УДК 504.3.054

МЕТОДОЛОГИЯ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Г. И. Морзак[1], Н. В. Сидорская[2], С. С. Мартынюк[3]

[1] К. т. н., доцент кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: gmorzak@bntu.by
[2] Старший преподаватель кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: nsidorskaya@bntu.by
[3] Старший преподаватель кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: smartyniuk@bntu.by

Реферат

Одной из важнейших задач, стоящих в наши дни перед мировым международным сообществом, является борьба с глобальным изменением климата. Углеродный след рассматривается как важный инструмент для оценки воздействия промышленности на окружающую среду, а также обеспечения устойчивого развития общества. Углеродный след подразделяется на первичный и вторичный (косвенный). Первичный углеродный след формируется в результате потребления ископаемого топлива. Вторичный углеродный след определяется как выбросы парниковых газов, которые происходят в течение жизненного цикла всех используемых продуктов. Понимание углеродного следа больше не является просто экологической проблемой, в настоящее время это критическая деловая необходимость для различных производств и отраслей народного хозяйства. По мере ускорения изменения климата предприятия сталкиваются с растущим давлением в отношении сокращения выбросов парниковых газов не только для защиты окружающей среды, но и для поддержания своей репутации и прибыли. Однако многие компании испытывают трудности с точным измерением, управлением и снижением своего углеродного следа.

В статье исследованы основные этапы формирования выбросов парниковых газов в промышленном секторе, принципы количественной оценки углеродного следа продукции. Определена методология снижения углеродного следа для предприятий, которая должна базироваться на описании и учете четырех этапов оценки жизненного цикла продукции. Основными направлениями природоохранных решений по уменьшению выбросов парниковых газов являются внедрение технологий, позволяющих значительно снизить выбросы CO_2, а также решения, направленные на совершенствование используемых технологий с минимизацией входных потоков. В статье приведены примеры таких решений.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, углеродный след продукции, составляющие углеродного следа продукции, стадии жизненного цикла продукции, природоохранные решения по уменьшению выбросов CO_2.

METHODOLOGY FOR REDUCING CARBON FOOTPRINT FOR ENTERPRISES

G. I. Morzak, N. V. Sidorskaya, S. S. Martynyuk

Abstract

One of the most important challenges facing the world international community today is the fight against global climate change. Carbon footprint is an important tool for assessing the impact of industry on the environment, as well as ensuring the sustainable development of society. Carbon footprint can be divided into primary and secondary (indirect). The primary carbon footprint is formed as a result of the consumption of fossil fuels. The secondary carbon footprint is defined as greenhouse gas emissions that occur during the life cycle of all products used. Understanding the carbon footprint is no longer just an environmental issue, it is now a critical business need for various industries and sectors of the national economy. As climate change accelerates, businesses face increasing pressure to reduce greenhouse gas emissions not only to protect the environment, but also to maintain their reputation and profits. However, many companies have difficulty accurately measuring, managing and reducing their carbon footprint.

The article examines the main stages of greenhouse gas emissions in the industrial sector, principles of quantitative assessment of the carbon footprint of products. A methodology for reducing the carbon footprint for enterprises is defined, which should be based on the description and consideration of four stages of product life cycle assessment. The main areas of environmental solutions for reducing greenhouse gas emissions are the introduction of technologies that can significantly reduce CO_2 emissions, as well as solutions aimed at improving the technologies used while minimizing input flows. The article provides examples of such solutions.

Keywords: greenhouse gas emissions, carbon footprint of products, components of the carbon footprint of products, stages of the product life cycle, environmental solutions for reducing CO_2 emissions.

Введение

Производство готовой продукции нужно рассматривать как совокупность технологических процессов, направленных на превращение сырья в заданную продукцию, обладающую различными физико-механическими свойствами. Для этого используют инновационное технологическое оборудование, механизмы, приспособления. Процесс производства сопровождается значимыми воздействиями на окружающую среду, в том числе большими эмиссиями загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Углеродный след продукции (УСП) представляет собой общий объем выбросов парниковых газов (ПГ) от деятельности предприятия/организации по производству товаров и оказанию услуг, а также при реализации проектов. Он учитывает как прямые, так и косвенные выбросы ПГ на каждой стадии жизненного цикла продукции (ЖЦП), включая проектирование, эксплуатацию, обслуживание и ликвидацию/реконструкцию производства.

К существенным техногенным изменениям климата приводят выбросы определенных видов газов. Согласно МГЭИК, определяющим в этой тенденции является значимое увеличение объемов ПГ, в основном диоксида углерода (CO_2) [1, 2, 3, 4]. Основными источниками выделения CO_2 являются процессы сжигания топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве, на предприятиях или электростанциях. Такие ПГ, как метан, оксиды азота, хладагенты, выбросы специфических производств, также оказывают отрицательное влияние на процессы и химический состав атмосферы.

Подходы к количественной оценке углеродного следа продукции

На всех стадиях производственного цикла от поставки сырья, проектирования, производства, транспортирования/доставки до использования произведенной продукции и ее утилизации могут фиксироваться выбросы/поглощение ПГ. Необходимость проведения количественной оценки УСП способствует контролировать ситуацию

https://doi.org/10.36773/1818-1112-2025-136-1-159-164

и своевременно внедрять эффективные технологические решения по сокращению/поглощению выбросов ПГ на протяжении всего ЖЦП. Для минимизации воздействий ПГ на окружающую среду необходимо применять принципы количественной оценки УСП, с учетом данных обо всех выбросах/поглощении ПГ на всех стадиях ЖЦП.

К основным принципам оценки УСП относятся:

– концепция ЖЦП (учет всех этапов);

– относительный подход и функциональная (заявленная) единица (полученные результаты оценивать относительно этой единицы);

– итеративный подход (учет четырех основных этапов – цель и области исследования, инвентаризационный анализа ЖЦП, оценки воздействия ЖЦП и его интерпретация);

– научных подход (применение естественно-научных методов (физических, химических, биологических), научных методов (социальных, экономических) и международный опыт);

– актуальность;

– полнота (учет всех потоков выбросов/поглощений ПГ);

– согласованность применения методов;

– последовательность (применение методологий, стандартов для повышения эффективности результатов оценки);

– точность (обоснованная количественная оценка УСП);

– прозрачность (доступность информации);

– предотвращение повторного учета (однократное распределение выбросов/поглощений ПГ).

Для классификации выбросов ПГ и выбора инструментов их учета предприятия применяют «Протокол по парниковым газам» GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) [5]. Основные положения данного документа направлены на количественную оценку и направления обращения с выбросами ПГ. Все производственные выбросы ПГ необходимо рассматривать как прямые и косвенные и классифицировать по трем категориям – Scope 1(прямые выбросы ПГ), Scope 2 (косвенные «энергетические» выбросы) и Scope 3 (косвенные, прочие выбросы). Категория Scope 3 включает выбросы транспортных средств других предприятий на доставку сырья, материалов, продукции, от услуг логистических центров, а также от утилизации отходов продукции и др. Все объемы выбросов категории Scope 1 и Scope 2 являются обязательными при количественной оценке ПГ, выбросы категории 3 – добровольными, поскольку их трудно отследить. Совокупность всех выбросов ПГ, прямо и косвенно произведенных предприятием, составляет УСП (рисунок 1).

Рисунок 1 – Составляющие углеродного следа продукции

Оценка УСП – один из основных видов углеродной отчетности. Основные требования и подходы к процессу оценки УСП заложены в международных стандартах серии ISO 14060. Для поддержки концепции устойчивого развития с использованием принципов низкоуглеродной экономики при организации производственной деятельности необходимо соблюдать требования данных стандартов. Такой подход позволит предприятиям обеспечить последовательность и достоверность мониторинга, отчетности и верификации выбросов/поглощения ПГ и их количественной оценки.

Международный стандарт ISO 14064–2018 «Greenhouse Gases» (в трех частях) содержит основные рекомендации по процедуре мониторинга, количественной оценки выбросов ПГ и составлению документации по управлению/сокращению их выбросов. Требования и указания по количественной оценке частного УСП изложены в международном стандарте ISO 14067:2018 «Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification». Данная оценка УСП состоит из расчета потенциального вклада продукта в глобальное потепление, выражаемого в единицах $CO_{2\text{-экв.}}$, на основе количественной оценки существенных выбросов/поглощений ПГ на протяжении всего ЖЦП [6, 7].

В 2021 году Европейской комиссией был разработан проект климатического законодательства, который содержит новые предложения и поправки в существующие законы. Главным аргументом данного акта является стремление к достижению цели по сокращению выбросов ПГ на 55 % к 2030 году и достижению их нулевого уровня к 2050 году. Для достижения поставленной цели предложено внедрение механизма трансграничного углеродного регулирования (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM). Реализация этого механизма базируется на продаже сертификатов для ввоза в Европейский союз товаров углеродоемкого производства по установленному перечню [8].

В Республике Беларусь разрабатывается «Стратегия долгосрочного развития Республики Беларусь с низким уровнем выбросов парниковых газов на период до 2050 года». Главным направлением Стратегии является внедрение на предприятиях технологий, позволяющих перейти на устойчивое низкоуглеродное развитие. Выполнение задачи позволит снизить нагрузку на окружающую среду и не приведет к значимым климатическим изменениям [9, 10].

Основные задачи Стратегии представлены на рисунке 2. Стратегия базируется на анализе данных прогнозов, замечаниях и предложениях по их возможной корректировке, с учетом международного опыта подготовки сценарных прогнозов и ключевой цели Парижского соглашения – достижения нуля нетто-выбросов парниковых газов во второй половине XXI века (к 2050 году, для недопущения роста температуры >1,5–2 °C).

https://doi.org/10.36773/1818-1112-2025-136-1-159-164

Рисунок 2 – Задачи «Стратегия долгосрочного развития Республики Беларусь с низким уровнем выбросов парниковых газов на период до 2050 года»

Наиболее значимым по объему выбросов ПГ в Республике Беларусь является диоксид углерода (CO_2), доля диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закиси азота (N_2O) и гексафторида серы (SF_6) в выбросах ПГ от предприятий республики представлена на рисунке 3.

Динамика выделения ПГ в экономическом секторе Республики Беларусь за 2015–2022 гг. представлена на рисунке 4 (по данным [11, 12, 13]). Значительный вклад в общий объем ПГ вносят выбросы предприятий энергетики (от любого сжигания топлива) и сельского хозяйства.

При прогнозировании выбросов ПГ предусмотрены три сценария – сценарий «Без мер» (после 2015 г. все планируемые меры по транспорту реализовываться не будут), сценарий «С мерами» (меры реализуются в соответствии с программами развития различных отраслей экономики), сценарий «С дополнительными мерами» (меры могут быть реализованы при наличии соответствующего финансирования).

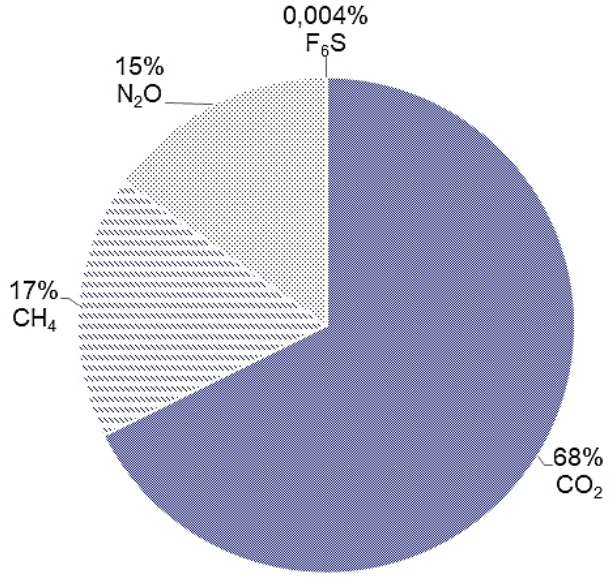

Рисунок 3 – Доля основных компонентов ПГ (без нетто-стоков CO_2 сектора землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства)

Отдельные процессы технологической системы должны группироваться по этапам ЖЦП. Выбросы/поглощения ПГ в ЖЦП должны учитываться только на этапах их образования. Предприятие может разрабатывать собственный системный подход к оценке УСП [14, 15, 16].

Граница технологической системы охватывает все единичные процессы, ЖЦП. Выбор границы системы определяется целью исследования. Граница системы ограничивается стадией «cradle-to-gate». Методология «cradle-to-gate» была стандартизирована на международном уровне посредством стандартов ISO 14040 и ISO 14044, согласно которым проводится оценка жизненного цикла [17, 18].

ЖЦП включает этапы добычи сырья, его подготовки, все стадии производства, использования, переработки по истечению срока службы и транспортировку [19].

Для экологической оценки продукции важно рассмотреть весь жизненный цикл продукта и учесть все экологические нагрузки на этих этапах ЖЦП. Для этого необходимо разработать и внедрить обоснованную методологию, методы анализа, компьютерное моделирование и методы расчетов. Оценка ЖЦП является наиболее эффективным методом для контроля воздействий на окружающую среду в течение всего ЖЦП. Основными экологическими показателями при проведении оценки являются качественные и количественные характеристики выбросов загрязняющих веществ и объемы потребление энергии. Конечная стадия определяется образованием отходов или утилизацией конечных остатков, включая любую упаковку, не покидающую территорию предприятия вместе с продукцией.

Таким образом, граница системы включает в себя те процессы, которые обеспечивают поступление материалов и энергии в систему и последующие процессы производства и транспортировки до границы предприятия, а также обращение с любыми отходами, возникающими в результате этих процессов. Экологическая оценка продукционной системы, с учетом стадий жизненного цикла, основана на перечислении и количественной оценке всех входящих и выходящих потоков исследуемой системы.

Инвентаризационный анализ жизненного цикла учитывает все входные и выходные потоки, необходимые для создания конкретной функциональной единицы в соответствии с определенными целями. Результаты инвентаризационного анализа технологии и данных являются необходимыми:

- для подробного описания единичного процесса с учетом показателей входных и выходных потоков;
- составления реестра потоков и данных о рабочих режимах стадий технологического процесса;
- выбора единиц измерения;
- разработки методов сбора и обработки данных.

https://doi.org/10.36773/1818-1112-2025-136-1-159-164

Рисунок 4 – Выбросы ПГ по секторам экономики без учета землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (млн тонн CO2-эквивалента в год)

Для контроля выбросов в атмосферу, потребления энергии и определения источников или параметров, оказывающих влияние на экологические показатели, необходимо использовать метод анализа, такой как методология анализ жизненного цикла. С помощью методов компьютерного моделирования и расчетов определяются единичные входные и выходные потоки для каждого единичного процесса, которые в свою очередь формировались в процесс производства. На основании актов инвентаризации выбросов в атмосферный воздух каждому входному и выходному параметру присваиваются количественные значения в пересчете на функциональную единицу.

Современные природоохранные решения по уменьшению выбросов углекислого газа (CO_2) подразделяются на два типа: первичные решения направлены на снижения выбросы CO_2 максимально на 15–20 % при умеренных расходах, вторичные – внедрение технологий, позволяющих значительно снизить выбросы CO_2 (более чем на 50 %). Пример таких решений представлен на рисунке 5.

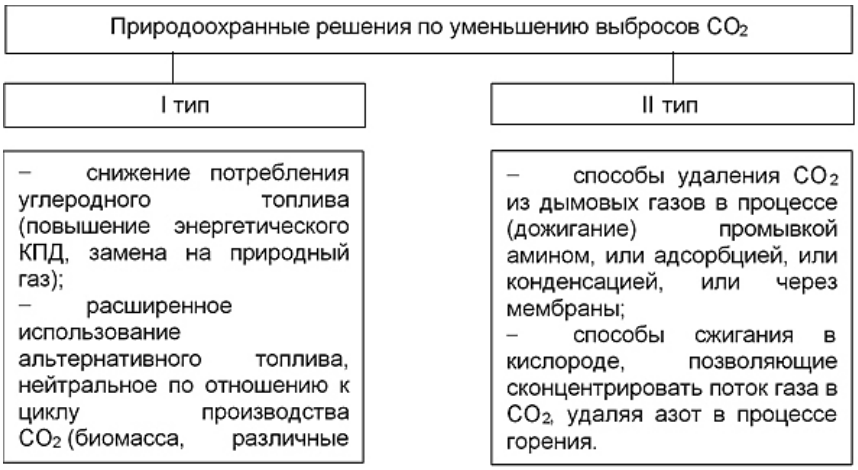

Рисунок 5 – Пример природоохранные решения по уменьшению выбросов CO_2

Совершенствование технологии декарбонизации, которая включает стадии улавливания, использования и хранения углерода (Carbon capture, use and storage – CCU), может позволить снизить объемы промышленных выбросов CO_2 с дальнейшей его транспортировкой или хранением. Дополнительно CCUS может обеспечить низкоуглеродные способы производства электроэнергии. Кроме того, два приложения CCUS – биоэнергетика с улавливанием и хранением углерода (bioenergy with carbon capture and storage – BECCS) и прямое улавливание и хранение углерода в воздухе (direct air carbon capture and storage – DACCS) – могут удалять существующий CO_2 из атмосферы. BECCS и DACCS входят в более широкий набор методов, которые совместно называются методами удаления диоксида углерода (carbon dioxide removal – CDR) или отрицательными методами выбросов (negative emissions techniques – NETs), которые предназначены для противодействия последствиям изменения климата путем снижения концентрации CO_2 в атмосфере [20]. Декарбонизация промышленных выбросов базируется на комплексе правовых, технических и организационных мероприятий. Эти процессы должны быть инновационными, отвечать экономической целесообразности и иметь государственную поддержку [21, 22].

На основании анализа используемых технологий, природоохранной деятельности предприятий разрабатываются направления и мероприятия по снижению содержания CO_2 в производственных отходящих газах [23]. Для этого может быть предложено внедрение системы очистки отходящих газов методом промывки амином. Основным технологическим оборудованием такой системы промывки амином является установка УОГ-20/100/200. После очистки отходящие газы могут использоваться повторно в технологическом процессе, например для подогрева сырьевой смеси. Очистка газа проводится при температуре +10…+50 °С, не требует дополнительного нагрева и повышения давления для его транспортировки. Конструктивно установка УОГ-20/100/200 – это совокупность простых технологических решений, поэтому для нее не характерны высокие эксплуатационные затраты и дополнительные штатные единицы на обслуживание. Экологический эффект от внедрения системы очистки отходящих газов методом промывки амином заключается в поглощении CO_2 и снижении валовых выбросов загрязняющих веществ.

https://doi.org/10.36773/1818-1112-2025-136-1-159-164

Заключение

Для сокращения влияние парниковых газов на окружающую среду необходимо использовать методы количественного анализа углеродного следа, при этом учитывать данные о всех выбросах и поглощениях ПГ на каждом этапе жизненного цикла продукта.

Анализ УСП является одним из ключевых методов учета углерода. Основополагающие критерии и методики процесса анализа УСП закреплены в глобальных нормах серии ISO 14060. Для обеспечения концепции долговременного развития путем применения принципов экономики с минимальными выбросами углерода в процессе организации производственных операций требуется выполнение требований указанных норм.

Таким образом, подход уменьшения углеродного следа для организаций должен опираться на четыре стадии анализа жизненного цикла продукции: определение рамок изучаемого технического комплекса, инвентаризационный анализ жизненного цикла продукта, оценка последствий жизненного цикла продукта, разъяснение жизненного цикла продукта.

Современные стратегии снижения выбросов углекислого газа можно разделить на две категории: первичные и вторичные меры. Первичные меры, относительно недорогие и легко реализуемые, направлены на сокращение выбросов углекислого газа на 15–20 %. Эффективность первичных мер зависит от многих факторов, включая специфику отрасли, географическое положение и доступность технологий. Вторичные меры, напротив, требуют значительных капиталовложений и технологических инноваций, но позволяют достичь значительно более существенного сокращения выбросов углекислого газа – более чем на 50 %. Сюда входят технологии улавливания, использования и хранения углерода (CCUS – Carbon Capture, Utilization and Storage), являющиеся ключевыми в борьбе с изменением климата. Технологии улавливания углекислого газа разнообразны и включают в себя абсорбцию (например, с использованием аминов), адсорбцию (использование пористых материалов) и мембранные методы. Выбор конкретной технологии зависит от типа источника выбросов и экономических факторов. Промывка отходящих газов аминами является одним из методов очистки, эффективным для удаления углекислого газа из газовых потоков. Однако, этот метод требует дальнейшей оптимизации, включая поиск более эффективных и менее энергоемких аминов, а также разработку эффективных способов регенерации аминового раствора. Важно отметить, что эффективность любого метода снижения выбросов углекислого газа зависит от правильного проектирования, реализации и последующего мониторинга. Системный подход, объединяющий первичные и вторичные меры, является ключевым для достижения значительного сокращения выбросов углекислого газа и смягчения последствий изменения климата.

Список цитированных источников

1. Изменение климата. Комплект информационных карточек по изменению климата: материалы доклада МГЭИК об оценке «Изменение климата, 2021 г.» и текущей деятельности по Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Женева, 9 августа 2021 г. / МГЭИК. – Женева, 2021. – 64 с.
2. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by Core Writing Team, H. Lee, J. Romero. – IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. – 184 p. – DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
3. GHG Emissions of All World Countries. Luxembourg: Publications Office of the European Union / M. Crippa, D. Guizzardi, F. Pagani [et al.]. – 2024. – URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG_emissions_of_all_world_countries_booklet_2023report.pdf (дата обращения: 30.09.2024).
4. Global carbon budget 2023. Earth System Science Data 15(12), 5301–5369 / P. Friedlingstein, M. O'Sullivan, M. W. Jones [et al.]. – 2023. – DOI: 10.5194/essd-15-5301-2023.
5. Стандарты и руководства. Инструменты и рекомендации по расчетам. – URL: https://ghgprotocol.org/calculation-tools-andguidance?ap3c=IGXmCH6WDeDPomoEAGXmCH6mIt-Db9NCNH00dmje0Zqeb CmgPw (дата обращения: 30.09.2024).
6. Газы парниковые. Часть 1. Требования и руководство по количественному определению и отчетности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации: ГОСТ Р 14064-1-2021. – Введ. 30.09.2021. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 53 с.
7. Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению: ГОСТ Р 14067–2021. – Введ. 30.09.2021. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 50 с.
8. Европейский механизм пограничной углеродной корректировки – ключевые вопросы и влияние (август 2021) / Московской школы управления СКОЛКОВО ; сост.: И. А. Гайда, Н. И. Доброславский. – М., 2021. – 50 с.
9. Седьмое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по рамочной конвенции ООН об изменении климата. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/92104765Belarus-NC7-1-AIBLRNC7.Pdf (дата обращения: 29.09.2024).
10. Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 29 сентября 2021 г. № 553. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 01.10.2021, 5/49478 (дата обращения: 29.09.2024).
11. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyh-gazov/?ysclid=m2rlxdrze105233649 (дата обращения: 25.10.2024).
12. Республика Беларусь: Статистический ежегодник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь: И. В. Медведева (отв. ред.). – Минск, 2024. – 317 с.
13. Охрана окружающей среды: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь: И. В. Медведева (отв. ред.). – Минск, 2024. – 35 с.
14. Что мы знаем об LCA, или оценке жизненного цикла продукта. – URL: https://theoryandpractice.ru/posts/18128-chto-my-znaem-ob-lca-ili-otsenke-zhiznennogo-tsikla-produkta (дата обращения: 30.09.2024).
15. Омельченко, И. Н. Современные подходы к оценке жизненного цикла продукции / И. Н. Омельченко, А. Е. Бром // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. – 2013. – № 2. – С. 29–34.
16. Бром, А. Е. Современные технологии организации и управления жизненным циклом наукоемкой продукции / А. Е. Бром // Вестник МГОУ. Экономика. – 2015. – № 2. – С. 41–46.
17. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура: ГОСТ Р 14040-2022. – Введ. 12.12.2022. – М. : Технический комитет по стандартизации ТК 020 «Экологический менеджмент и экономика», 2022. – 24 с.
18. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации: ГОСТ Р 14044-2019. – Введ. 19.09.2019. – М. : Технический комитет по стандартизации ТК 020 «Экологический менеджмент и экономика», 2019. – 48 с.
19. Сравнение углеродного следа и анализа жизненного цикла – ресурсы. – URL: https://ru.vayongroup.com/4840-comparing-carbon-footprint-and-life-cycle-analyses.html (дата обращения: 20.09.2024).
20. Carbon capture utilization and storage in review: Sociotechnical implications for a carbon reliant world / Hope McLaughlin, Anna A. Littlefield, Maia Menefee [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 177. – 2023.
21. Rattle, I. Decarbonisation strategies in industry: Going beyond clusters / I. Rattle, A. Gailani, P. G. Taylor // Sustainability Science. – 2024. – Т. 19. – № 1. – С. 105–123.

22. Sovacool, B. K. Industrial clusters for deep decarbonization / B. K. Sovacool, F. W. Geels, M. Iskandarova // Science. – 2022. – T. 378. – № 6620. – C. 601–604.
23. Аминовая очистка. – URL: https://gazsurf.com/ru/gazopererabotka/oborudovanie/modelnyj-ryad/item/aminovaya-ochistka (дата обращения: 20.09.2024).

References

1. Izmenenie klimata. Komplekt informacionnyh kartochek po izmeneniyu klimata: materialy doklada MGEIK ob ocenke «Izmenenie klimata, 2021 g.» i tekushchej deyatel'nosti po Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata, ZHeneva, 9 avgusta 2021 g. / MGEIK. – ZHeneva, 2021. – 64 s.
2. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by Core Writing Team, H. Lee, J. Romero. – IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. – 184 p. – DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
3. GHG Emissions of All World Countries. Luxembourg: Publications Office of the European Union / M. Crippa, D. Guizzardi, F. Pagani [et al.]. – 2024. – URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG_emissions_of_all_world_countries_booklet_2023report.pdf (data obrashcheniya: 30.09.2024).
4. Global carbon budget 2023. Earth System Science Data 15(12), 5301–5369 / P. Friedlingstein, M. O'Sullivan, M. W. Jones [et al.]. – 2023. – DOI: 10.5194/essd-15-5301-2023.
5. Standarty i rukovodstva. Instrumenty i rekomendacii po raschetam. – URL: https://ghgprotocol.org/calculation-tools-andguidance?ap3c=IGXmCH6WDeDPomoEAGXmCH6mIt-Db9NCNH00dmje0Zqeb CmgPw (data obrashcheniya: 30.09.2024).
6. Gazy parnikovye. CHast' 1. Trebovaniya i rukovodstvo po kolichestvennomu opredeleniyu i otchetnosti o vybrosah i pogloshchenii parnikovyh gazov na urovne organizacii: GOST R 14064-1-2021. – Vved. 30.09.2021. – M. : Rossijskij institut standartizacii, 2021. – 53 s.
7. Gazy parnikovye. Uglerodnyj sled produkcii. Trebovaniya i rukovodyashchie ukazaniya po kolichestvennomu opredeleniyu: GOST R 14067–2021. – Vved. 30.09.2021. – M. : Rossijskij institut standartizacii, 2021. – 50 s.
8. Evropejskij mekhanizm pogranichnoj uglerodnoj korrektirovki – klyuchevye voprosy i vliyanie (avgust 2021) / Moskovskoj shkoly upravleniya SKOLKOVO ; sost.: I. A. Gajda, N. I. Dobroslavskij. – M., 2021. – 50 s.
9. Sed'moe nacional'noe soobshchenie Respubliki Belarus' v sootvetstvii s obyazatel'stvami po ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/92104765Belarus-NC7-1-AIBLRNC7.Pdf (data obrashcheniya: 29.09.2024).
10. Ob ustanovlenii opredelyaemogo na nacional'nom urovne vklada Respubliki Belarus' v sokrashchenie vybrosov parnikovyh gazov do 2030 goda : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 29 sentyabrya 2021 g. № 553. // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus', 01.10.2021, 5/49478 (data obrashcheniya: 29.09.2024).
11. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyh-gazov/?ysclid=m2rlxdrze105233649 (data obrashcheniya: 25.10.2024).
12. Respublika Belarus': Statisticheskij ezhegodnik / Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus': I. V. Medvedeva (otv. red.). – Minsk, 2024. – 317 s.
13. Ohrana okruzhayushchej sredy: statisticheskij sbornik / Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus': I. V. Medvedeva (otv. red.). – Minsk, 2024. – 35 s.
14. CHto my znaem ob LCA, ili ocenke zhiznennogo cikla produkta. – URL: https://theoryandpractice.ru/posts/18128-chto-my-znaem-ob-lca-ili-otsenke-zhiznennogo-tsikla-produkta (data obrashcheniya: 30.09.2024).
15. Omel'chenko, I. N. Sovremennye podhody k ocenke zhiznennogo cikla produkcii / I. N. Omel'chenko, A. E. Brom // Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva. – 2013. – № 2. – S. 29–34.
16. Brom, A. E. Sovremennye tekhnologii organizacii i upravleniya zhiznennym ciklom naukoemkoj produkcii / A. E. Brom // Vestnik MGOU. Ekonomika. – 2015. – № 2. – S. 41–46.
17. Ekologicheskij menedzhment. Ocenka zhiznennogo cikla. Principy i struktura: GOST R 14040-2022. – Vved. 12.12.2022. – M. : Tekhnicheskij komitet po standartizacii TK 020 «Ekologicheskij menedzhment i ekonomika», 2022. – 24 s.
18. Ekologicheskij menedzhment. Ocenka zhiznennogo cikla. Trebovaniya i rekomendacii: GOST R 14044-2019. – Vved. 19.09.2019. – M. : Tekhnicheskij komitet po standartizacii TK 020 «Ekologicheskij menedzhment i ekonomika», 2019. – 48 s.
19. Sravnenie uglerodnogo sleda i analiza zhiznennogo cikla – resursy. – URL: https://ru.vayongroup.com/4840-comparing-carbon-footprint-and-life-cycle-analyses.html (data obrashcheniya: 20.09.2024).
20. Carbon capture utilization and storage in review: Sociotechnical implications for a carbon reliant world / Hope McLaughlin, Anna A. Littlefield, Maia Menefee [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 177. – 2023.
21. Rattle, I. Decarbonisation strategies in industry: Going beyond clusters / I. Rattle, A. Gailani, P. G. Taylor // Sustainability Science. – 2024. – T. 19. – № 1. – S. 105–123.
22. Sovacool, B. K. Industrial clusters for deep decarbonization / B. K. Sovacool, F. W. Geels, M. Iskandarova // Science. – 2022. – T. 378. – № 6620. – S. 601–604.
23. Aminovaya ochistka. – URL: https://gazsurf.com/ru/gazopererabotka/oborudovanie/modelnyj-ryad/item/aminovaya-ochistka (data obrashcheniya: 20.09.2024).

Материал поступил 22.11.2024, одобрен 09.12.2024, принят к публикации 09.12.2024