для производства древесного щебня, биотоплива, компоста или других древесных продуктов. Переработка отходов древесины помогает сократить потребление древесных ресурсов и предотвратить их ненужное складирование на свалках. В международном опыте существует ряд примеров и подходов к переработке отходов древесины [16].

Финляндия имеет развитую деревообрабатывающую промышленность. Отходы древесины в стране перерабатываются в биотопливо, биогаз, древесные материалы и композиты, а также используются в производстве целлюлозы и бумаги.

В Германии отходы древесины перерабатываются в биотопливо, биогаз и древесную биомассу. Они используются для производства тепла и электроэнергии, а также в качестве сырья для производства деревянных материалов.

В Канаде отходы древесины перерабатываются в древесные пеллеты и брикеты, которые широко используются в качестве биотоплива для отопления и генерации энергии. Они также используются в строительстве и производстве мебели.

В США отходы древесины перерабатываются в биотопливо, деревянные материалы и композиты, а также используются в производстве бумаги и картонной упаковки. Также применяются методы рециклинга и использования древесной биомассы для производства энергии.

В Японии отходы древесины перерабатываются в деревянные материалы, биотопливо и биогаз. Они применяются в строительстве, энергетике и других отраслях.

---

В каждой стране применяются различные технологии и методы переработки отходов древесины, а также учитываются местные условия, потребности рынка и законодательные требования.

В настоящее время анализ и оценка прямого углеродного следа при обращении с отходами становится одной из важных составляющих нефинансовой отчетности при функционировании современного промышленного предприятия.

На данный момент наиболее распространены следующие методы оценки углеродного следа [17].

1. Методология GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol): это наиболее широко используемый метод определения углеродного следа для бизнеса. Этот метод был разработан в рамках сотрудничества между World Resources Institute и World Business Council for Sustainable Development. Он включает в себя два стандарта: Corporate Standard и Product Standard, которые определяют, как измерять и отчитываться о выбросах парниковых газов.

2. ISO 14064: это стандарт, разработанный Международной организацией по стандартизации (ISO) для измерения, управления и отчетности по выбросам газов, вызывающих парниковый эффект. Он включает три части: часть 1 – спецификация схемы и управления измерением; часть 2 – спецификация принципов и требований для включения проектов в учет; часть 3 – спецификация для верификации и проверки отчетности по выбросам.

3. PAS 2050: это методология определения углеродного следа продукта, разработанная Британским институтом стандартов (BSI). Он представляет собой метод учета выбросов газов, вызывающих парниковый эффект, на всех этапах жизненного цикла продукта, включая производство, транспортировку, использование и утилизацию.

4. The Carbon Trust Footprinting Certification: это программа сертификации углеродного следа, разработанная The Carbon Trust, независимой организацией, которая помогает бизнесу и государственным учреждениям уменьшить свой углеродный след. Эта программа оценивает углеродный след бизнеса в соответствии с международными стандартами и выдает сертификаты, которые могут быть использованы для демонстрации действительного уменьшения углеродного следа.

Кроме того, существует также другие методы [18,19], которые могут использоваться для измерения углеродного следа, такие как Life Cycle Assessment (LCA), которые оценивают экологические последствия продукта или услуги на всем ее жизненном цикле, включая производство, использование и утилизацию.

Другой метод – Input-Output Analysis (IOA), который анализирует взаимодействие между экономическими секторами и расходами энергии в рамках национальной экономики, а также Carbon Leakage Assessment (CLA), который оценивает риски переноса выбросов в другие регионы в результате регулирования углеродных выбросов в одном регионе.

Все эти методы имеют свои преимущества и ограничения, поэтому выбор конкретного метода зависит от целей и задач измерения углеродного следа.

Кроме того, можно также использовать специализированные инструменты и программные средства для расчета углеродного следа, такие как Carbon Footprint Calculator, Carbon Analytics, SimaPro, Ecochain и т.д. Они предоставляют более удобный и быстрый способ расчета углеродного следа для конкретного продукта или услуги, основываясь на базе данных по выбросам парниковых газов в различных этапах жизненного цикла продукта или услуги.

---

Наконец, стоит отметить, что для получения более точных результатов измерения углеродного следа необходимо использовать научные данные и стандарты, а также проводить проверку данных и оценку неопределенности результатов.

Для расчета углеродного следа для отходов необходимо выполнить следующие шаги.

1. Определить тип отходов. Различные виды отходов имеют разный потенциал влияния на климат, поэтому необходимо определить, к какому типу отходов относится конкретный материал.

2. Определить массу отходов. Это можно сделать путем взвешивания отходов на весах или путем расчета массы на основе известной плотности материала.

3. Рассчитать углеродный след. Для этого необходимо знать количество углерода, которое выделяется при производстве, транспортировке, использовании и утилизации отходов. Коэффициенты углеродного следа для разных видов отходов могут быть найдены в литературе или базах данных, таких как журналы исследований, базы данных о продуктах и процессах или сертификационные программы.

4. Вычислить углеродный след. Для этого необходимо умножить массу отходов на коэффициент углеродного следа, чтобы определить количество углерода, выделяемого при жизненном цикле отходов.

5. Интерпретация полученных результатов, позволяющая оценить уровень влияния отходов на изменение климатических показателей.

6. Сравнить различные варианты обработки отходов. Расчет углеродного следа может быть использован для сравнения разных вариантов обработки отходов. Например, можно сравнить углеродный след для отправки отходов на свалку и для их переработки во вторичные материалы.

7. Оценить возможности снижения углеродного следа. Расчет углеродного следа может также использоваться для определения возможностей снижения углеродного следа путем улучшения процессов утилизации и переработки отходов. Например, можно рассмотреть варианты увеличения эффективности процессов переработки и снижения энергозатрат на транспортировку отходов.

8. Учитывать местные условия. При расчете углеродного следа для отходов необходимо учитывать местные условия, такие как транспортировку, энергоснабжение и используемые технологии. Различные регионы и страны могут иметь различные методы и технологии переработки отходов, что может привести к различным значениям углеродного следа.

9. Обновлять данные. Поскольку технологии и методы обработки отходов могут изменяться, необходимо обновлять данные, используемые при расчете углеродного следа. Также следует учитывать новые научные исследования и изменения в регулировании влияния отходов на окружающую среду и климат.

10. Учитывать цикл формирования отходов, включая производство, использование и непосредственную утилизацию. Например, если процесс переработки отходов требует большого количества энергии и ресурсов, то это может привести к увеличению прямого углеродного следа несмотря на то, что переработка сама по себе снижает влияние отходов на окружающую среду.

11. Учитывать различные типы отходов. Различные типы отходов могут иметь различный углеродный след, в зависимости от их состава и происхождения. Например, пластиковые отходы могут иметь более высокий углеродный след, чем органические отходы. Поэтому при расчете углеродного следа необходимо учитывать различные типы отходов и их особенности.

---

12. Использовать стандарты и методы, разработанные специально для расчета углеродного следа отходов. Существуют стандарты и методы, разработанные специально для расчета углеродного следа отходов, такие как стандарт PAS 2050 и методология GHG Protocol. Использование таких стандартов и методов позволяет получить более точные и сопоставимые результаты расчетов.

Существует несколько способов оценки углеродного следа для бытовых отходов, но обычно они включают в себя оценку всех этапов жизненного цикла отходов, включая сбор, транспортировку, переработку и утилизацию [20].

Расчет углеродного следа ТКО может проводиться различными методами, включая методики ISO 14064-1 и GHG Protocol, а также инструменты для автоматического расчета углеродного следа, такие как Carbon Trust, Life Cycle Assessment (LCA), Carbon Footprint (CF), Waste Input-Output Analysis (WIOA) и другие. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, а также разные подходы к оценке углеродного следа.

Один из наиболее распространенных методов расчета углеродного следа для твердо-коммунальных отходов – это метод LCA, который позволяет оценить влияние всех этапов жизненного цикла ТКО на уровень выбросов углерода. Для расчета углеродного следа методом LCA для ТКО можно использовать программы, такие как GaBi, SimaPro, Ecoinvent и др.

В методе CF учитывается только количество выбросов углерода, связанных с определенным этапом жизненного цикла ТКО. Для расчета углеродного следа методом CF для ТКО можно использовать программы, такие как Carbon Footprint Lite, GHG Protocol и др.

WIOA является более новым методом расчета углеродного следа для ТКО, который учитывает потоки материалов и выбросы в различных

секторах экономики. Для расчета углеродного следа методом WIOA можно использовать программы, такие как WIO-LCA, EIO-LCA и др.

Методика расчета углеродного следа для коммунальных отходов, разработанная Международной организацией по стандартизации (ISO) под названием ISO 14064-1, охватывает три основных этапа [21]:

1. Определение границ системы: это означает определение, какие процессы и действия будут включены в расчет углеродного следа. В случае коммунальных отходов это могут быть процессы сбора, транспортировки, обработки и утилизации отходов; оценка выбросов парниковых газов; расчет углеродного следа.

В расчетах углеродного следа отходов макулатуры учитываются следующие факторы: количество и состав отходов макулатуры; расстояние и тип транспортировки отходов; энергозатраты на производство и транспортировку материала; энергозатраты на утилизацию отходов (например, сжигание, компостирование, переработка в новый продукт); выбросы парниковых газов при утилизации отходов.

Расчет углеродного следа для отходов макулатуры может быть выполнен с использованием различных методов.

1. Метод инвентаризации выбросов парниковых газов (GHG) – это метод, который оценивает выбросы парниковых газов, таких, как углекислый газ, метан и оксид азота, которые производятся во время изготовления, транспортировки и утилизации отходов макулатуры.

2. Методика эквивалентности углерода (CBE) – это метод, который оценивает количество эквивалентов углерода, необходимых для компенсации углеродных выбросов от отходов макулатуры. Он основан на сравнении углеродных выбросов с выбросами углерода при сжигании древесных отходов, что помогает оценить и сравнить воздействие на климат.

3. Анализ жизненного цикла (LCA) – это метод, который оценивает все этапы жизненного цикла продукта (изготовление, транспортировка, использование и утилизацию). LCA также может использоваться для оценки углеродного следа отходов макулатуры.

Все вышеупомянутые методы являются проверенными и достоверными и могут быть использованы для расчета углеродного следа отходов макулатуры.

Согласно литературным данным переработка макулатуры в бумагу является наиболее экологически эффективным методом утилизации, с наименьшими выбросами парниковых газов и потреблением энергии. Использование переработанной макулатуры в производстве бумаги может существенно снизить углеродный след продукции по сравнению с использованием древесной целлюлозы.

Проблема пищевых отходов не нова, но она усугубляется. Несмотря на то, что пищевые отходы возникают на многих уровнях, проблема также заключается в выбросах вредных веществ в атмосферу, а этому вопросу часто уделяется недостаточно внимания.

Пищевые отходы являются одним из основных источников вредных выбросов, ежегодно выделяя 485 миллионов метрических тонн CO<sub>2</sub>.

Один из способов зафиксировать эту проблему и решить ее – сознательное отношение к утилизации пищевых отходов. По мере роста объемов пищевых отходов, приводящего к повышению уровня выбросов, увеличивается важность решений для утилизации мусора.

Если сообщество из 30 000 домохозяйств утилизирует пищевые отходы в измельчителях вместо того, чтобы отправлять их на свалку, то положительный эффект на выбросы парниковых газов будет соответствовать посадке 31 435 деревьев. Несмотря на то, что большое внимание уделяется выбросам углекислого газа при транспортировке, известно, что из

---

парниковых газов метан наносит больший вред, чем  $\text{CO}_2$ . Исследования показывают, что метан в 25 раз активнее, чем  $\text{CO}_2$ .

Переосмысление вопроса утилизации пищевых отходов и потребления топлива – это лишь два из многих способов, с помощью которых можно уменьшить ежедневный углеродный след.

Существенно сократить выбросы парниковых газов в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами возможно за счет утилизации пищевых отходов путем компостирования [22].

Компостирование – один из перспективных методов обращения с отходами. Компостирование – это процесс разложения органических отходов (например, пищевых отходов, листьев, веток) с помощью микроорганизмов в натуральном окружении, обычно в куче или контейнере. В результате процесса компостирования образуется удобрение, богатое питательными веществами, которое можно использовать для улучшения почвы [23].

Компостирование оказывает положительное влияние на углеродный след, так как оно позволяет снизить количество органических отходов, которые попадают на свалку или сжигаются, что приводит к выбросу парниковых газов. Вместо этого, компостирование создает удобрение, которое можно использовать для выращивания растений, и при этом снижает объем отходов, которые попадают на свалку.

При компостировании отходов в почву попадает органический углерод, который удерживается в почве и снижает уровень углеродного диоксида в атмосфере. Это происходит за счет того, что органический углерод является частью почвенной биомассы и может оставаться в почве на десятилетия и даже столетия. Таким образом, компостирование помогает уменьшить углеродный след и способствует более устойчивому и экологически безопасному использованию ресурсов.

---

Кроме того, компостирование может способствовать сохранению биоразнообразия и улучшению качества почвы. Увеличение количества органического вещества в почве, полученного в результате компостирования, увеличивает ее плодородие и способность удерживать воду, что может улучшить условия для роста растений.

Чтобы компостирование было наиболее эффективным с точки зрения снижения углеродного следа, важно выбирать правильное соотношение между различными материалами для компостирования, такими как зеленые и коричневые отходы, а также обеспечивать хорошую вентиляцию и влажность для микроорганизмов, которые осуществляют процесс разложения. При транспортировке компоста необходимо использовать эффективные методы, чтобы избежать выбросов парниковых газов во время перевозки.

Использование компостированного удобрения может снизить зависимость от синтетических удобрений, которые производятся из нефтепродуктов и потребляют большое количество энергии во время производства.

Также важно отметить, что компостирование может не только снизить углеродный след, но и уменьшить количество отходов, которые попадают на свалку и загрязняют окружающую среду. Свалки являются одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов, поэтому снижение объемов отходов, которые попадают на свалки, может значительно снизить углеродный след.

В целом, компостирование является важным инструментом для снижения углеродного следа и улучшения экологической устойчивости. Однако для достижения максимального эффекта, необходимо уделять внимание правильному управлению процессом компостирования, а также использовать компостированное удобрение в соответствии с экологическими принципами.

---

Компенсировать углеродный след следует после проведения оптимизации выбросов парниковых газов, для рационального использования ресурсов природы и финансов предприятия (восстановление лесов; улавливание и захоронение углекислого газа; реализация проектов по развитию возобновляемой энергетики; сокращение выбросов парниковых газов в городах и населенных пунктах; улавливание углерода в сельском хозяйстве).

Примеры решений по снижению выбросов парниковых газов по различному уровню охвата [24]. Охват 1 – Сокращение прямых выбросов: модернизация производства; оптимизация техники и транспорта; модернизация систем энергоснабжения и кондиционирования. Охват 2 – Сокращение косвенных энергетических выбросов: повышение энергоэффективности; изменение источников поставки энергии на более экологичны или возобновляемые; компенсация выбросов: offsetting, покупка сертификатов REC. Охват 3 – Сокращение косвенных выбросов: оптимизация выбросов на всей цепочке поставок и снабжения (upstream and down stream); оптимизация выбросов на жизненном цикле продукции; анализ жизненного цикла и сертификация EPD.

Сокращение выбросов парниковых газов стимулируется механизмом СВМ (Carbon Border Adjustment Mechanism), что усиливает на рынке присутствие таких механизмов как: offsetting – компенсация парниковых газов, cap and trade system – торговля квотами на выбросы парниковых газов, добровольная торговля углеродными единицами. Один из вариантов сокращения углеродного следа – естественное сокращение. Для этого необходимо строительство карбоновых полигонов. Карбоновые полигоны – это территории с несколькими экосистемами, оснащенные научными лабораториями. В перспективе полигоны должны охватить все природные экосистемы. Это разнообразие необходимо для того, чтобы наладить в

---

представленных зонах мониторинг по мировым стандартам и методикам. Это даст возможность получить оценку углеродного следа и вписать ее в общемировую картину. Расчет эмиссии парниковых газов в работе произведен по модели сокращения отходов (Waste Reduction Model) - WARM, которая позволяет проводить сравнительные анализы различных методов обработки отходов, включая их сжигание, переработку и складирование на свалках. Он также учитывает влияние на окружающую среду каждого этапа управления отходами, включая сбор, транспортировку и обработку. Полученные результаты расчетов (таблица № 1) коэффициентов регрессионной модели дают объективную оценку влияния каждого вида отходов в общую эмиссия парниковых газов на предприятии.

Таблица №1

Регрессионные модели эмиссии парниковых газов (ЭПГ) по WARM  
(коэффициент регрессионной модели, t критерий, доверительная вероятность - p, степень свободы - df (degree of freedom))

| Наименование отхода                           | Доля от общего количества, % | Производство                                    | Переработка                                     | Захоронение                                   | Сжигание                                       |
|---|------------------------------|---|---|---|--|
| Отходы полиэтилена (X1)                       | 23,5                         | <b>63,1</b><br>(t = 1,31; p = 0,89; df =11)     | <b>-44,3</b><br>(t = 0,86; p = 0,76; df =11)    | <b>12,1</b><br>(t = 0,92; p = 0,81; df =11)   | <b>72,1</b><br>(t = 0,62; p = 0,72; df =11)    |
| Твердые бытовые отходы (X2)                   | 46,2                         | <b>16,2</b><br>(t = 1,42; p = 0,91; df =11)     | <b>-23,6</b><br>(t = 1,11; p = 0,85; df =11)    | <b>35,6</b><br>(t = 0,71; p = 0,75; df =11)   | <b>36,2</b><br>(t = 1,21; p = 0,87; df =11)    |
| Бумага, картон (X3)                           | 12,1                         | <b>9,6</b><br>(t = 2,1; p = 0,97; df =11)       | <b>-4,9</b><br>(t = 1,91; p = 0,96; df =11)     | <b>3,2</b><br>(t = 0,59; p = 0,71; df =11)    | <b>-6,8</b><br>(t = 0,79; p = 0,78; df =11)    |
| Свободный член                                |                              | <b>153,4</b>                                    | <b>-64,3</b>                                    | <b>9,6</b>                                    | <b>43,1</b>                                    |
| Уравнение зависимости, коэффициент корреляции |                              | ЭПГ = 153,4 + 63,1X1 + 16,2X2 + 9,6X3, r = 0,82 | ЭПГ = -64,3 - 44,3X1 - 23,6X2 - 4,9X3, r = 0,78 | ЭПГ = 9,6 + 12,1X1 + 35,6X2 + 3,2X3, r = 0,81 | ЭПГ = 43,1 + 72,1X1 + 36,2X2 - 6,8X3, r = 0,82 |

Таким образом, управление отходами производства и потребления и безопасное обращение с ними являются одним из основных направлений экологического планирования и управления.

Виды отходов производства и потребления, образующихся на предприятии, по своему составу не могут быть повторно использованы непосредственно после проверки, очистки или ремонта без проведения дополнительной обработки. В то же время переработке и утилизации, исходя из возможностей специализированных организаций, подлежат все виды отходов производства и потребления, за исключением твердых коммунальных отходов. При этом переработке может быть подвергнуто большинство видов отходов производства и потребления. Для остальных отходов доступны технологии утилизации, в первую очередь путем сжигания с извлечением тепловой энергии.

На захоронение следует направлять только один вид отходов – твердые коммунальные отходы, после предварительной сортировки и извлечения из них таких компонентов как отходы пластмасс, пластика и полиэтилена, макулатура, картон и отходы бумаги, стеклянная тара, стеклобой, лом цветных и черных металлов, электронное и электрическое оборудование, строительные и пищевые отходы.

Необходимо учитывать эти возможности при заключении договоров со специализированными организациями по обращению с отходами.

Вклад отходов в общую эмиссию парниковых газов предприятия незначителен. Тем не менее, является рациональным пищевые отходы, отходы древесины, картон использовать для компостирования, образующийся компост использовать для улучшения почвы для посадки зеленых насаждений в рамках стратегии декарбонизации. Дополнительно будут уменьшены расходы на транспортировку отходов.

Для построения системы снижения техногенных рисков [25], управления отходами производства и потребления необходимо осуществить заблаговременный сбор информации о возможных источниках опасностей, характеристиках опасных процессов и объектах воздействия. Сбор и накопление такой информации осуществляется в ходе мониторинга угроз и рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, в результате которого формируется банк данных, включающий следующие сведения: данные об авариях, катастрофах, чрезвычайных ситуациях; закономерности антропогенной изменчивости природных систем; данные о текущем состоянии окружающей природной среды, величине ассимиляционного потенциала. Информация о среде, в которой находится источник потенциальной чрезвычайной ситуации, может содержать сведения: геологические, климатические характеристики, состояние воздушного и водного бассейнов, почвы и др.

Исходная информация для оценки риска возникновения чрезвычайной ситуации при транспортировке сырьевых ресурсов и отходов производства включает: предпроектную и проектную документацию; материалы инженерных изысканий; данные статистической отчетности об уровне аварийности, воздействиям на окружающую природную среду.

В ходе выявления всех опасных факторов воздействия учитываются следующие данные: внешние антропогенные факторы воздействия, в том числе степень защищенности наземных и подземных объектов от внешних антропогенных факторов воздействия, уровень антропогенной активности (плотность населения, строительство и эксплуатация производственных объектов и объектов инфраструктуры на исследуемой территории), глубина залегания подземных объектов; данные о техническом состоянии материальной базы (продолжительность эксплуатации, периодичность техобслуживания оборудования, планово-предупредительных ремонтов,

---

сведения о капитальных ремонтах, состояние изоляционных покрытий и других защитных материалов, сведения о поставщиках оборудования и услуг, сведения о применяемых материалах и изделиях и др.); данные о технических решениях (технологические схемы, способы хранения и транспортировки сырьевых ресурсов и отходов производства); природные факторы (климатические особенности; состояние грунта (коррозионная активность, несущая способность, вероятность перемещения и др.); сейсмическая характеристика региона.

На основе анализа информации о потенциально опасных факторах воздействия производится описание условий возникновения и развития нежелательных событий, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям.

Оценку рисков можно проводить поэтапно. На первом этапе осуществляется базовая (первичная) оценка рисков на основании результатов статистических данных. На втором этапе проводится расчет частоты появления рисков событий: о фактическом техническом состоянии материальной базы при транспортировке сырьевых ресурсов и отходов производства (состояние оборудования, отклонения контролируемых параметров от требований нормативных документов, правил безопасности, проектно-технической документации); о системе защиты и охраны объектов транспортировки сырьевых ресурсов и отходов производства от антропогенных и природных факторов воздействия; о количестве сбоев в работе оборудования при транспортировке энергоресурсов и отходов производства; о нарушениях природных систем в зоне пролегания маршрутов транспортировки сырьевых ресурсов и отходов производства и др. По результатам исследований, проведенных на втором этапе, производится ранжирование участков маршрута транспортировки энергоресурсов и продуктов их переработки в прибрежных территориях

---

арктическом регионе по степени опасности и приоритетности мер безопасности (управление риском).

На третьем этапе проводится оценка вероятности возникновения рисков чрезвычайных ситуаций.

В ходе анализа было выявлено, что риски нарушения экологических нормативов минимальны. Аварийных ситуаций и залповых выбросов, которые могли бы существенно повлиять на окружающую среду нет.

При выборе необходимых решений в области управления отходами предпочтение отдается надёжному сервису в области переработки отходов путем привлечения со стороны квалифицированных компаний, специализирующихся в области обращения с отходами.

Образующиеся на предприятиях отходы требуют для своей переработки специальных технологических процессов, не соответствующих профилю предприятий. Внедрение этих процессов на данном предприятии часто технически и экономически нецелесообразно.

### **Литература**

1. Deus R.M., Bezerra B.S. & Battistelle R.A.G. Solid waste indicators and their implications for management practice. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019. URL: [doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3](https://doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3).
2. Santos Eduardo, Fonseca Fernando, Santiago Aníbal, Rodrigues Daniel. Sustainability Indicators Model Applied to Waste Management in Brazil Using the DPSIR Framework. *Sustainability* 2024, 16(5), 2192. URL: [doi.org/10.3390/su16052192](https://doi.org/10.3390/su16052192).
3. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // *Отходы и ресурсы*. 2020. Т. 7. № 1. С. 5.
4. Мубаракшина Ф.Д., Гусева А.А. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом // *Известия Казанского*



- государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4 (18). С. 91-99.
5. Протопопов А.Н. Строительные материалы как продукт переработки отходов строительного производства // Строительные материалы. 2003. № 4. С. 29-30.
6. Алимпиев А.В., Дердиров А.М. Рециклинг пэт-бутылки: зарубежная и российская практика // Твердые бытовые отходы. 2019. № 9 (159). С. 38-39.
7. Фридланд В.С., Лившиц И.М. Твердые бытовые отходы как возобновляемый ресурс: Европейский опыт // Теплоэнергетика. 2011. № 1. С. 72-77.
8. Боравская Т.В., Плущевский М.Б., Фаюстов А.А. Зарубежные системы обращения с упаковочными отходами // Твердые бытовые отходы. 2008. № 8 (26). С. 50-52.
9. Владимиров С.Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. №19. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-othodov-stroitelnoy-industrii/viewer](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-othodov-stroitelnoy-industrii/viewer).
10. Гридчин А.М., Загороднюк Л.Х., Ерофеев В.Т., Аласханов А.Х., Науменко Н.А., Туцкая И.Н. Проблемы переработки отходов строительного комплекса // Научные технологии и инновации: Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2019. С. 100-105.
11. Олейник П.П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2016. Т. 3, № 2. С. 2. URL: [resources.today/PDF/02RRO216.pdf](http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf).
12. Иваев Д.Р. Проблема классификации строительных отходов // Экономика и социум. 2017. №1-2 (32). С. 1399-1401. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problema-klassifikatsii-stroitelnyh-othodov](http://cyberleninka.ru/article/n/problema-klassifikatsii-stroitelnyh-othodov).
-



13. Ищенко А.В., Твердохлебова Е.А. Обзор современных технологий утилизации отходов строительного производства // Инженерный вестник Дона. 2024. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083).
  14. Шегельман И.Р., Васильев А.С., Щукин П. О., Галактионов О. Н., Суханов Ю. В. Рециклинг отходов: актуальность возрастает // Инженерный вестник Дона. 2014. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479).
  15. Соколов Л.И. Классификация и рециклинг строительных отходов // Управление техносферой: электрон. журнал. 2021. Т.4. Вып. 1. URL: [technosphereing.ru](http://technosphereing.ru). С. 39 – 49.
  16. Ошкин А.В. Инновации в переработке отходов деревообработки: новые пути утилизации // Актуальные исследования. 2023. № 52-1 (182). С. 34-41.
  17. Абрамов В.И., Власов А.В., Перфильев Д.О. Углеродный след: методы оценки, сравнение методик и перспективы расчетов в России // Креативная экономика. 2024. Т. 18. № 8. С. 2101-2124.
  18. Алексеев Д.В., Захарова М.В., Мельникова Д.А., Гашенко Ю.В. Применение калькулятора расчета количества выбросов парниковых газов согласно методике оценки снижения углеродного следа // Ашировские чтения. 2023. Т. 1. № 1 (15). С. 384-386.
  19. Абрамов В.И., Власов А.В., Перфильев Д.О. Углеродный след: методы оценки, сравнение методик и перспективы расчетов в России // Креативная экономика. 2024. Т. 18. № 8. С. 2101-2124.
  20. Макаров И.А., Алаташ С. Выбросы парниковых газов по потреблению: от расчетов к политическим решениям // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2024. Т. 19. № 1. С. 85-105.
  21. Абдыкаримов Б.Б., Алимжанова М.Б. Оценка неопределенности при расчете выбросов парниковых газов в соответствии с требованиями стандарта ISO 14064-1:2018 // Контроль качества продукции. 2022. № 2. С. 48-53.
-

22. Умнов В.А., Коробова О.С., Скрыбина А.А. Углеродный след как индикатор воздействия экономики на климатическую систему // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2020. № 2. С. 85-93.
23. Торопов И.В. "Климатическая камера". Современная технология компостирования биоразлагаемых отходов // Твердые бытовые отходы. 2019. № 2 (152). С. 36-37.
24. Кондратьева О.Е., Локтионов О.А., Кузнецов Н.С. Обзор и сравнительный анализ цифровых инструментов оценки углеродного следа // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. Т. 7. № 4 (28). С. 305-313.
25. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 114-126.

### References

1. Deus R.M., Bezerra B.S. & Battistelle, R.A.G. Solid waste indicators and their implications for management practice. Int. J. Environ. Sci. Technol. 16, 2019, pp.1129–1144. URL: doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3.
  2. Santos Eduardo, Fonseca Fernando, Santiago Aníbal, Rodrigues Daniel. Sustainability Indicators Model Applied to Waste Management in Brazil Using the DPSIR Framework. Sustainability 2024, 16(5), 2192. URL: doi.org/10.3390/su16052192.
  3. Shilkina S.V. Otkhody i resursy. 2020. Т. 7. № 1. p. 5.
  4. Mubarakshina F.D., Guseva A.A. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2011. № 4 (18). pp. 91-99.
  5. Protopopov A.N. Stroitel'nye materialy. 2003. № 4. pp. 29-30.
  6. Alimpiev A.V., Derdirov A.M. Tverdye bytovye otkhody. 2019. № 9 (159). pp. 38-39.
  7. Fridland V.S., Livshic I.M. Teploehnergetika. 2011. № 1. pp. 72-77.
-



8. Boravskaya T.V., Plushchevskij M.B., Fayustov A.A. Tverdye bytovye otkhody. 2008. № 8 (26). pp. 50-52.
9. Vladimirov S.N. Sistemnye tekhnologii. 2016. №19. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-othodovstroitelnoyindustrii/viewer](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-othodovstroitelnoyindustrii/viewer).
10. Gridchin A.M., Zagorodnyuk L.H., Erofeev V.T., Alaskhanov A.H., Naumenko N.A., Tuckaya I.N. Naukoemkie tekhnologii i innovacii: Elektronnyj sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019. pp. 100-105.
11. Olejnik P.P. Internet-zhurnal «Othody i resursy». 2016. Т. 3, № 2. p. 2. URL: [resources.today/PDF/02RRO216.pdf](http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf).
12. Ivaev D.R. Ekonomika i socium. 2017. №1-2 (32). pp. 1399-1401. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problema-klassifikatsii-stroitelnyh-othodov](http://cyberleninka.ru/article/n/problema-klassifikatsii-stroitelnyh-othodov).
13. Ischenko A.V., Tverdohlebova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9083).
14. Shegel'man I.R., Vasil'ev A.S., Shchukin P. O., Galaktionov O. N., Suhanov YU. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479).
15. Sokolov L.I. Upravlenie tekhnosferoj: elektron. zhurnal. 2021. Т.4. Vyp. 1. URL: [technosphereing.ru](http://technosphereing.ru). pp. 39 – 49.
16. Oshkin A.V. Aktual'nye issledovaniya. 2023. № 52-1 (182). pp. 34-41.
17. Abramov V.I., Vlasov A.V., Perfil'ev D.O. Kreativnaya ehkonomika. 2024. Т. 18. № 8. pp. 2101-2124.
18. Alekseev D.V., Zakharova M.V., Mel'nikova D.A., Gashenko YU.V. Ashirovskie chteniya. 2023. Т. 1. № 1 (15). pp. 384-386.
19. Abramov V.I., Vlasov A.V., Perfil'ev D.O. Kreativnaya ehkonomika. 2024. Т. 18. № 8. pp. 2101-2124.
20. Makarov I.A., Alatah S. Vestnik mezhdunarodnykh organizacij: obrazovanie, nauka, novaya ehkonomika. 2024. Т. 19. № 1. pp. 85-105.



21. Abdykarimov B.B., Alimzhanova M.B. Kontrol' kachestva produkcii. 2022. № 2. pp. 48-53.
22. Umnov V.A., Korobova O.S., Skryabina A.A. Vestnik RGGU. Seriya: Ehkonomika. Upravlenie. Pravo. 2020. № 2. pp. 85-93.
23. Toropov I.V. Tverdye bytovye otkhody. 2019. № 2 (152). pp. 36-37.
24. Kondrat'eva O.E., Loktionov O.A., Kuznecov N.S. KHKHИ vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. T. 7. № 4 (28). pp. 305-313.
25. Skhovrebov E.H.S., Gordienko A.N. Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). pp. 114-126.

**Дата поступления: 30.11.2024**

**Дата публикации: 26.01.2025**