

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
экономический университет»

На правах рукописи

ПЛЕШАКОВ СТАНИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ
РАЗВИТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика
(Экономика природопользования и землеустройства)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
д.э.н., профессор Айрапетова А.Г.

Санкт-Петербург

2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ЧАСТИ ОЦЕНКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ	10
1.1. Характеристика выбросов от железнодорожного транспорта и других транспортных систем	10
1.2. Исследование особенностей использования альтернативного топлива как способ снижения выбросов при транспортировке.....	27
1.3. Изучение проблем в сфере управления выбросами в атмосферу на железнодорожном транспорте.....	38
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	48
2.1. Особенности нормативно-правового законодательства в области расчета углеродного следа.....	48
2.2. Формирование методики расчета выбросов парниковых газов при осуществлении железнодорожных перевозок.....	63
2.3. Подходы к оценке углеродного следа на железнодорожном транспорте.....	82
ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	96
3.1. Методические аспекты интеграции управления выбросами парниковых газов в систему экологического менеджмента железнодорожного предприятия.....	96
3.2. Система ключевых показателей оценки деятельности управления выбросами парниковых газов.....	111
3.3. Особенности реализации климатических проектов железнодорожной отрасли.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	140
ПРИЛОЖЕНИЕ № 1	156

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертационного исследования.

В настоящее время в российской экономике наблюдаются тенденции к формированию жесткого экологического регулирования в области управления выбросами парниковых газов. В развитых зарубежных странах приоритетным становится экономическое развитие с учетом влияния промышленного сектора на климатические изменения, что требует разработки механизмов и инструментов, направленных на стимулирование предприятий к декарбонизации производственных процессов. Более 110 стран заявили о намерении достичь углеродной нейтральности, что формирует запрос на изменение экономических принципов и рассмотрение низкого углеродного следа как одного из направлений экологизации деятельности различных систем.

В Российской Федерации нормативно-правовое регулирование выбросов парниковых газов находится в начальной стадии реализации, но можно отметить тенденции к его постепенному ужесточению, в частности в связи с принятием стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития. В связи с этим, возникает необходимость в разработке и совершенствовании инструментов и методов управления выбросами парниковых газов во всех отраслях экономики, которые являются ключевыми эмитентами для оценки влияния негативных выбросов, к которым в свою очередь можно отнести и транспортный сектор. Одной из важных задач является развитие механизмов учета и оценки углеродного следа от транспортных процессов, а также внедрение подходов управления выбросами углекислого газа в систему экологического менеджмента предприятий транспортной отрасли для формирования единой, целостной системы природоохранной деятельности.

В настоящий момент крупные промышленные предприятия реализуют мероприятия, направленные на повышение энергосбережения и снижение энергоемкости производственных процессов, что позволяет снизить климатическую нагрузку. Однако, эти инициативы зачастую носят точечный и разрозненный характер, реализуясь как отдельные проекты, а не как части единой

комплексной стратегии. Исследование направлено на разработку метрик и методик для эффективного управления выбросами парниковых газов на транспортно-логистических предприятиях, осуществляющих железнодорожные грузовые и пассажирские перевозки. Полученные результаты позволят предприятиям откорректировать долгосрочные стратегии устойчивого развития с учетом минимизации воздействия транспортных процессов на климатические изменения и повысить эффективность управления климатическими рисками на основе улучшенной методики оценки углеродного следа и включения методических аспектов управления выбросов парниковых газов в систему экологического менеджмента.

Степень разработанности научной проблемы. Проблемы управления выбросами парниковых газов на промышленных предприятиях и в транспортном секторе занимают отечественные и зарубежные ученые. В частности, можно выделить следующие направления исследований:

- оценка потенциала возобновляемой энергетики и подходов устойчивого развития – авторы А.Г. Айрапетова, А.Г. Бездудная, В.М. Грега, Г.А. Ефимова, И.В. Ластовка, В.М. Разумовский, Р.В. Смирнов, М.Г. Трейман, А.Е. Череповицын и др.

- внедрение «зеленых» технологий, направленных на снижение выбросов парниковых газов в транспортных процессах – авторы Р.Г. Ахтямов, А.А. Гаврилова, Д.В. Василенко, А.Ф. Зайнутдинова, В.Л. Зинин, Л.Ф. Ильгамова, Е.И. Макарова И.В. Мухаметова, Н.С. Сараханова, А.Р. Садыкова, О.А. Юсупова, А.А. Явися и др.

- разработка методов и инструментов в части совершенствования стратегии управления углеродными рисками на железнодорожном транспорте – авторы А.В. Григорьева, О.Е. Кондратьева, М.Е. Косов, Н.С. Кузнецов, О.А. Локтионов, Р.И. Мамедгулиев, А.Ю. Скороход, Д.В. Щербакова, Лонг Чен, Мэн Цао, Сяоцзин Юань и др.

Однако следует отметить, что в настоящий момент недостаточно изучены подходы в области разработки интегрированных систем менеджмента, которые в

реальном времени увязывали бы производственные, логистические, энергетические решения с углеродным следом и стоимостными показателями.

Целью диссертационного исследования является формирование эколого-экономических аспектов управления развитием железнодорожного транспорта в условиях необходимости решения проблемы снижения углеродного следа.

Реализация поставленной цели требует выполнения следующих задач:

- изучить особенности процессов железнодорожного предприятия и разработать методику по оценке выбросов парниковых газов с учетом специфики отрасли и возможности использования локомотивов с различными типами энергетической тяги;

- рассмотреть методические аспекты управления выбросами парниковых газов и предложить модель по их внедрению в систему экологического менеджмента для железнодорожного транспорта;

- выявить особенности оценки эффективности управления выбросами парниковых газов в транспортной отрасли с учетом современных тенденций оценки климатических рисков и предложить сбалансированную систему показателей, позволяющую проводить анализ эффективности проводимой климатической стратегии на железнодорожном транспорте;

- рассмотреть требования российского законодательства в области реализации климатических проектов и разработать механизм выбора наиболее эффективных решений с учетом минимизации финансовых и климатических рисков.

Объект исследования: железнодорожный транспорт.

Предмет исследования: инструменты управления выбросами вредных газов, образующимся от деятельности железнодорожного транспорта.

Научная гипотеза исследования сформулирована автором, исходя из предположения, что в российской экономике будут усиливаться тенденции по необходимости регулирования объемов газовых выбросов, что требует формирования подходов к совершенствованию системы управления выбросами загрязняющих веществ от деятельности железнодорожного транспорта, а также

разработке инструментов по оценке углеродного следа с учетом специфики транспортной отрасли.

Теоретической основой исследования являются концепции и методические подходы таких областей научного знания как: управление эколого-экономической деятельностью промышленных предприятий, декарбонизация транспортных процессов, управление климатическими рисками, регулирование выбросами парниковых газов, принципы устойчивого и низкоуглеродного развития, экономические механизмы управления углеродным следом на различных уровнях управления.

Методологическую основу исследования составляет комплекс взаимосвязанных общенаучных и специальных методов, направленных на решение поставленных целей. В исследовании использованы следующие методы: анализа и синтеза, индукции и дедукции, системный и процессные подходы, методы моделирования и оптимизации, экономико-математические методы и др.

Информационной базой исследования послужили нормативно-правовые и стратегические документы, в том числе международные, национальные и корпоративные стандарты и соглашения; аналитические отчеты и обзоры международных и российских организаций в области оценки углеродного следа; корпоративные стратегии устойчивого развития железнодорожных компаний; научно - аналитическая литература по проблематике углеродного регулирования и управления климатическими рисками; материалы, опубликованные в периодической печати.

Обоснованность результатов диссертационного исследования обеспечена использованием фундаментальных теоретических положений в области экологического менеджмента, экономики природопользования, организации эколого-экономической деятельности предприятия, а также применением международных и национальных стандартов в области управления парниковыми газами и соответствие требованиям действующего нормативно-правового климатического регулирования Российской Федерации.

Достоверность результатов диссертационного исследования обусловлена использованием официальных и верифицированных источников информации, а также применением основных методов, используемых в исследовании: системного и комплексного анализа, аналитическое исследование с последующей апробацией результатов.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Направление научного исследования, представленного в диссертации, соответствует Паспорту научной специальности ВАК РФ 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика (экономика природопользования и землеустройства): п. 9.10. «Стратегии повышения эффективности использования природных ресурсов в народном хозяйстве. Ресурсо- и энергосбережение», п. 9.19. «Проблема борьбы с климатическими изменениями. Вопросы развития «зеленой» и низкоуглеродной экономики».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в совершенствовании инструментов управления эколого-экономической деятельностью железнодорожного транспорта и разработке подходов к оценке выбросов парниковых газов с учетом специфики транспортной отрасли.

К числу наиболее значимых и обладающих новизной научных результатов, полученных лично соискателем, относятся следующие:

1. Разработана методика влияния выбросов парниковых газов, поступающих в атмосферу от локомотивов разных типов, в том числе работающих на альтернативных источниках энергии, позволяющая проводить оценку углеродного следа при предоставлении услуг по грузовым и пассажирским перевозкам.

2. Разработана комплексная система показателей оценки эффективности управления выбросами парниковых газов на железнодорожном транспорте, позволяющая проводить анализ эффективности внедрения экологизированных технологий и «зеленых» технологий, направленных на снижение выбросов парниковых газов.

3. Предложена модель интеграции инструментов управления выбросами парниковых газов в систему экологического менеджмента железнодорожного предприятия на основе цикла PDCA, позволяющая управлять углеродным следом в рамках непрерывного, сбалансированного и прогнозируемого процесса с учетом специфики железнодорожной отрасли в рамках природоохранной деятельности компании.

4. Предложена методика выбора климатических проектов, включающая в себя этапы: оценка соответствия принципу дополнительности и определение приоритета реализации климатических проектов на основании балльной системы отбора.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в том, что полученные научно-методические положения позволяют углубить теоретические основы экологизации предприятий транспортной отрасли, расширить инструменты оценки углеродного следа с учетом специфики грузовых и пассажирских перевозок, совершенствовать механизмы экологического менеджмента.

Практическая значимость результатов исследования определяется возможностью применения разработанных результатов исследования для совершенствования природоохранной деятельности железнодорожных предприятий и компаний транспортно-логистического сектора, осуществляющих железнодорожные перевозки. Предложенные инструменты позволят повысить эффективность управления выбросами парниковых газов с учетом требований нормативно-правового законодательства.

Кроме этого, результаты исследования могут быть также использованы в высших учебных заведениях при подготовке специалистов, получающих образование по специальностям: «Экологический менеджмент», «Экономика природопользования».

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были представлены и получили одобрение на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Разработанные методы и инструменты внедрены в деятельность в учебный процесс ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», в деятельность Русский регистр - ассоциация по сертификации, ООО «Лаборатория», АО «РЖД» (Октябрьская дирекция тяги), что подтверждено актами о внедрении.

Публикации результатов исследования. Основные результаты и положения исследования отражены в 11 научных статьях, в том числе в 7 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, включенных в рекомендованный список ВАК Российской Федерации (в том числе авторским – 3,6 п.л.).

Структура диссертации. Цели и задачи диссертационного исследования определили его структуру. Структура диссертационного исследования раскрывается во введении, трех главах, заключении. Диссертационная работа содержит 161 страницы основного текста, включает список использованной литературы из 128 наименований, 24 таблиц, 17 рисунков, 1 приложение.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ЧАСТИ ОЦЕНКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

1.1. Характеристика выбросов от железнодорожного транспорта и других транспортных систем

Важное значение в социально-экономическом развитии играют транспортные системы, которые позволяют осуществлять перемещение грузов и физических лиц, обеспечивают связь между городами и регионами, формируют цепочки поставок. Обеспеченность территории транспортной инфраструктурой создает импульс для развития промышленности и социально-экономического роста. Однако следует учитывать, что транспортные системы оказывают существенное экологическое воздействие, в том числе на климатическую устойчивость. При этом разные виды транспорта обладают различной степенью негативного воздействия в пересчете на единицу перевезенного груза или пассажира.

В последние десятилетия в Российской Федерации формируется климатическое регулирование, направленное на низкоуглеродное социально-экономическое развитие. Так в 2023 году был актуализирован один из основных национальных нормативно-правовых документов - Указ Президента РФ от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации». Данный документ формирует долгосрочную стратегическую цель развития экономики России с учетом глобальных интересов страны, всестороннего учета возможных экологических, экономических, социальных и других рисков, связанных с изменением климата. В п. 7 отмечается, что «изменение климата является одним из наиболее серьезных вызовов XXI века, который выходит за рамки научных дискуссий и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему» [3]. Негативные последствия изменения климата

могут вызвать серьезную угрозу устойчивому развитию общества, а также негативно влиять на биологические процессы в окружающей среде.

В августе 2025 года был принят Указ Президента РФ №547 «О сокращении выбросов парниковых газов», обеспечивающий практическую реализацию основных положений Климатической доктрины. Была утверждена новая цель сокращения к 2035 году выбросов парниковых газов до 65–67% по сравнению с уровнем 1990 года, а также отмечена необходимость достижения углеродной нейтральности к 2060 году за счет сбалансированного социально-экономического развития [4]. Следует отметить, что еще в 2013 году были даны поручения были даны поручения Правительству РФ до 2020 г. полностью сформировать нормативно-правовую, методическую и институциональную базу для внедрения и функционирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов ПГ в РФ [9]. В связи с этим был выпущен ряд ключевых нормативно-правовых актов, направленных на климатическое регулирование:

- в 2015 году была выпущена и в 2018 актуализирована «Концепция формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов ПГ в Российской Федерации», направленная на разработку и реализацию системы учета и оценки выбросов парниковых газов в соответствии с требованиями Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотского протокола к Рамочной конвенции;

- 29 октября 2021 года утверждена «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», описывающая тенденции климатического регулирования и технологического развития, на основе которых были сформированы два сценария развития экономики России: инерционный и целевой. На основании данных сценариев выделены меры по декарбонизации экономики;

- также в октябре 2021 года был утвержден перечень парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет и ведение кадастра ПГ. К данным негативным выбросам отнесены 7 веществ, для которых определены коэффициенты пересчета величин в эквивалент диоксида углерода;

- в 2022 году были скорректированы методики, по количественной оценке, выбросов и поглощений парниковых газов, где выделены основные категории источников, в том числе и транспорт;

- был утвержден также ряд Постановлений Правительства, формирующие правила представления отчетности о выбросах парниковых газов, правила создания и ведения реестра углеродных единиц, требования к реализации климатических проектов и правила валидации / верификации, правила представления организациями декларации о воздействии на окружающую среду, куда включены и выбросы парниковых газов [33,45].

Следует отметить, что реализация климатического регулирования и последующая трансформация экономики представляет собой сложный и многогранный процесс. В принятых стратегиях и нормативных документах отмечалась необходимость вовлечь крупнейшие организации из ключевых секторов экономики, а также разработанные методические рекомендации по инвентаризации антропогенных выбросов из источников парниковых газов в субъектах Российской Федерации апробировать в пилотных регионах.

Параллельно научным сообществом также осуществлялись различного вида исследования в сфере устойчивого развития, охраны окружающей среды и защиты атмосферного воздуха, снижения выбросов парниковых газов из различных источников.

Таким образом, с 1 января 2023 года была введена обязательная углеродная отчетность перед контролирующими органами для ряда регулируемых организаций с выбросами от 150 и более тыс. тонн эквивалента углекислого газа в год. С 1 января 2025 года список юридических лиц и индивидуальных предпринимателей был расширен и к регулируемым организациям стали относиться производственные объекты с массой выбросов свыше 50 тысячам тонн эквивалента углекислого газа в год и более. Такие отчеты должны будут предоставляться до 1 июля года, следующего за отчетным, в уполномоченный федеральный орган исполнительной власти. Порядок и форму отчета будет устанавливать Правительство РФ [8, 11].

В целом основными методами государственного регулирования выбросов парниковых газов, в том числе в транспортном комплексе, выступают:

- установление целевых показателей по выбросам парниковых газов для России и для отдельных отраслей экономики, включая транспорт (относится к полномочиям Правительства РФ);
- установление общих требований к хозяйственной деятельности для сокращения выбросов парниковым газам, применимых, в том числе, к транспортным компаниям, операторам и производителям техники (полномочия федеральных органов исполнительной власти в области государственного регулирования выбросов);
- выдача разрешений на прямые выбросы парниковые газы для крупных регулируемых организаций, к которым могут относиться отдельные предприятия транспортной инфраструктуры (полномочия федеральных органов исполнительной власти);
- установление экономических механизмов регулирования, таких как торговля квотами или углеродный сбор, что напрямую затрагивает транспортные компании с высоким уровнем эмиссии (полномочия Правительства РФ) [10,13,45].

В зарубежных странах основным экономическим инструментом стимулирования сокращения выбросов признаётся плата за осуществление выбросов парниковых газов сверх установленных разрешениями объёмов. В Российской Федерации данный механизм реализуется только в пилотных экспериментальных регионах. Однако, следует отметить формирование подходов реализации добровольного углеродного рынка, а именно развитие нормативно-правовой базы и углеродной инфраструктуры.

Важнейшим стратегическим документом является «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Целевой (интенсивный) сценарий направлен на достижение углеродной нейтральности к 2060 году и обеспечение конкурентоспособности экономики в условиях глобального энергоперехода.

В рамках декарбонизации транспортной отрасли, ключевыми направлениями, выделенными в Стратегии, можно отметить следующие:

- поддержка внедрения низко- и безуглеродных технологий, в том числе за счет развития водородной энергетики, применения газомоторного топлива, повышения электромобильность и заправочной инфраструктуры, повышение эффективности двигателей внутреннего сгорания;
- стимулирование использования вторичных энергоресурсов;
- изменение налоговой, таможенной и бюджетной политики в пользу «зеленого» транспорта;
- развитие «зеленого» финансирования для обновления транспортного парка и инфраструктуры;
- поддержка научных изысканий и исследований для разработки технологий улавливания, использования и утилизации парниковых газов [13,43].

Климатическое регулирование в Российской Федерации формируется с учетом международных требований и наилучших зарубежных практиками. В первую очередь здесь можно выделить серию национальных стандартов ГОСТ Р ИСО 14064, основанную на международных стандартах ISO 14064. Для управления выбросами парниковых газов при осуществлении транспортных процессов ключевыми стандартами являются:

- ISO 14064-1, который устанавливает принципы и требования на уровне организации по количественному определению и отчетности о выбросах и поглощении парниковых газов;
- ISO 14064-2, который устанавливает принципы и требования к формированию отчетов об углеродном следе продукта или услуги;
- ISO 14064-3, который устанавливает требования и является руководством по валидации и верификации заявлений в отношении парниковых газов.

Следует отметить, что протокол по парниковым газам (GHG Protocol) является основным мировым стандартом для корпоративного учета выбросов. Его

классификация Score 1–3 стала общепринятой и также применяется в нормативно-правовом климатическом регулировании РФ:

- Score 1 - прямые выбросы от контролируемых ресурсов, принадлежащих компании, непосредственно связанные с определенной деятельностью. Чаще всего источниками выбросов Score 1 являются оборудование и техника, осуществляющие процессы сжигания топлива;

- Score 2 - косвенные выбросы, связанные с производством электроэнергии, приобретаемой у поставщика коммунальных услуг. Они включают в себя все выбросы парниковых газов, попадающие в атмосферу в результате потребления электроэнергии, пара, охлаждения и тепла, приобретаемых у поставщика;

- Score 3 (выбросы в цепочке создания стоимости) - косвенные выбросы, которые происходят в цепочке поставок компании. Согласно GHG Protocol выбросы Score 3 делятся на 15 различных категорий, включая деловые поездки, утилизацию отходов и закупку товаров и услуг [120].

Следует отметить, что во многих странах отчетность по выбросам Score 1 и Score 2 является обязательной, а по выбросам Score 3 добровольной.

Таким образом, современное регулирование выбросов парниковых газов формирует комплексную систему требований и инструментов стимулирования для глубокой трансформации транспортной отрасли, затрагивая как прямое регулирование, так и корпоративную отчетность через цепочки создания стоимости.

Рассматривая транспортную отрасль как источник загрязнения атмосферного воздуха, можно отметить, что основными загрязняющими веществами от транспорта являются выбросы в атмосферу при сжигании углеводородного топлива. При идеальном протекании процессов сгорания отработанные газы будут содержать только азот, диоксид углерода, диоксид серы и водяной пар. Однако из-за несовершенства двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в атмосферу также могут выбрасываться: углеводороды, монооксид углерода, сажа и твердые частицы, перекисные соединения, избыточный кислород и др. В таблице 1

представлен покомпонентный состав отработанных газов при сжигании бензина и дизельного топлива.

Таблица 1. Покомпонентный состав выбросов от двигателей внутреннего сгорания [29]

Компонент отработанных газов	Структура, %	
	При сжигании бензина	При сжигании дизельного топлива
Азот	74-77 %	74-78 %
Кислород	0,3-8 %	2,0-18 %
Водяной пар	3,0-5,5 %	0,5-9,0 %
Диоксид углерода	5-12 %	1,0-12 %
Оксиды азота	0,01-0,8 %	0,004-0,5 %
в том числе:		
монооксид азота	-	0,004-0,5 %
диоксид азота	-	0,00013-0,013 %
Монооксид углерода	0,5-12 %	0,005-0,4 %
Углеводороды	0,2-3,0 %	0,009-0,3 %
Сажа	-	0,2-0,5 %
Оксиды серы	0,008 %	0,002-0,02 %
в том числе:		
диоксид серы	-	0,0018-0,02 %
триоксид серы	-	0,00004-0,00006 %
Альдегиды	0-0,2 %	0,001-0,04 %

Представленные вредные выбросы можно разделить на три группы:

- вещества, образующиеся из компонентов топлива и попадающих в атмосферу в результате их окисления: диоксид углерода, диоксиды серы и водяной пар. Объем и концентрация выбросов будет зависеть от массы сжигаемого топлива и его состава;

- вещества, образующиеся в результате неполного сгорания: монооксид углерода, сажа, бензапирен, углеводороды. Объем их образования зависит от параметров двигателя внутреннего сгорания, например, от его типа и конструкции,

равномерности распределения топливной смеси по цилиндрам, технического состояния, режима работы и др.;

- вещества, являющиеся продуктами побочных реакций, протекающих при высоких температурах, например оксиды азота.

Кроме того, следует учитывать, что помимо топлива в двигателе внутреннего сгорания могут также сжигаться в небольшом объеме смазочные материалы, что будет приводить к повышению токсичности отработанных газов.

Для оценки степени влияния вредных выбросов на окружающую среду на каждое вещество устанавливается класс опасности, предельно-допустимая концентрация (ПДК) и направленность биологического действия (лимитирующий показатель вредности). При этом ПДК подразделяют на максимально-разовую (ПДК_{м.р.}), предотвращающую раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20 - 30 минут; среднесуточную (ПДК_{ср.сут.}), обеспечивающую допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов; среднегодовую (ПДК_{ср.год.}), обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии [18].

В таблице 2 представлены экологические показатели вредных веществ, образующиеся при сжигании топлива.

Таблица 2. ПДК и класс опасности основных токсичных веществ отработанных газов [18]

Компонент отработанных газов	Предельно-допустимая концентрация, мг/м ³			Класс опасности
	ПДК _{м.р.}	ПДК _{ср.сут.}	ПДК _{ср.год.}	
Оксиды азота в том числе:				
монооксид азота	0,4	-	0,06	3
диоксид азота	0,2	0,1	0,04	3
Монооксид углерода	5	3	3	4
Углеводороды	5	1,5	-	2-4
Сажа	0,15	0,05	0,025	3

Оксиды серы				
в том числе:				
диоксид серы	0,5	0,05	-	3
триоксид серы	0,3	0,1	0,001	2
Бензапирен	-	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	1
Альдегиды				
в том числе:				
формальдегид	0,05	0,01	0,003	2

К наиболее опасным веществам можно отнести бензапирен и альдегиды, которые образуются при неполном сгорании топлива. Бензапирен является канцерогеном, накапливается в жировой ткани живых организмов и может являться фактором, провоцирующим образование злокачественных опухолей. Альдегиды, в частности формальдегид, обладают раздражающим действием, а при хроническом воздействии могут вызывать хроническую усталость, бессонницу, раздражительность и другие негативные последствия. Снизить выбросы данных веществ можно в результате совершенствования конструкции ДВС, что позволит проводить полное окисление компонентов топлива. При этом, снизятся также выбросы монооксида углерода (CO), оксиды азота (NO_x) и соответственно углеводородов и сажи. В таком случае основными конечными продуктами сгорания будут углекислый газ (CO₂) и водной пар (H₂O) [86].

Так как углекислый газ является составной частью воздуха и не токсичен, он не нормируется и для него не устанавливается ПДК. Однако, CO₂ относится к парниковым газам и его выбросы способствуют усилению парникового эффекта, что в свою очередь приводит к негативным климатическим изменениям. В 2021 году в Российской Федерации был утвержден Федеральный закон № 296-ФЗ, направленный на ограничение выбросов парниковых газов. В соответствии с принятым законом хозяйственная деятельность, которая сопровождается существенными выбросами парниковых газов, требует регулирования и контроля со стороны органов государственной власти.

Доля выбросов углекислого газа от транспорта в России составляет около 11% от суммарного показателя валовых выбросов. Большая их часть приходится на автотранспорт – около 75%, при этом наиболее экологичным является железнодорожный транспорт. Однако с точки зрения эколого-экономического управления целесообразнее рассматривать не валовые выбросы загрязняющих веществ, а удельные показатели [56]. Чаще всего в разрезе транспортной отрасли применяют показатель г CO₂-экв./ткм. В таблице 3 представлены удельные выбросы углекислого газа от различных видов транспорта.

Таблица 3. Показатели выбросов парниковых газов от разных видов транспорта в России [81]

Вид транспорта	Удельные выбросы парниковых газов, г CO₂-экв. /ткм
Водный транспорт (контейнеровоз)	10-40
Железнодорожный транспорт	
в том числе: тепловозы	20-80
электровозы	10-25
Автотранспорт	60-150
Авиатранспорт	500-1000

Диапазон выбросов зависит от ряда факторов: типа транспортного средства и двигателя, вида используемого топлива и его характеристик, режима использования транспорта и его загруженности, факторов внешней среды и погодных условий. В целом можно отметить, что водный транспорт выбрасывают наименьшее количество парниковых газов в пересчете на ткм, но морской транспорт обладает определенными недостатками: малые скоростью, большие по расстоянию морские пути и их зависимость от географических условий, высокие инвестиции в портовую инфраструктуру.

Самым неэкологичным видом транспортировки являются авиаперевозки, что связано с высоким потреблением топлива и относительно небольшой грузоемкостью самолетов. Однако это самый быстрый способ доставки грузов и пассажиров. Авиатранспорт позволяет транспортировать на дальние расстояния

грузы высокой срочности доставки и высокой стоимости, а также перевозить пассажиров на дальние расстояния в кратчайшие сроки.

Железнодорожный транспорт обладает достаточно невысокими удельными показателями выбросов парниковых газов, так прямые выбросы углекислого газа от тепловозов составляют от 20 до 80 г CO₂ на тонно-километр в зависимости от характеристик локомотива. В то же время разброс выбросов от электровоза составляет от примерно 10 до 25 г CO₂ на тонно-километр, что даже ниже, чем у водного транспорта [81]. В связи с этим можно отметить мировую тенденции по электрификации транспортной отрасли и железнодорожных путей, в частности. Это позволяет снизить не только парниковые выбросы, но и другие загрязняющие вещества, содержащиеся в отработанных газах.

В России уровень электрификации на 2023 года составляет 51,2%. Это выше, чем у большинства стран СНГ, Великобритании, Венгрии и ряда других стран, но ниже, чем у большинства стран Европы, Китая (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительный анализ характеристик эксплуатационных железнодорожных путей в разных странах (на конец года) [73, 117]

Страна	Год	Эксплуатационная длина железнодорожных путей, тыс. км	в том числе электрифицированных	
			тыс. км	в процентах от общей длины путей
Россия	2023	87,0	44,6	51,2
Азербайджан	2023	2,2	1,2	52,8
Армения	2023	0,7	0,7	100
Беларусь	2023	5,5	1,4	25,0
Германия	2022	38,8	21,3	54,8
Испания	2022	16,5	10,7	64,8
Казахстан	2023	16,0	4,2	26,5
Китай	2022	154,9	114,5	73,9
Польша	2022	19,4	12,1	62,7
Румыния	2022	10,6	4,0	38,0
Великобритания	2022	16,4	6,2	37,6

США	2018	256,8	-	-
Турция	2022	10,7	5,6	52,6
Финляндия	2022	5,9	3,4	57,9
Франция	2022	27,8	16,8	60,3
Швеция	2022	10,9	8,2	75,0

Проблемой повсеместной электрификации железнодорожных путей в России являются большие малонаселенные территории, что делает невыгодным реализацию таких проектов на слабо загруженных маршрутах, так как они требуют больших инвестиций, как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации. В связи с этим требуется рассмотреть подходы, связанные со снижением потребления углеводородного топлива, либо за счет модернизации существующего парка на более современные локомотивы с улучшенными характеристиками, либо за счет использования альтернативных видов топлива, либо за счет цифровизации процессов транспортировки.

Российская Федерация также взяла на себя обязательства по сокращению выбросов парниковых газов. В 1997 году в рамках Киотского протокола Российская Федерация обязалась до 2008-2012 года снизить выбросы углекислого газа до уровня 1990 года и успешно достигла поставленной цели. В 2009 году в Копенгагене было принято обязательство удерживать эмиссию на уровне не выше 75% от уровня 1990 года до 2020 года, что также было выполнено. В рамках Парижского соглашения в 2015 году эмиссия выбросов парниковых газов в России должна составить 70-75% до 2030 года [45].

Помимо обязательств по международным соглашениям, в России развивается нормативно-правовая база перехода к низкоуглеродной экономике. Так в октябре 2021 года была принята «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», в рамках которой планируется снизить чистые выбросы парниковых газов на 80% к уровню 1990 года. В целом предполагается, что в случае

интенсивного сценария развития экономики, возможно достижение углеродной нейтральности к 2060 году [10].

Учитывая, что транспортная отрасль является существенным источником выбросов углекислого газа, она требует также серьезных структурных изменений и модернизации. В рамках стратегии выделяют следующие приоритетные направления, которые позволят существенно снизить негативные выбросы:

- проведение масштабной электрификации транспорта, а также переход на безуглеродные или низкоуглеродные виды топлива. В приоритете развитие газифицированного и водородного транспорта;

- структурные преобразования в грузо- и пассажирообороте в сторону менее углеродоемких видов транспорта. Большое внимание здесь следует уделить железнодорожным перевозкам как наиболее экологичным;

- развитие транспортной системы, направленной на обеспечение доступности газомоторной и электроразрядной инфраструктуры;

- проведение организационно-управленческих мероприятий, направленных на совершенствование логистических цепочек, транспортных потоков, повышения пропускной способности и т.д.;

- применение современных цифровых технологий и интеллектуальных систем для контроля, мониторинг и позиционирования транспорта [56].

Несмотря на то, что железнодорожный транспорт считается наиболее энергоэффективным по сравнению с другими видами транспорта и производит меньше негативного воздействия в расчете на пассажира или тонну перевозимого товара, железнодорожные перевозки вносят существенный вклад в суммарный объем выбросов парниковых газов. Кроме того, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 14.03.2022 № 355 железнодорожный транспорт относится к регулируемой отрасли, для которой с 2023 года обязательна углеродная отчетность. В связи с этим крайне важно выстроить эффективную систему управления парниковыми выбросами для предприятий данной отрасли.

В целом же рассматривая источники негативных выбросов в атмосферу от железнодорожных предприятий, их можно классифицировать на стационарные и

передвижные. На рисунке 1 представлены основные выбросы в результате деятельности железнодорожных предприятий.



Рис.1. Основные выбросы от железнодорожного транспорта [56]

К стационарным источникам в первую очередь можно отнести котельные. В зависимости от вида топлива, которое используется для получения тепловой энергии, выбросы в атмосферу могут содержать углекислый газ, оксиды азота и серы, твердые вещества. Наибольшую проблему здесь вызывают мазутные и угольные котельные, которые требуют перевода либо на природный газ, либо их закрытия с заменой их на возобновляемы источники энергии. По данным ОАО «РЖД» доля выбросов от стационарных источников составляет порядка 19% в структуре выбросов, их динамика с 2019 по 2024 год представлена на рисунке 2.

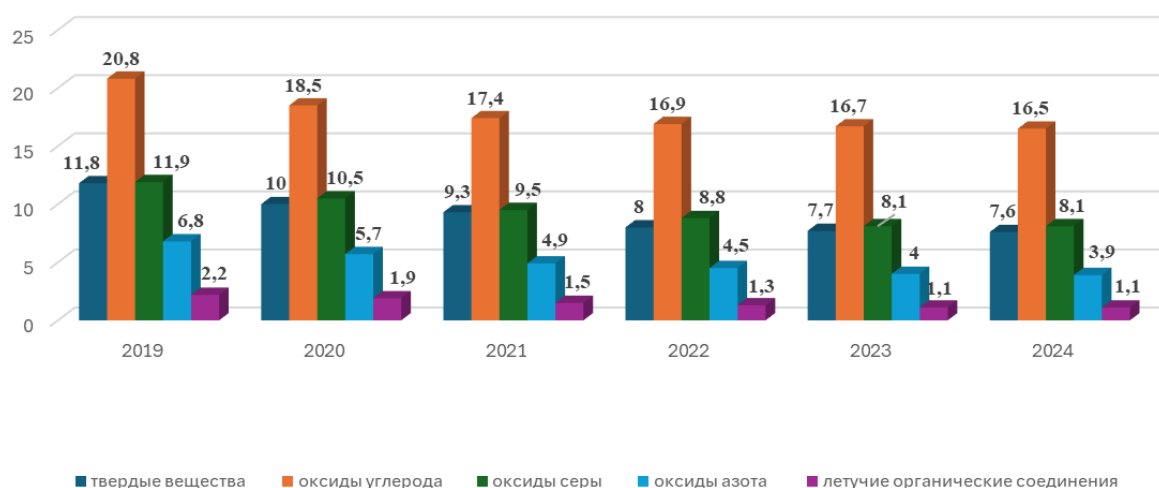


Рис. 2. Выбросы загрязняющий веществ от стационарных источников ОАО «РЖД» [57,98]

Как видно из графика, можно отметить тенденцию к снижению антропогенного воздействия, за счет проводимых природоохранных мероприятий. Главным фактором положительных изменений является перевод угольных и

дизельных котельных на природный газ, а также котельных малой мощности с угля на электричество.

Однако, наибольшее негативное воздействие на атмосферу оказывают передвижные источники, на которые приходится около 81,1 % валовых выбросов, из которых около 87,8 % — это вклад магистральных и маневровых тепловозов.

На рисунке 3 представлена динамика валовых выбросов от передвижных источников.

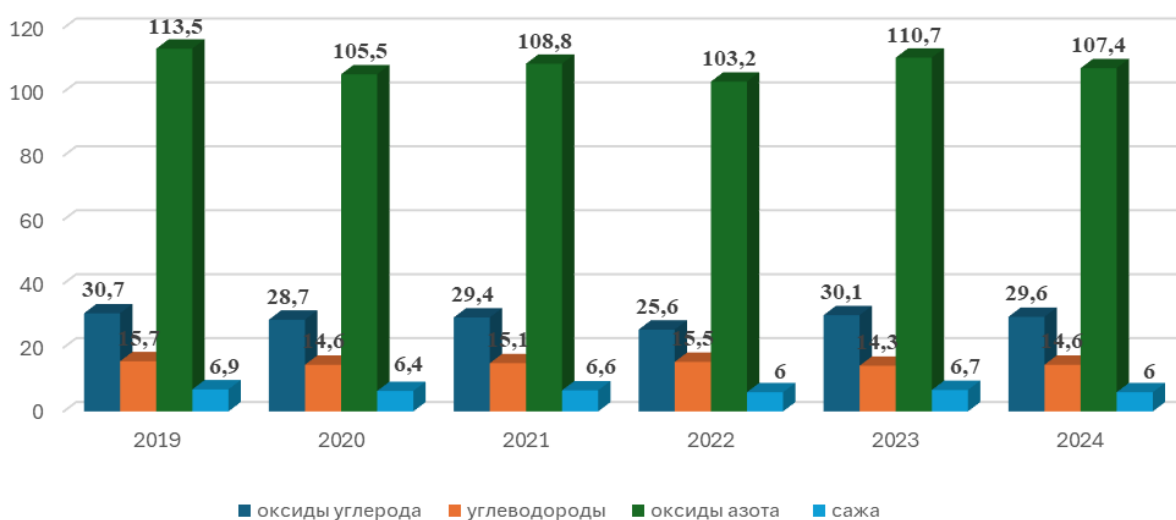


Рис. 3. Выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников ОАО «РЖД» [57,98]

Можно отметить, что по сравнению с 2019 годом произошло снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, однако в 2023 году наблюдается снова рост негативного антропогенного воздействия и увеличение эмиссии выбросов почти по всем видам, за исключение углеводородов. Это связано прежде всего с ростом пассажирооборота, который составил в 2023 году 138 млрд пассажиро-км по сравнению с 124 млрд пассажиро-км в 2022 году и 104,2 млрд пассажиро-км в 2021 году. При этом грузооборот в период с 2020-2023 год практически не менялся и составлял 2 638 млрд т –км [57, 73].

Несмотря на то, что железнодорожный транспорт считается наиболее энергоэффективным по сравнению с другими видами транспорта и производит меньше негативного воздействия в расчете на пассажира или тонну перевозимого товара, железнодорожные перевозки вносят существенный вклад в суммарный объем выбросов парниковых газов. Кроме того, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 14.03.2022 № 355 железнодорожный транспорт относится к регулируемой отрасли, для которой с 2023 года обязательна углеродная отчетность.

В соответствии с данными, представленными ОАО «РЖД», ежегодный суммарный объем выбросов углекислого газа от деятельности компании составляет примерно 37 млн. т CO₂, что в свою очередь составляет в среднем 16% от всех выбросов парниковых газов от транспортного сектора. На рисунке 4 представлена динамика изменения объема выбросов углекислого газа ОАО «РЖД» с 2019 года по 2025 год.

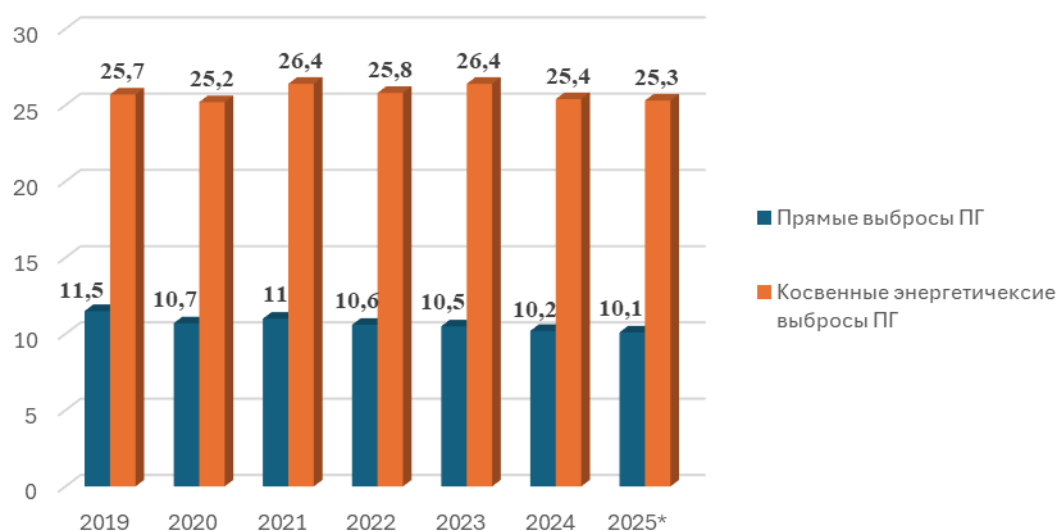


Рис. 4. Выбросы парниковых газов от деятельности ОАО «РЖД» в период 2019-2025 гг., млн. т CO₂ [57, 98]
(2025*- предварительная оценка выбросов ПГ)

В ходе производственных процессов выделяются прямые выбросы парниковых газов, которые в соответствии с терминологией GHG Protocol Corporate Standard относятся к Scope 1. В первую очередь следует отметить, что основным источником прямых выбросов углекислого газа являются тепловозы, которые используют дизельное топливо. Вторым крупным источником прямых

выбросов является стационарное сжигание углеводородного топлива, прежде всего в собственных котельных железнодорожных компаний. В мировой практике наблюдается тенденция по электрификации железнодорожного транспорта, позволяющая снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Однако такой подход хоть и приводит к снижению прямых выбросов парниковых газов, но может увеличить косвенные выбросы, которые образуются при потреблении электрической и тепловой энергии, приобретаемой у сторонних энергоснабжающих организаций (Score 2).

Также следует отметить, что протокол Greenhouse Gas Protocol выделяет косвенные выбросы Score 3, связанных с приобретением строительных материалов, подвижного состава и комплектующих у поставщиков, а также перевозке сотрудников и др. В настоящий момент они не рассчитываются, так как отсутствуют утвержденные методики [56, 120].

Таким образом, процессы транспортировки связаны с вредными выбросами в атмосферу 2-4 класса опасности. Они образуются в результате сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания, при этом из-за несовершенства существующих конструкций ДВС, изношенности деталей, внешних условий окружающей природной среды и других факторов углеводородное топливо может сгорать не полностью, что усиливает токсичность отработанных газов.

Основным конечным продуктом сжигания бензина и дизельного топлива является углекислый газ, который не нормируется с точки зрения опасности, так как входит в состав атмосферного воздуха и не обладает токсичностью. Однако CO₂ относится к категории парниковых газов и в соответствии с современным законодательством требуется контроль и мониторинг выбросов углекислого газа.

Следует отметить, что в последнее время законодательство в области регулирования выбросов парниковых газов постоянно ужесточается и усиливаются требования к учету и мониторингу негативных выбросов. Так в последние годы было утверждено постановление Правительства РФ, обязывающее крупные компании-эмитенты с объемом выбросов парниковых газов свыше 50 тыс. тонн углекислого газа эквивалент предоставлять отчетность, что является одним из

шагов к формированию регулируемого углеродного рынка. Существующий добровольный углеродный рынок, с возможностью реализации климатических проектов за счет продажи углеродных единиц, создает недостаточный стимул компаниям к формированию и реализации стратегий по снижению энергоемкости производственных процессов. С учетом утвержденной стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития и мировых тенденций в области ужесточения требований к углеродному следу продукции, следует ожидать также и ужесточение климатического регулирования в РФ, в том числе и в транспортном секторе.

Железнодорожный транспорт по сравнению с другими видами является одним из самых экологичных, но несмотря на это объемы негативных выбросов существенные, в том числе и выбросов CO₂. Мировой тенденцией является электрофикация железнодорожных путей. В нашей стране она достигает 51,2%, что обусловлено экономической нецелесообразностью перевода на электричества железнодорожный путей в регионах с небольшим трафиком и небольшой загрузкой. Это связано с высокой стоимостью данных проектов и более сложным и затратным обслуживанием по сравнению с дизельными перевозками. В связи с этим необходимо рассмотреть альтернативные возможности выработки энергии, которые бы позволили снизить выбросы вредных веществ и использовать более чистые источники энергии.

1.2. Исследование особенностей использования альтернативного топлива как способ снижения выбросов при транспортировке

Одним из направлений транспортной стратегии, принятой Минэкономразвития до 2035 года, является увеличение доли транспортных средств, работающих на альтернативных видах топлива. Это связано с мировой тенденцией «энергетического перехода» и заменой ископаемых источников энергии более экологичными видами. Кроме этого, такой переход позволит существенно

снизить выбросы в атмосферу от транспортных процессов, в частности уменьшить выбросы углекислого газа.

Процессы декарбонизации в транспортном секторе связаны со следующими основными направлениями:

- использование сжиженного природного газа;
- применение энергии аккумуляторных батарей;
- переход на водородные топливные элементы;
- использование биотоплива [134].

В настоящий момент активно развивается программа по стимулированию использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива на железнодорожном транспорте для повышения эффективности перевозок и уменьшения негативного воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду. В целом экспертами оценивается, что переход на СПГ позволит снизить выбросы CO_2 до 17%, а выбросы остальных вредных веществ более чем на 50%. Кроме того, при использовании природного газа по сравнению с другими видами топлива достигается экономия затрат на топливо, которая может составлять от 30 до 40% на 1 км пробега [46].

В первую очередь рассматривается возможность применения биогаза. Возобновляемый природный газ (RNG) — это биометан, получаемый в процессе газификации и метанирования биомассы, а также в процессе модернизации и очистки биогаза.

Биометан неотличим от природного газа и поэтому может использоваться без необходимости каких-либо изменений в инфраструктуре передачи и распределения или оборудовании конечного пользователя и полностью совместим для использования в транспортных средствах, работающих на природном газе. Эксплуатация локомотивов на возобновляемом природном газе позволяет сократить выбросы CO_2 на 70%, NO_x на 30% и твердых частиц на 70%.

Биогаз — один из самых рентабельных видов топлива. 1 м³ биогаза эквивалентен по теплоте сгорания 0,8 м³ природного газа, 0,6 кг бензина, 0,7 кг мазута, 1,5 кг дров или 3 кг брикетированного биотоплива. При этом сырьем для

биогаза являются восполняемые отходы, например переработка 1 т навоза дает до 50 м³ биогаза. Таким образом, происходит ископаемых природных ресурсов [125].

Из 1 м³ биогаза можно получить 2 кВт-часа электроэнергии. По статистике, объем сельскохозяйственных отходов в России составляет около 770 млн тонн биоотходов в год, соответственно, это позволяет получить около 66 млрд м³ биогаза, или свыше 100 млрд киловатт-часов электроэнергии [125].

К проблемам внедрения биогаза в железнодорожной отрасли можно отнести – создание необходимой инфраструктуры: заправочные станции, резервуары высокого давления для хранения СПГ. Особое внимание следует уделить безопасности в отношении операций по хранению и заправке СПГ, так как она требует дополнительной активной системы охлаждения для долгосрочного хранения СПГ.

Другой проблемой является обеспечение регулярных поставок для железнодорожного сектора. В настоящий момент в европейских странах производители биогаза прежде всего покрывают спрос на отопление жилья, а российских производителей пока слишком мало, чтобы обеспечить потребности железнодорожного транспорта.

В сфере железнодорожного транспорта в России есть разработки по использованию газотурбинных двигателей тягового состава большой и малой мощности, но пока отсутствуют компетенции по переводу на СПГ самой востребованной техники – магистральных локомотивов средней мощности и пассажирских тепловозов. При этом электрификация железных дорог сокращает потенциальную потребность в тяговом составе на газовом топливе.

В качестве другой альтернативы по созданию более чистых перевозок можно рассматривать использование аккумуляторных батарей.

Существуют определенные эксплуатационные ограничения, связанные с использованием аккумуляторных батарей, которые становятся барьером для их активного внедрения в транспортном секторе. Их можно разделить на четыре крупных блока:

1. дальность и мощность;

2. инфраструктура для зарядки;
3. дефицит ресурсов в среднесрочной и долгосрочной перспективе (после 2050 года);
4. законодательное ужесточение обязательств по переработке использованных батарей [28, 107].

В настоящий момент в Европе существуют положительный опыт применения аккумуляторных батарей для обеспечения пригородного сообщения до 100 км. В целом же широко распространено мнение, что решения на основе аккумуляторов в железнодорожной отрасли не могут применяться для перевозки тяжелых грузов. На сегодняшний день появляются новые технологии, такие как WABTEC FLXdrive, они в основном предполагают гибридный подход, при котором локомотив с питанием от аккумуляторов располагается между дизельными. Этот аккумуляторный блок используется для хранения энергии, полученной во время торможения транспортного средства, которая затем будет высвобождаться при необходимости. Общее сокращение выбросов в рамках такого решения составляет 10%-20%. При этом в качестве батарей в основном используются литий-ионные аккумуляторы: литий-титанат-оксидные (LTO), литий-железо-фосфатные (LFP) и литий-никель-марганцево-оксидные (LMNO) аккумуляторы. Кроме этого, широкое распространение нашли батареи, в составе материала катода которых содержатся никель, марганец и кобальт (NMC) [125].

Существуют другие различные другие пилотные проекты для грузовых и маневровых локомотивов с питанием от аккумуляторных батарей. Эффективность их применения во многом зависит от конкретной инфраструктуры и топографии региона. В таблице 5 представлена сравнительная характеристика различных серий гибридных локомотивов. Следует отметить, что топливные элементы способны обеспечить только средний уровень энергии, необходимый для тяги, но не позволяет получить кратковременное значение пиковой энергии, необходимое для ускорения поезда.

Преимущества аккумуляторных батарей в значительной степени связаны с экологическими характеристиками, так как позволяют снизить потребность в

дизельном топливе и соответственно уменьшить выбросы в атмосферу. Кроме этого, они могут применяться не только для обеспечения движения поезда, но также для питания устройств собственных нужд (отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха), а также при его движении по депо во время мойки или уборки.

Таблица 5. Сравнительный анализ гибридных локомотивов [72]

Серия	Тип	Производитель	Мощность на ободу колеса, кВт	Кратность энерго-вооруженности (гибридность)	Тип батареи
HD300	грузовой	Toshiba	500	0,5	Li-Ti-O (SCiB)
HELMS	маневренный	Toshiba	750	1,0	Li-Ti-O (SCiB)
PRIMA H3	маневренный	Alstom	350-1000	0,35-1	Ni-Cd
PRIMA H4	маневренный	Alstom	900-2000	0,3-0,7	Ni-Cd
DE60 C	маневренный	Gmeinder Lokomotiven GmbH	425	0,96	Li-ion
DE75 BB	маневренный	Gmeinder Lokomotiven GmbH	600	1,0	Li-ion
DE18	маневренно-вывозной	Vossloh	1800	н/д	Li-ion
Innoshunt 2016	маневренный	TecSol	200-800	0,11-0,47	Li-ion

К существенной проблеме использования аккумуляторных батарей можно отнести в долгосрочной перспективе дефицит природных ресурсов, необходимых для производства литий-ионных аккумуляторов, прежде всего, кобальта и лития. В связи с этим разрабатываются альтернативные подходы с использованием более

доступного сырья: натриево-ионные аккумуляторы, литий – серные аккумуляторы, литий-воздушные батареи, твердотельные аккумуляторы на основе сульфидов или неорганических оксидов. Однако, в настоящий момент они только испытываются в транспортной отрасли и широкого применения не нашли.

Следует учитывать, что в России действуют строгие требования к утилизации и переработке аккумуляторов, так как они отнесены к отходам II класса опасности. Это требует создания условий для сбора, хранения и учета отработанных аккумуляторных батарей, кроме того, также существуют процентные требования к использованию переработанных материалов при производстве новых аккумуляторов, например, 75% для никелевых и кадмиевых, 50% для содержащих свинец [17].

Таким образом, аккумуляторные батареи в основном применяются в гибридной форме с дизельными двигателями и позволяют снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. На рисунке 5 представлена их область применения и влияние на окружающую среду.



Рис. 5. Область применения аккумуляторных батарей в железнодорожных перевозках [93, 125]

Несмотря на то, что при полном переходе на аккумуляторные батареи или при их гибридном использовании с контактной сетью, прямые выбросы в атмосферу отсутствуют, следует учитывать увеличение косвенных выбросов

парниковых газов, что требует использования электроэнергии для зарядки батареи от возобновляемых источников энергии.

В настоящий момент в качестве перспективного альтернативного энергоносителя рассматривается водородное топливо. В 2021 году в России была принята концепция развития водородной энергетики, которая направлена на решение задач по развитию низкоуглеродной экономики и соответственно позволит снизить эмиссию парниковых газов до значений, которые способны поглотить природные экосистемы естественным путем.

Железнодорожное сообщение имеет большой потенциал для применения водорода в качестве низкоуглеродной энергии. Водород потенциально может использоваться в двигателях поездов в качестве альтернативного источника горючего топлива для значительного снижения выбросов CO_2 . Отличительные физические и химические свойства водорода по сравнению с обычными ископаемыми видами, делают его экологически чистой альтернативой и позволяют полностью исключить выбросы на основе углерода: углекислый газ, монооксид углерода и несгоревшие углеводородов. Однако, как и дизельное топливо, отработанные газы водородных двигателей по-прежнему выделяют оксиды азота (NO_x) [87].

Существуют разные направления применения водорода в качестве источника энергии. В последнее время проводятся исследования прямого впрыска водорода в железнодорожных двигателях внутреннего сгорания, что с одной стороны позволяет снизить выбросы, содержащие углерод, с другой стороны требует меньших финансовых вложений по сравнению с приобретением поездов с полностью водородными топливными элементами. Исследователи отмечают, что водородное топливо улучшает тепловую эффективность двигателя, в результате чего выбросы CO и несгоревших углеводородов снижаются на 20% и 50% соответственно по сравнению с чистым дизельным топливом. В отдельных экспериментах снижение выбросов CO достигало 78%. Однако, при таком подходе работы ДВС повышаются выбросы NO_x на 25–58% при различных режимах работы [87, 105, 125].

Наибольший интерес представляют локомотивы на полностью водородных топливных элементах. Такие технологии уже используются в Германии с 2018 года, а также в 2024 году швейцарская компания разработала поезд FLIRT H2 [105]. В России также существует пилотный проект водородного поезда, разработанного «Трансмашхолдингом». Его испытания запланированы на 2026 год, а запуск в эксплуатацию в 2028 году [98].

Поезда на водороде обладают хорошими техническими характеристиками, с такой же гибкостью и универсальностью, как и дизельные поезда. Они могут применяться на неэлектрифицированных маршрутах протяженностью более 100 км для региональных пассажирских перевозок, на магистральных маршрутах с низкой загруженностью. Однако с точки зрения экологических аспектов, важен способ получения водорода и его источник. Наиболее экологичен зеленый и желтый водород, полученный при помощи электролиза, при этом используется электричество, произведенное за счет возобновляемых источников энергии или от атомных электростанций. Пока такой подход достаточно затратный и не является экономически выгодным по сравнению с другими способами получения водородного топлива. Однако другие способы производства водорода обладают эмиссией загрязняющих веществ в атмосферу [71].

Серьезным барьером служит высокая капиталоемкость подвижного состава на водородных топливных элементах и поддерживающая инфраструктура, что требует финансовой поддержки со стороны государства. Для обеспечения надежности подвижного состава периодически необходим текущий и капитальный ремонт, включающий обслуживание электрических, механических и гидравлических элементов. При этом, оценить необходимые реальные финансовые затраты пока достаточно сложно, так как большинство проектов являются пилотными.

Таким образом, водородные топливные элементы демонстрируют интересные преимущества для железнодорожных перевозок, но только для конкретных случаев использования и должны отслеживаться для будущего внедрения. Водород имеет высокую плотность энергии в отличие от батарей,

однако у него высокая совокупная стоимость владения (высокие операционные расходы и высокие капитальные расходы). Это означает, что пока его эффективно использовать в ситуации, когда нет других альтернатив, например, на длинных неэлектрифицированных маршрутах или для тяжелых грузовых перевозок. Более того, поскольку требования к инфраструктуре достаточно высокие, скорее всего, они будут запущены вблизи крупных промышленных центров, которые, как ожидается, перейдут на водород.

В качестве альтернативной замены дизельному топливу может применяться биотопливо.

Биотопливо — это альтернативное топливо, получаемое из биомассы: растительных и водорослевых материалов или отходов животного происхождения. В настоящее время производство сосредоточено на выращивании таких культур, как кукуруза, сахарный тростник и соя, которые затем преобразуются в биотопливо. Два основных типа, этанол и биодизель, производятся путем преобразования органического материала с помощью таких процессов, как ферментация (например, этанол) или переэтерификация (например, биодизель). Существует тенденция к разработке передового биотоплива, перерабатываемого из отходов животного происхождения и определенных культур, чтобы избежать столкновения с производством продуктов питания [125].

В Евросоюзе биотопливо рассматривается в качестве промежуточного решения к переходу абсолютно чистых подходов транспортировки. Главным преимуществом биотоплива для использования в качестве топлива в железнодорожных перевозках является простота внедрения в существующий дизельный парк: его использование не требует модернизации локомотивов или заправочных станций. Немаловажно, что внедрение биотоплива не влияет на организационные процессы, связанные с эксплуатацией и обслуживанием подвижного состава. Аналогичным образом, смешанное использование биотоплива и дизельного топлива возможно на первоначальном этапе перехода к более экологически чистым технологиям. В настоящий момент лидером по применению биотоплива в транспортных процессах является немецкая компания

DB Cargo GER, которая рассматривает биотопливо как мостовое решение, особенно для тяжелых грузовых локомотивов из-за высоких требований к мощности без какой-либо экономической и технологической альтернативы в среднесрочной перспективе. В июне 2022 года компания одобрила использование биодизеля во всем своем парке.

Использование биотоплива позволяет снизить выбросы CO₂-эквивалента на 85–90%, в то время как выбросы оксидов азота (NO_x) остаются в том же диапазоне [88].

Таким образом, в настоящее время существуют различные направления, связанные с внедрением альтернативных видов топлива в железнодорожном секторе. Часть из них можно рассматривать как переходный этап в краткосрочной перспективе для снижения выбросов от сжигания дизельного топлива. На рисунке 6 обобщены основные направления в области снижения выбросов от передвижных источников выбросов.

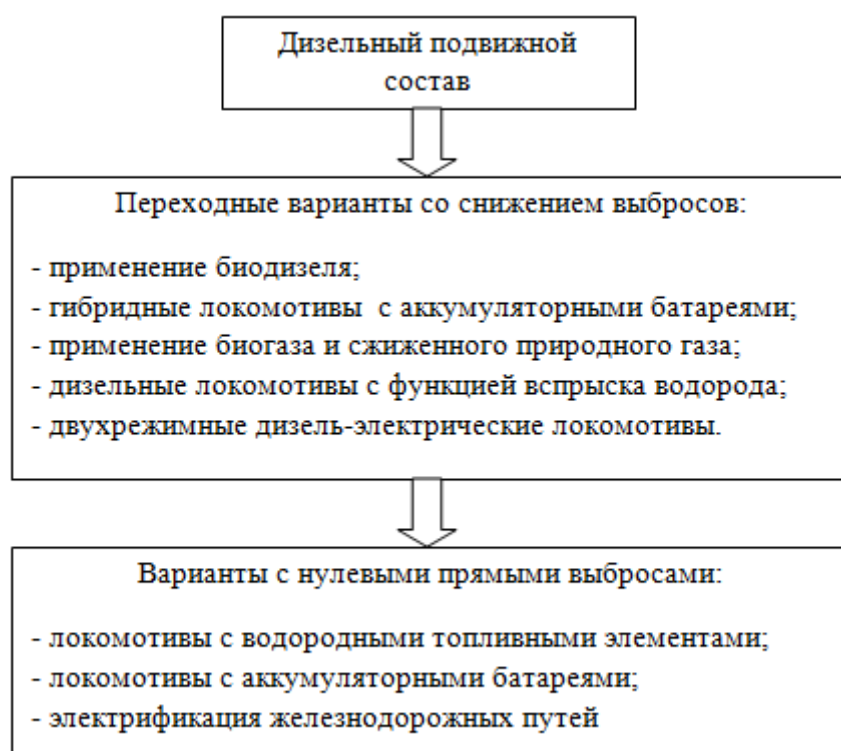


Рис. 6. Направления внедрения альтернативного топлива в железнодорожном транспорте (разработано автором)

Наиболее прагматичным решением для снижения выбросов является использование биодизеля и сжиженного природного газа, как решений, не требующих серьезной модернизации подвижного состава. Однако уровень производства данных альтернативных видов топлива еще не слишком большой и не может обеспечить на должном уровне потребности железнодорожного сектора. В настоящий момент отсутствуют крупные производители биодизеля и биогаза, что создает проблемы в регулярном обеспечении нужд компании.

Применение гибридного электро - аккумуляторного подвижного состава, позволяет переключаться на работу от аккумуляторов на неэлектрифицированных участках, что позволяет снизить затраты на модернизацию инфраструктуры по сравнению с непрерывной электрификацией. Это покрывает операции последней мили, малозагруженные линии питания или места, где электрификация невозможна [93].

В долгосрочной перспективе необходимо рассматривать переход на водородные топливные элементы. При этом если говорить о достижении углеродной нейтральности, то следует рассматривать только зеленый или желтый водород, полученный от возобновляемых источников энергии или атомных станций. Развитие водородных поездов возможно только при содействии государства, которое будет развивать водородную инфраструктуру. Масштабный проект сейчас проводится в Сахалине и предполагает строительство водородного полигона и пилотного производства зеленого водорода.

Также следует рассматривать развитие локомотивов на аккумуляторных батареях, хотя не в гибридной форме их применение пока сильно ограничено только пригородным сообщением до 150 км [93]. При этом необходимо оценивать воздействие на окружающую среду аккумуляторных батарей на протяжении всего их жизненного цикла от этапа добычи природных ресурсов до этапа их утилизации. В связи с тем, что большая часть их захоранивается без должной утилизации, они наносят существенный вред почве и могут попадать вместе со стоками в водоемы и таким образом быть источниками повторного загрязнения.

Следует отметить, что модернизация подвижного состава является ключевым фактором, позволяющим снизить выбросы парниковых газов в железнодорожной отрасли. Важно понимать, что переход на электрифицированные виды локомотивов целесообразны при условии структурного изменения топливно-энергетического баланса поставщиков энергии в сторону возобновляемых и низкоуглеродных источников энергии. В противном случае снижение прямых выбросов парниковых газов будет осуществляться за счет увеличения косвенных выбросов Scope 2. Однако модернизацию транспортного парка можно рассматривать и с точки зрения цифровизации управления перевозками, что позволяет оптимизировать маршруты, минимизировать простои и др. В любом случае требуется разработка методики расчета углеродного следа с учетом специфики транспортных процессов железнодорожных перевозок.

1.3. Изучение проблем в сфере управления выбросами в атмосферу на железнодорожном транспорте

Выбросы в атмосферу от железнодорожного транспорта считаются ниже, чем от других видов транспорта. Кроме того, он характеризуется высокой энергоэффективностью. По этим причинам развитие железных дорог активно продвигается как устойчивое транспортное решение. Однако это не означает, что данная отрасль транспорта полностью экологически нейтральна и также характеризуется образованием загрязняющих веществ.

В случае железнодорожного транспорта можно разделить выбросы на прямые и косвенные. Прямые выбросы связаны с эксплуатацией подвижного состава, работающего на традиционном ископаемом топливе. Они включают углекислый газ, монооксид углерода, углеводороды и оксиды азота и серы, образующиеся в результате процесса сгорания, происходящего в дизельных транспортных средствах. Кроме того, выделяют твердые частицы, к которым можно отнести сажу и частицы, образованные в результате износа тормозов или в результате истирания рельсов.

Следует отметить, что действующим законодательством не предусмотрено установление нормативов допустимых выбросов для передвижных источников. При проведении инвентаризации выбросов передвижные источники учитываются как факторы, формирующие общий уровень загрязнения, и их вклад учитывается в расчете рассеивания выбросов стационарных источников. При этом транспорт могут быть учтен как стационарный загрязняющий объект в зоне стоянок и сооружений.

Однако, согласно существующему законодательству, подвижной состав должен соответствовать требованиям технических нормативов и быть сертифицирован. Таким образом, эксплуатация транспортных передвижных средств, содержание загрязняющих веществ в выбросах которых превышает установленные технические нормативы выбросов категорически запрещено [2].

В настоящий момент в России принят ГОСТ 33754-2016 «Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов автономного тягового и моторвагонного подвижного состава», который регламентирует значения предельно допустимых удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ в отработанных газах. При этом нормирование ведется по следующим веществам:

- оксид углерода (CO) (угарный газ), который является продуктом неполного сгорания топлива;
- оксиды азота (NO_x), которые образуются при высоких температурах сгорания;
- углеводороды (HC), представляющие собой остатки несгоревшего топлива;
- диоксид серы (SO₂), который образуется при сгорании сернистого топлива;
- сажа (C), представляющие собой твердые частицы, образующиеся при неполном сгорании.

Кроме этого, также регулируется дымность, которая отражает степень поглощения светового потока, проходящего через отработавшие газы. Показатель

дымности является одним из ключевых критериев оценки токсичности отработавших газов дизеля [84].

Несмотря на то, что для углекислого газа не устанавливаются нормативы допустимых выбросов, они требуют мониторинга и контроля.

В последнее десятилетие принятые стратегии в области развития транспортной отрасли, энергосбережения, энергетики, а также климатическая доктрина, направлены на обеспечение «энергетического» перехода и отказа от углеводородных видов топлива. Это связано с ужесточением законодательства регулирования выбросов парниковых газов и достижением углеродной нейтральности к 2050 году. Таким образом, существующая система управления природоохранной деятельности на предприятии должна быть преобразована с учетом требований в области регулирования выбросов парниковых газов.

Для эффективного управления выбросами парниковых газов на предприятии должны быть выявлены следующие критерии:

- сроки количественного определения объемов выбросов парниковых газов;
- границы количественного определения выбросов парниковых газов от различных источников загрязнения (охваты);
- методы, используемые при количественном определении выбросов парниковых газов;
- источники исходных данных;
- основные показатели и формулы для расчёта выбросов парниковых газов по железнодорожному транспорту [57].

Корпоративный стандарт протокола GHG классифицирует выбросы ПГ компании по трем категориям – Scope (Охват) 1, Scope 2 и Scope 3. GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) представляет собой набор отраслевых руководств и прочих инструментов для учета выбросов парниковых газов, а также выступает как широко используемый международный инструмент учета, позволяющий понять, количественно оценить и управлять выбросами парниковых газов.

В соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021. «Газы парниковые. Часть 1. Требования и руководство по количественному определению и отчётности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации» на уровне предприятия выбросы ПГ должны распределяться по следующим категориям:

- прямые выбросы и поглощения ПГ;
- косвенные выбросы ПГ от импортированной энергии;
- косвенные выбросы ПГ от транспортирования;
- косвенные выбросы ПГ от продукции, используемой организацией;
- косвенные выбросы ПГ, связанные с использованием продукции, выпускаемой организацией;
- косвенные выбросы ПГ из других источников [21].

Как видно из приведённого материала, транспортировка рассматривается только с точки зрения косвенных выбросов для предприятий, производящих продукцию (товары). Однако, так как у транспортных организаций, в том числе и у ОАО «РЖД», транспортировка выступает основным продуктом (услугой), то необходимо идентифицировать источники выбросов ПГ от оказания соответствующих транспортных услуг для них в Охвате 1 – прямые выбросы. При этом, как указано в данном ГОСТе «Организация должна идентифицировать и документировать все относящиеся к ней источники и поглотители ПГ, включенные в ее границы отчетности». Очень важно определить данную границу.

В данном ГОСТе в качестве справочной информации приводится «Классификация прямых и косвенных выбросов», в которой указаны особенности отнесения транспортных средств к прямым или косвенным источникам выбросов ПГ. Например, к прямым выбросам следует относить выбросы от передвижных установок сжигания, которые являются следствием сжигания топлива в транспортных средствах, например, в двигателях автомобилей, грузовиках, кораблях, самолетах, локомотивах, автопогрузчиках.

Все выбросы ПГ, которые происходят в результате использования транспортных средств, не включенных в границы организации, следует указывать

как «косвенные выбросы», происходящие в результате деловых поездок, доставки сотрудников к месту работы, перевозки клиентов и посетителей, лизинговых активов и т. д.

Следовательно, как было указано ранее, все выбросы парниковых газов в процессе транспортировки грузов транспортно-логистическими компаниями следует относить к прямым выбросам, т.е. к Охвату 1.

Важным критерием, по которому необходимо привести результаты анализа национальных стандартов, выступают методы оценки количественного определения выброс парниковых газов от источников загрязнения.

Как показал анализ национальных стандартов, в них не приведены методические подходы к оценке объёмов выбросов ПГ. В то же время в ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021. «Газы парниковые. Часть 1. Требования и руководство по количественному определению и отчётности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации» указано, что «за исключением случаев прямого измерения выбросов и поглощений, организация должна выбрать или разработать модели для количественной оценки ПГ».

При этом, как указано в этом же ГОСТе, «модели количественной оценки для прямых выбросов могут включать материальный баланс, периодические измерения выбросов, оценки и стандартный подход. Подход к количественной оценке на основе измерений может включать системы непрерывного контроля выбросов (СНКВ) и системы мониторинга прогнозируемых выбросов (СМПВ)» [57].

Данное положение является актуальным для определения выбросов ПГ от передвижных источников в процессе оказания транспортно-логистических услуг.

Также необходимо отметить, что в ГОСТ Р ИСО 14064-2-2021. «Газы парниковые. Часть 2. Требования и руководство по количественному определению, мониторингу и составлению отчётной документации на проекты сокращения выбросов парниковых газов или увеличения их поглощения на уровне проекта», приведено следующее положение: «инициатор проекта должен применять критерии и методики, выбранные или установленные для количественного

определения сокращения выбросов или увеличения поглощения ПГ для проекта по ПГ».

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в национальных стандартах по выбросам ПГ разработка актуальных методик по оценке объёмов выбросов является исключительным правом соответствующей компании.

Важным вопросом при оценке выбросов ПГ выступает проблема сбора информации (или источники исходных данных). В анализируемой системе стандартов данный вопрос рассматривается в ГОСТ Р ИСО 14067–2021. «Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению».

В данном документе указано, что информация по прямым выбросам ПГ для конкретного объекта определяют путем непосредственного мониторинга, стехиометрии, материального баланса или аналогичными методами. При этом специфичные для конкретного объекта данные получают с самого объекта или же усредняют по всем производственным объектам. Их можно измерять или моделировать в тех случаях, когда результат характеризует конкретный производственный процесс в рамках жизненного цикла продукции.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в национальных стандартах серии ГОСТ Р ИСО 14064, ГОСТ Р ИСО 14067-2021, ГОСТ Р ИСО 14080-2021 сформулированы общие направления действий по оценке выбросов ПГ, разработке климатических проектов по их снижению, а также формированию системы управления выбросами ПГ на различных иерархических уровнях. Поэтому транспортно-логистические компании, в том числе ОАО «РЖД», должны самостоятельно разрабатывать необходимые методические и нормативные документы по оценке выбросов ПГ от предоставления транспортных услуг по перевозке грузов (пассажиров) и создавать механизмы управления, направленные на снижение выбросов ПГ.

В настоящий момент Минприродой разработаны методические указания № 371 от 27 мая 2022 года по расчету прямых выбросов парниковых газов Score 1

и косвенных выбросов Score 2, в основе которых лежат данные о фактическом расходе топлива и его характеристиках. При этом расчет косвенных выбросов Score 3 в российском законодательстве не регламентирован, но в основе применяемых методик расчета могут лежать методические указания Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Разработка комплексной методики количественного определения объемов выбросов парниковых газов, которая учитывала бы специфику железнодорожного транспорта, крайне важное направление в формировании системы управления выбросами на предприятии, представленной на рисунке 7.



Рис.7. Система управления парниковыми выбросами на железнодорожном предприятии (разработано автором) [57]

Точный расчет объемов углекислого газа является важной задачей для функционирования эффективной системы управления парниковыми выбросами и лежит в основе инвентаризации источников выбросов и оценке степени их негативного влияния. В ходе инвентаризации составляется подробный список всех источников парниковых газов, дается количественная оценка объемов выбросов

углекислого газа от каждого источника и его технические характеристики. При этом определение выбросов парниковых газов от передвижных источников должно учитываться по категориям транспорта (тепловозы, паровозы, газотурбовозы, вагоны пассажирские локомотивной тяги, рельсовые автобусы, автомотрисы, специальный самоходный подвижной состав) с указанием видов движения (пассажирское, грузовое, маневровое, хозяйственное, пригородное) [15]. На основании этих данных можно выделить проблемные зоны, оценить соответствие производственных процессов наилучшим доступным технологиям, возможность реализации современных подходов в области повышения энергоэффективности и энергосбережения, направления для реализации инновационных проектов.

Помимо разработки и развития масштабных инвестиционных проектов, в рамках программы по снижению выбросов углекислого газа могут реализоваться организационные, технологические, природоохранные мероприятия, в том числе ресурсосберегающие и мероприятия по повышению энергоэффективности. Для отбора приоритетных направлений должна быть сформирована система ключевых показателей, которые позволят оценить финансовые, экологические, энергетические и иные эффекты, представленные в таблице 6, и выбрать наиболее эффективные мероприятия. Это позволит сформировать комплексную эффективную программу по борьбе с негативными выбросами.

Таблица 6. Эффекты в железнодорожной отрасли от реализации мероприятий по снижению парниковых газов [57]

Вид эффекта	Составляющая эффекта
Энергетический эффект	<ul style="list-style-type: none"> - снижение углеродоемкости железнодорожных перевозок; - повышение энергоэффективности объектов теплогенерации; -повышение экономичности потребления топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике; - снижение потерь электроэнергии и повышение эффективности электросетевого комплекса; - увеличение доли возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе.

Финансовый эффект	<ul style="list-style-type: none"> - сокращение доли энергетических затрат в себестоимости железнодорожных перевозок; - снижение платежей за энергоресурсы; - сокращение издержек вследствие снижения потерь энергоресурсов; - повышение финансовых результатов вследствие улучшения показателей использования локомотивного парка и совершенствования технологии управления движением поездов.
Экологический эффект	<ul style="list-style-type: none"> - сокращение выбросов парниковых газов вследствие экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов; - снижение негативной антропогенной нагрузки.
Социальный эффект	<ul style="list-style-type: none"> - повышение ответственности за эффективное использование ресурсов; - развитие корпоративной культуры и системы мотивации.

Эффективное внедрение отобранных мероприятий должно включать также обучение и повышение уровня квалификации и компетенций сотрудников компании по вопросам экологической безопасности и охраны окружающей среды, а также развитие системы отраслевых и корпоративных технических стандартов, регламентов, положений и методик, содержащих обязательные требования экологической безопасности.

В рамках формирования мониторинга могут применяться современные цифровые технологии на базе автоматизированных информационных систем, повышающие эффективность управления негативными выбросами. Такая система включает в себя следующие элементы:

- создание цифровой карты объектов;
- визуализация источников выбросов на цифровой карте;
- паспортизация источников выбросов;
- автоматический сбор данных;
- система оповещения;
- анализ данных и формирование отчетности [57, 76].

Применение интеллектуальных систем позволит получать объективную информацию о выбросах парниковых газов, верифицировать полученные данные, формировать и предоставлять отчетность. Полученная информация может быть использована для разработки и реализации корпоративной стратегии низкоуглеродного развития, корректировки технологических режимов работы технических средств и объектов теплогенерации, повышения энергоэффективности перевозочной деятельности и в других направлениях [34].

Таким образом, реализация государственной стратегии низкоуглеродного развития в железнодорожной отрасли требует внедрения системы управления парниковыми выбросами, которая позволит более эффективно вести природоохранную деятельность и выработать стратегию по снижению выбросов парниковых газов. Особое внимание следует уделить разработке методики расчета выбросов углекислого газа с учетом специфики железнодорожных перевозок и рассмотреть возможность оценки косвенных выбросов Scope 3.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

2.1. Особенности нормативно-правового законодательства в области расчета углеродного следа

В настоящее время в Российской Федерации ведется интенсивная работа по созданию условий для перехода к низкоуглеродной экономике. В принятой в 2023 году Климатической доктрине сформирована цель на достижение баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением к 2060 году. В связи с этим в Федеральном законе № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов», утверждены меры, которые направлены на ограничение выбросов парниковых газов. Среди них государственный учет выбросов парниковых газов, установление целевых показателей сокращения негативного влияния выбросов, поддержка деятельности организаций по реализации климатических проектов, создание реестра углеродных единиц и др. В настоящий момент, утверждение целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов для отраслей экономики находится в разработке, но в проекте операционного плана реализации стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов для железнодорожного транспорта количество выбросов установлено на уровне 9 млн CO₂ – экв. [108]. При этом в настоящий момент выбросы парниковых газов от деятельности ОАО «РЖД» составляют более 35 млн. тонн CO₂ – экв. Следует отметить, что в отчетности ОАО «РЖД» учитываются как прямые выбросы Score 1, так и косвенные выбросы Score 2 [103].

Для повышения эффективности регулирования выбросами парниковых газов на предприятиях рационально предварительно оценивать углеродный след производимой продукции или предоставляемых услуг. Оценка углеродного следа в железнодорожной отрасли позволяет решить следующие задачи:

- оценить экологическое воздействие при осуществлении железнодорожных перевозок как на уровне предприятия в целом, так и в отдельных подразделениях;

- оптимизировать транспортные процессы, за счет выявления наиболее энергоэффективных маршрутов, технологий и технических решений, в том числе при переходе на альтернативные виды топлива;

- повысить информационную прозрачность для потребителей и партнеров;

- оценить долю выбросов парниковых газов от транспортных процессов в углеродном следе товара. В дальнейшем данные расчеты могут быть использованы для оценки выбросов Scope 3 [55];

- актуализировать и разработать стратегию устойчивого развития компании с учетом долгосрочных целей по снижению углеродного следа и наиболее перспективных направлений для этого;

- обосновывать предоставление налоговых льгот и субсидий в результате внедрения более эффективных технологий, электрификации или использования альтернативных источников энергии;

- разрабатывать стандарты и сертификации «зеленых» перевозок на основе данных об углеродном следе;

- сформировать систему мотивации для подразделений и дочерних компаний, снижающих свой углеродный след и внедряющих экологически ответственные практики в свою деятельность [41, 74].

При разработке методики оценки углеродного следа необходимо ориентироваться на актуальное нормативно-правовое законодательство в области регулирования выбросами парниковыми газами.

В таблице 7 представлен перечень законодательных актов, который позволяет выработать критерии для оценки углеродного следа при железнодорожных перевозках.

Таблица 7. Перечень нормативно-правовых актов в области регулирования парниковыми газами [1, 15, 21, 22, 25]

№	Название нормативно-правового акта	Характеристика нормативно-правового акта в рамках разработки методики оценки углеродного следа
1.	Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»	<p>В ст. 2 представлено определение термина «углеродный след», которое относит его к количественному понятию, т.е. которое можно измерить. При этом можно выделить следующие моменты:</p> <ul style="list-style-type: none"> - учитываются не только выбросы парниковых газов, но и их поглощения; - в общий объем выбросов включены как прямые (образуемые в результате осуществления хозяйственной и иной деятельности), так и косвенные выбросы углекислого газа (связанные с потреблением энергоресурсов).
2.	Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 14050-2023 «Экологический менеджмент. Словарь» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 сентября 2023 г. N 937-ст)	<p>В стандарте в п.3.11 представлена совокупность терминов, относящихся к углеродному следу продукции. В определениях отмечается, что оценка углеродного следа рассчитывается в единицах CO₂ – эквивалента. Таким образом, все выбросы парниковых газов должны быть приведены к единым условным единицам.</p> <p>Показатель включает в себя оценку всего жизненного цикла продукции. Но необходимо отметить, что также введен термин «частный углеродный след продукции», который учитывает выбросы парниковых газов, связанные только с одним или несколькими этапами жизненного цикла. Также в стандарте введено понятие «углеродная компенсация».</p>

3.	ГОСТ Р 57262-2016/EN 16258:2012 «Экологический менеджмент. Расчет и декларирование энергопотребления и выбросов парниковых газов при предоставлении транспортных услуг»	<p>В ГОСТе представлены требования к расчету потребления энергии и выбросов парниковых газов при предоставлении транспортных услуг. Алгоритм расчета для конкретный услуги включает в себя три этапа: идентификацию транспортных этапов, расчет потребления энергии и выбросов парниковых газов на каждом этапе и в дальнейшем объединение результатов.</p> <p>Распределение выбросов по грузам и пассажирам осуществляют по показателям транспортной активности.</p> <p>Также в стандарте выделены процессы, которые не учитываются расчете энергопотребления и выбросов парниковых газов при предоставлении транспортных услуг.</p>
4.	Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»	<p>В методике представлены подходы к количественной оценке прямых выбросов парниковых газов, в том числе от сжигания моторного топлива железнодорожного подвижного состава, и косвенных.</p> <p>Отмечается, что расчет выбросов должен осуществляться как по категориям транспорта, так и по видам движения: пассажирское, грузовое, маневровое, хозяйственное, пригородное.</p> <p>Из количественного определения выбросов парниковых газов в организации исключаются источники выбросов, которые суммарно составляют менее 5% в год от суммарных выбросов в организации, но не более 50 тыс. т CO₂-эквивалента / год.</p>

5.	ГОСТ Р ИСО 14067-2021 «Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению»	Исследование по оценке углеродного следа продукции должно состоять из четырех этапов: - определение цели и области исследования; - инвентаризационный анализ жизненного цикла для углеродного следа продукции; - оценка воздействия жизненного цикла продукции; - интерпретация полученных значений углеродного следа.
----	--	--

Анализ нормативно-правового законодательства, показал, что определение термина «углеродный след» в ФЗ-296 отличается от определения «углеродного следа продукции», представленного в серии ГОСТ Р ИСО 14000. Однако в обоих случаях под углеродным следом понимается количественный объем выбросов парниковых газов с учетом их поглощений. В ФЗ-296 рассматривается объем выбросов, образующихся в ходе производства продукции либо в ходе оказания услуг, а в серии ГОСТ Р ИСО 14000 оценка выбросов проводится на всех этапах жизненного цикла продукции от приобретения сырья до окончательной утилизации продукции. При этом под продукцией в ГОСТ Р ИСО 14067-2021 понимаются также оказываемые услуги, в том числе по транспортировке.

В авторской методике оценка углеродного следа при транспортировке будет рассматриваться в рамках процессов ОАО «РЖД» по оказанию услуг железнодорожных перевозок. Следует выделять услуги по осуществлению грузовых перевозок и услуги по осуществлению пассажирских перевозок.

Осуществление услуги по грузовой перевозке включает в себя ряд процессов представленных на рисунке 8. С точки зрения образования выбросов парниковых газов, их можно подразделить на четыре группы:

1. Процессы, связанные с планированием перевозок и документальным обеспечением на этапе взаимодействия с отправителем и грузополучателем. В данном случае образуются косвенные выбросы парниковых газов, связанные с потреблением электричества для работы компьютерной и сервисной техники, электронного и офисного оборудования.

2. Разгрузочно-погрузочные работы. В зависимости от типа и массы груза могут использоваться различные виды грузоподъемной техники, например машины непрерывного действия: конвейера, транспортеры, элеваторы; машины периодического действия: краны, погрузчики, механические тележки; машины комбинированного действия; вспомогательные средства: бункеры, силосы, рыхлители смерзших грузов и др. Данное оборудование может работать с использованием различных видов топлива. В случае если используется углеводородное топливо, то на этих этапах будут образовываться прямые выбросы парниковых газов, если оборудование работает от электрического привода или от электрических батарей, то тогда образуются косвенные выбросы парниковых газов [33].

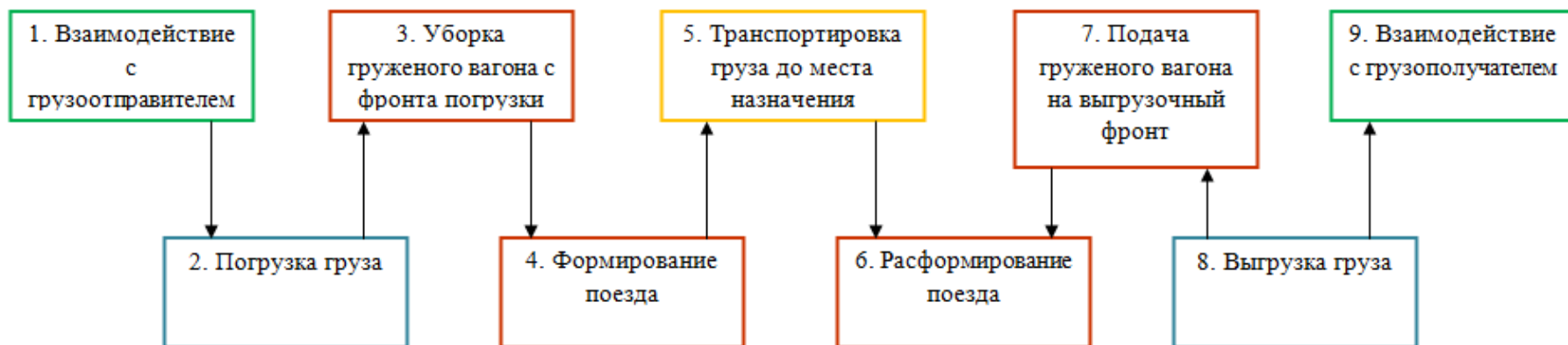
3. Маневренная работа локомотивов, включает в себя перемещение вагонов в соответствии с установленным технологическим процессом. Можно выделить ряд задач, которые решают маневренные локомотивы:

- формирование и расформирование состава;
- подача вагонов к местам погрузки и разгрузки;
- поставка порожних вагонов и уборка груженых вагонов и др.

Следует отметить, что большинство маневренных локомотивов являются тепловозами и их деятельность приводит к прямым выбросам парниковых газов. Однако, в настоящий момент разрабатываются и используются тепловозы на альтернативных видах топлива:

- маневренные гибридные тепловозы ТЭМ9Н, ТЭМ5Х, ЛГМ -1-001, применяющие совместно двигатель внутреннего сгорания и электрический двигатель, либо аккумуляторные батареи [93];
- маневренный тепловоз ТЭМ18 СПГ, использующий в качестве моторного топлива сжиженный природный газ (проходит испытания) [96].

В случае с гибридными локомотивами необходимо учитывать наряду с прямыми выбросами парниковых газов также косвенные выбросы от затраченной электроэнергии электрического двигателя или электричества необходимого для заряда аккумуляторной батареи.



 - косвенные выбросы парниковых газов, связанных с потреблением электроэнергии, необходимой для работы серверов, дата-центров и электронных устройств (компьютеров, офисной техники)

 - прямые выбросы парниковых газов от специализированной техники

 - прямые и косвенные выбросы парниковых газов от маневренных локомотивов

 - прямые и косвенные выбросы парниковых газов от грузовых локомотивов

Рис. 8. Процессы осуществления услуги по грузоперевозки [111]

4. Процесс транспортировки является основным источником выбросов парниковых газов. Грузовые железнодорожные перевозки в первую очередь зависят от дизельного топлива, хотя наблюдается растущая тенденция к изучению альтернативных и применению более экологичных вариантов, таких как биодизельное топливо, дизель-гибридные технологии и технологии водородных топливных элементов. В России альтернативные локомотивы пока находятся в стадии разработки и испытаний, в связи с этим основной упор в развитии локомотивной тяги делается на электрификацию железных дорог и использование дизельных тепловозов.

Таким образом, при применении углеводородного топлива следует учитывать прямые выбросы от тепловозов и косвенные выбросы парниковых газов от электровозов.

В случае предоставления услуг по перевозке пассажиров можно выделить два процесса, которые формируют углеродный след:

- предоставление информационно-консультационных услуг и услуг по приобретению билетов. Пассажиры могут воспользоваться широким спектром электронных сервисов или приобрести проездной билет в кассе на железнодорожных станциях или вокзале. В любом случае следует учитывать косвенные выбросы парниковых газов, которые образуются в результате потребления электричества для поддержания работы ИТ – инфраструктуры и компьютерной и офисной техники сотрудников;

- процесс перевозки пассажира. Здесь необходимо выделять поездки дальнего следования, при которых перевозка осуществляется на расстояние свыше 150 км и на пригородное сообщение, в рамках которого поезда курсируют на расстояния не более 200 км [98]. Основным видом топлива для магистральных пассажирских поездов в настоящее время является дизельное топливо, однако на части пути, где есть контактная сеть, движение может быть обеспечено с помощью электротяги. Пригородное сообщение представлено также электровозами и тепловозами. В 2026 году на Сахалине планируется запустить пригородный поезд на водородных батареях, также в

пригородном сообщении применяются гибридные локомотивы ДТ1. Таким образом, в зависимости от категории транспорта, который используется при железнодорожной перевозке, следует учитывать прямые или косвенные выбросы парниковых газов.

В целом для эффективной оценки углеродного следа транспортную услугу следует рассматривать как последовательность элементов, связанных с перевозкой пассажиров и грузов из пункта отправления в пункт назначения. В стандарте ISO 14083:2023 отмечается, что важно учитывать все транспортные операции, в том числе в транспортных узлах транспортной цепочки. Это значит, что в рамках железнодорожных перевозок важно также учитывать помимо перечисленных выбросов парниковых газов, также выбросы в результате:

- обработки багажа, перевозимого пассажирами;
- оборудования для хранения товаров;
- технического оснащения (освещение, отопление, кондиционирование) зданий вокзалов и платформ и др. [64]

При этом в стандарте ISO 14083:2023 и в ГОСТе Р 57262-2016 выделены процессы, выбросы от которых не следует включать в оценку углеродного следа при предоставлении транспортных услуг:

- производство, техническое обслуживание и утилизация транспортных средств, а также транспортной и узловой инфраструктуры;
- процессы административного уровня в организациях, задействованных в транспортных услугах;
- выбросы от предприятий, расположенных в транспортном узле (например, розничная торговля), которые не нужны для предоставления транспортных услуг;
- процессы, связанные с кратковременным сопровождением транспортного средства по соображениям безопасности или работой вспомогательных средств управления движением;

- прямые выбросы парниковых газов в результате утечек, например охлаждающего агента или природного газа, в транспортном средстве [24, 118].

В ФЗ-296 отмечается необходимость учитывать в углеродном следе выбросы парниковых газов Scope 1 и Scope 2. Как отмечено выше, основными источниками прямых выбросов при осуществлении железнодорожных перевозок являются двигатели внутреннего сгорания дизельных локомотивов и тепловозов. В результате сжигания топлива образуется только один вид парниковых газов - углекислый газ.

При транспортировке по электрифицированным железнодорожным путям прямые выбросы Scope 1 отсутствуют, но следует учитывать объем потребленной энергии, затраченный на осуществление услуг по перевозке. Потребленная электроэнергия чаще всего закупается в сторонних организациях и для оценки выбросов требуется информация о способе выработки энергии, типе и характеристике топлива и другие данные. Также при оценке углеродного следа при применении альтернативных источников энергии и альтернативных видов топлива, необходимо учитывать технологический процесс их получения и характеристики топлива, которые были применены [26].

С учетом требований Приказа Минприроды России № 371 расчет объемов выбросов парниковых газов для каждой категории железнодорожного транспорта проводится отдельно. В таблице 8 представлены необходимые данные, которые будут применяться в методике по расчету углеродного следа в зависимости от разных категорий транспорта, в том числе работающих на альтернативных источниках энергии.

Таблица 8. Учитываемый охват и данные, необходимые для расчета объемов выбросов парниковых газов, для разных категорий железнодорожного транспорта [55]

Категория транспорта	Учитываемый охват парниковых газов	Требуемые данные для расчета объемов выбросов углекислого газа
Дизельные локомотивы	Score 1	Расход дизельного топлива и его характеристики сжигания.
Тепловозы	Score 1	Расход дизельного топлива и его характеристики сжигания.
Биодизельные локомотивы	Score 1	Расход биодизельного топлива и его характеристики сжигания.
Электрические локомотивы	Score 2	Расход потребленной электроэнергии, информация о ее способе выработке и характеристики сжигания применяемого топлива.
Двухрежимные дизель – электрические локомотивы	Score 1 – Score 2	Расход дизельного топлива и его характеристики сжигания. Расход потребленной электроэнергии, информация о ее способе выработке и характеристики применяемого топлива.
Локомотивы с аккумуляторными батареями	Score 2	Расход потребленной электроэнергии на зарядку аккумуляторных батарей и информация о способе выработки электроэнергии и характеристики применяемого топлива.
Гибридные локомотивы с аккумуляторными батареями	Score 1 с Score 2	Расход дизельного топлива и его характеристики сжигания. Расход потребленной электроэнергии на зарядку аккумуляторных батарей, информация о способе выработки электроэнергии и характеристики применяемого топлива.

Локомотивы, работающие на сжиженном природном газе	Score 1	Расход сжиженного природного газа и его характеристики сжигания.
Локомотивы с водородными топливными элементами	Score 2	Расход водородного топлива, данные о способе получения водорода и характеристики сжигания применяемого топлива.

Следует отметить, что в зависимости от цели расчета углеродного следа, могут применяться данные на основе фактического расхода топлива и его реальных характеристик, либо результаты расчетов на основе прямых измерений, в случае необходимости прогнозной оценки снижения углеродного следа при внедрении энергосберегающих технологий и технических решений. В первом случае требуется определение принадлежности выброса углекислого газа, произведенного передвижным источником.

В Приказе Минприроды России № 371 рекомендуется использовать следующий подход:

- для тягового подвижного состава - по депо приписки локомотивных бригад, эксплуатирующих этот подвижной состав;

- для самоходного специализированного подвижного состава - по структурному подразделению приписки машинистов (операторов), эксплуатирующих этот подвижной состав;

- для прочих технических средств - по их балансовой принадлежности [15].

В качестве первичной документации на российском железнодорожном транспорте может быть использована первичная документация, такая как:

- форма статистической отчетности ТХО-125;
- инструкции по учету топливно-энергетических ресурсов (форма ТХУ -3);

- формы ТУ-152 и акт формы ТУ-162;
- на основе данных непрерывного измерения расхода топлива и др.

Для преобразования потребленного топлива или электричества в количественный показатель выбросов парниковых газов, необходимо использовать данные о типе топлива, низшей теплотворной способности, плотности (для всех жидких видов топлива) и информации о биотопливной смеси (в % энергосодержания). Такие данные можно взять из паспортов качества на топливо, технической литературы, справочников по материалам и энергетике [55,82].

Полученные значения выбросов парниковых газов являются основой для расчета углеродного следа. На основе анализа нормативно-правового законодательства можно выделить составляющие углеродного следа при предоставлении транспортных услуг на железной дороге, которые представлены в таблице 9.

Таблица 9. Составляющие углеродного следа при осуществлении железнодорожных перевозок (составлено автором)

Грузовые перевозки	Пассажирские перевозки
1. косвенные выбросы парниковых газов в результате потребления электричества для работы ИТ – инфраструктуры и компьютерного и офисного оборудования	
2. прямые и косвенные выбросы парниковых газов в результате погрузочно-разгрузочных работ	2. прямые и косвенные выбросы парниковых газов в результате расхода энергоносителей на техническое оснащение зданий вокзалов и платформ
3. прямые и косвенные выбросы парниковых газов в результате маневренных работ	3. прямые и косвенные выбросы парниковых газов от процесса транспортировки в зависимости от категории транспорта
4. прямые и косвенные выбросы парниковых газов от процесса транспортировки в зависимости от категории транспорт	

Следует учитывать, что элементы углеродного следа, которые не относятся непосредственно к процессу транспортировки, по данным ОАО «РЖД» являются источниками менее 5% парниковых выбросов. Учитывая, что в отдельных случаях не всегда есть возможность данные выбросы соотнести с конкретным грузом или пассажиром, учет их в оценке углеродного следа не всегда будет целесообразным. В таком случае расчет углеродного следа будет проводиться только с учетом выбросов от процесса транспортировки.

Однако в случае, если углеродный след рассчитывается для получения усредненных значений выбросов парниковых газов от отдельных категорий локомотивов за какой - либо определенный период, либо в целом от деятельности организации, в таком случае использование дополнительных элементов позволит получить более объективные показатели.

В дальнейшем распределение выбросов по грузам и пассажирам должно осуществляться по показателям транспортной активности. В случае перевозки пассажиров его определяют путем перемножения количества пассажиров на расстояние их перевозки. В ГОСТ Р 57262-2016/EN 16258:2012 допускается расчет транспортной активности с использованием других показателей, связанный с числом пассажиров или количеством поездок. В отдельных случаях могут применяться показатели пассажирооборота и пассажиропотока.

При оценке грузовой транспортной активности, количественной характеристикой груза чаще всего является его масса, но могут применяться и другие количественные параметры (объем, число паллет, контейнеров и др.). Данный показатель умножается на реальное пройденное расстояние груза [55].

Следует отметить, что распределение выбросов на основе транспортной активности является подходом, который используется в серии стандартов ISO 14000. Однако существуют и другие методики, которые основываются на других концепциях, таких как:

- многомерные методы распределения мощности;
- теоретико-игровые подходы к распределению;

- распределение ограниченных ресурсов в цепочке поставок на основе пропорционального расстояния и т.д. [74].

В разрабатываемой методике будет использоваться стандартный подход на основе транспортной активности.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, что углеродный след в рамках железнодорожной деятельности является количественным показателем, который отражает массу выброшенных парниковых газов в результате осуществления грузовой или пассажирской железнодорожной перевозки. При этом следует также учитывать выбросы, которые образуются от сопутствующих процессов. Для пассажирских перевозок это выбросы, образованные в результате технического оснащения здания вокзала и станций и в результате работы оборудования и аппаратуры для обеспечения информационно-коммуникационной деятельности. Для грузовых перевозок следует учитывать выбросы от погрузочно-разгрузочных работ, а также от маневренных локомотивов.

Законодательство в области регулирования парниковыми газами требует учитывать не только прямые выбросы от сжигания углеродного топлива в тепловозах (Score 1), но также выбросы от потребленной энергии от сторонних организаций, затраченной на осуществление услуг по перевозке (Score 2). В настоящий момент основной упор в развитии локомотивной тяги делается на электрификацию железных дорог и использование дизельных тепловозов [44]. Однако, существуют разработки и проводятся отдельные испытания по использованию локомотивов на альтернативных источниках энергии. В связи с этим, расчет выбросов парниковых газов следует вести с разграничением по различным категориям поездов. При внедрении новых локомотивов на альтернативных источниках энергии расчет углеродного следа позволит оценить экологичность опытных образцов и целесообразность их внедрения для регулярного использования.

Следует отметить, что расчет выбросов Score 3 и включение их в оценку углеродного следа в настоящий момент как зарубежным, так и российским

законодательством не предусмотрено, так как отсутствуют утвержденные методики.

В стандарте ISO 14083:2023 и в ГОСТе Р 57262-2016 предусмотрено распределение выбросов парниковых газов по перевезенным пассажирам и грузам. Для этого применяется показатель транспортной активности, который в обоих документах рассчитывается аналогично: перемножением количества пассажиров на пройденное расстояние в случае пассажирских перевозок, или массы груза на пройденное расстояние в случае грузоперевозок.

Углеродный след может стать одним из эффективных инструментов управления выбросами парниковых газов на железнодорожном предприятии. Среди задач, которые могут быть решены, можно выделить совершенствование транспортных процессов за счет выявления наиболее энергоэффективных маршрутов. На основании полученных данных могут быть сформированы карты углеродного следа, которые в дальнейшем могут быть использованы для анализа и выявления факторов, оказывающих влияние на углеродный след при железнодорожных перевозках.

2.2. Формирование методики расчета выбросов парниковых газов при осуществлении железнодорожных перевозок

Определение количества выбросов парниковых газов при осуществлении железнодорожных перевозок является важной задачей при расчете углеродного следа.

При осуществлении железнодорожных перевозок необходимо учитывать прямые и косвенные выбросы парниковых газов. Прямые выбросы образуются в результате использования категорий локомотивов, которые в качестве топлива применяют углеводородные виды топлива.

Для расчета выбросов парниковых газов применяют следующую формулу:

$$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j = R_{\text{перев}}^j * EF^j, \quad (1)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 ;

$R_{\text{перев}}^j$ – расход топлива вида j транспортным средством за поездку, тонн;

EF^j - коэффициент выбросов CO_2 при использовании на транспортном средстве топлива вида j , т $\text{CO}_2/\text{т}$.

В случае если в организации учет потребления топлива осуществляется в объемных единицах, то при оценке выбросов должна учитываться его плотность. В таком случае формула расчета выбросов парниковых газов будет иметь следующий вид:

$$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j = R_{\text{перев}}^j * EF^j * \rho^j * 10^{-3}, \quad (2)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 ;

$R_{\text{перев}}^j$ – расход топлива вида j транспортным средством за поездку, л;

EF^j - коэффициент выбросов CO_2 при использовании на транспортном средстве топлива вида j , т $\text{CO}_2/\text{т}$.

ρ^j - плотность топлива, принимаемая в соответствии с таблицей 2.4, кг/л;

10^{-3} – коэффициент пересчета.

Таблица 10. Коэффициенты выбросов CO_2 при сжигании топлива, а также плотность разных топлив [15]

Вид топлива	Коэффициент выбросов (EF)			Плотность, кг/л
	т CO_2 /т, тыс. м ³	кг/ ТДж	кг/ т.у.т.	
Бензин А-76 (АИ-80)	3,026	69 300	2 031	0,715
Бензин АИ-92	3,026	69 300	2 031	0,735
Бензин АИ-93	3,026	69 300	2 031	0,745
Бензин АИ-95	3,026	69 300	2 031	0,750
Бензин АИ-98	3,026	69 300	2 031	0,765

Дизельное топливо летнее	3,149	74 100	2 172	0,860
Дизельное топливо зимнее	3,149	74 100	2 172	0,840
Дизельное топливо арктическое	3,149	74 100	2 172	0,830
Сжиженный нефтяной газ (СНГ) (пропан)	2,903	63 100	1 849	0,528 (при температуре 0°C)
Сжиженный нефтяной газ СНГ (изобутан)	2,903	63 100	1 849	0,528 (при температуре 0°C)
Сжиженный нефтяной газ СНГ (н-бутан)	2,903	63 100	1 849	0,601 (при температуре 0°C)
Компримированный природный газ (КПГ)	1,840	54 400	1 594	0,668 (при температуре 0°C)
Сжиженный природный газ (СПГ)	2,710	54 400	1 597	0,424 (при температуре 0°C)

Коэффициент EF^j принимается в соответствии с таблицей 10 в зависимости от вида топлива. В случае применения альтернативных видов топлива, данные по которым отсутствуют в таблице (например, биодизельное топливо) для расчета выбросов парниковых газов необходимо получить информацию о низшей теплоте сгорания топлива и ряд других характеристик. В качестве исходных документов могут выступать договора и акты поставки топлива, сертификаты и паспорта качества топлива, а также результаты лабораторных тестов [52].

Формула расчета в данном случае будет иметь следующий вид:

$$M_{CO_2, \text{перев}}^j = R_{\text{перев}}^j * K_1 * NCV * K_2 * (44/12), \quad (3)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j на железнодорожном транспорте за поездку, тонн CO_2 ;

$R_{\text{перев}}^j$ – расход топлива вида j транспортным средством за поездку, тонн;

K_1 - коэффициент, учитывающий выход углерода из топлива при сгорании;

NCV - низшая теплота сгорания топлива ТДж /т;

K_2 - коэффициент, учитывающий полноту сгорания топлива т С/ТДж;

44/12 - соотношение молекулярных масс CO_2 и углерода.

В случае если железнодорожная перевозка производится электровозом или локомотивом на альтернативных источниках энергии без сжигания углеводородного топлива, но с потреблением электрической энергии, необходимо рассчитать косвенные выбросы парниковых газов.

Для оценки косвенных выбросов применяется коэффициент косвенных энергетических выбросов. В настоящее время при расчетах применяется усредненный коэффициент для всей страны, полученный разными источниками на основе различных методик расчета. Для получения корректного значения КЭВ, которое будет с высокой точностью соответствовать той энергии, которую потребляет организация, необходимо проводить отдельные расчеты, что не всегда представляется возможным [48].

В случае если энергоснабжающая компания не может предоставить информацию о коэффициентах пересчета косвенных выбросов, либо в случае отсутствия официальных опубликованных данных или их недостаточной детализации, углеродоемкость электроэнергии и тепловой энергии определяется на основе регионального метода количественного определения коэффициента косвенных выбросов парниковых газов. Указанный расчет предусматривает использование следующей информации:

- данных о распределении потребления на региональные энергосистемы;

- ежегодной официально публикуемой информацией Росстата о фактическом расходе электроэнергии, тепловой энергии и топлива на единицу отдельных видов произведенной продукции и услуг;

- данных официальной информации о «балансах электрической энергии и мощности ЕЭС России», публикуемой АО «Системный оператор Единой энергетической системы» [16].

Данный подход позволяет учитывать характеристики генерирующих объектов регионов и учитывает не только типы станций, но и вид сжигаемого топлива, удельный расход условного топлива, участие станции в региональном балансе выработки энергии и другие факторы.

Для расчета косвенных выбросов парниковых газов от передвижных источников можно применять следующую формулу:

$$M^{\text{косв}}_{\text{CO}_2, \text{перев}} = R^{\text{эл}}_{\text{перев}} * KЭВ_{\text{перед}}, \quad (4)$$

где:

$M^{\text{косв}}_{\text{CO}_2, \text{перев}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 ;

$R^{\text{эл}}_{\text{перев}}$ – расход электроэнергии, потраченный локомотивом за поездку, МВт*ч;

$KЭВ_{\text{перед}}$ – коэффициент косвенных энергетических выбросов для подвижного электрифицированного состава, принимаемый по таблице 11, т CO_2 / МВт*ч.

Таблица 11. Коэффициенты косвенных энергетических выбросов для подвижного электрифицированного состава

Территориальный Филиал железной дороги	Принадлежность к ОЭС	Коэффициент КЭВ при потреблении энергии, т CO_2 /МВт*ч	Среднее значение КЭВ, т CO_2 /МВт*ч
Восточно-Сибирская железная дорога	ОЭС Сибири	0,342	0,342

Горьковская железная дорога	ОЭС Центра	0,264	0,330
	ОЭС Средней Волги	0,227	
	ОЭС Урала	0,499	
Дальневосточная железная дорога	ОЭС Востока	0,482	0,482
Забайкальская железная дорога	ОЭС Востока	0,482	0,412
	ОЭС Сибири	0,342	
Западно-Сибирская железная дорога	ОЭС Сибири	0,342	0,342
Калининградская железная дорога	ОЭС Северо- Запада	0,261	0,261
Красноярская железная дорога	ОЭС Сибири	0,342	0,342
Куйбышевская железная дорога	ОЭС Центра	0,264	0,330
	ОЭС Средней Волги	0,227	
	ОЭС Урала	0,499	
Московская железная дорога	ОЭС Центра	0,264	0,264
Октябрьская железная дорога	ОЭС Северо- Запада	0,261	0,262
	ОЭС Центра	0,264	
Приволжская железная дорога	ОЭС Юга	0,239	0,233
	ОЭС Средней Волги	0,227	
Свердловская железная дорога	ОЭС Урала	0,499	0,499
Северо-Кавказская железная дорога	ОЭС Юга	0,239	0,239
Северная железная дорога	ОЭС Северо- запада	0,261	0,261
Юго-Восточная железная дорога	ОЭС Центра	0,264	0,245
	ОЭС Средней Волги	0,227	
Южно-Уральская железная дорога	ОЭС Урала	0,499	0,499

В случае использования гибридных локомотивов, использующих смешанные подходы в организации локомотивной тяги, суммарный выброс парниковых газов от перевозки будет рассчитываться по следующей формуле:

$$M_{\text{CO}_2, \text{перев}} = M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j + M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}}, \quad (5)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}$ – суммарный выброс парниковых газов от передвижных источников в результате железнодорожной перевозки, т CO_2 ;

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j на железнодорожном транспорте за поездку, тонн CO_2 ;

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 .

Также необходимо отметить, что в настоящий момент проводятся испытания поездов на водородных батареях. Существуют различные подходы к получению водородного топлива:

1. Методом электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии (зеленый водород). В данном случае выбросов CO_2 в атмосферу не происходит, поэтому данный способ считается самым экологически чистым. Однако, применяется редко из-за больших финансовых инвестиций, что делает его нерентабельным по сравнению с другими видами топлива и другими подходами получения водорода.

2. Из природного газа методом паровой метановой конверсии. Возможен вариант также с улавливанием выбросов CO_2 и их дальнейшем захоронении.

3. Пиролиза метана с образованием твердого угля, без образования выбросов парниковых газов.

4. С помощью газификации из угля. Считается одним из самых неэкологичных способов получения водородного топлива [71].

В зависимости от способа получения водородного топлива и использования технологий улавливания и хранения углекислого газа процесс транспортировки либо может вообще не иметь косвенных выбросов парниковых газов, либо они будут рассчитываться по формуле:

$$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}} = R_{\text{перев}}^{\text{вод.}} * \text{КЭВ}^{\text{вод.}}, \quad (6)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа от локомотива на водородных батареях за поездку, т CO_2 ;

$R_{\text{перев}}^{\text{вод}}$ – расход водородного топлива, потраченный локомотивом за поездку, м^3 ;

$K_{\text{ЭВ}}^{\text{вод}}$ – коэффициент косвенных энергетических выбросов для подвижного состава на водородных элементах, т $\text{CO}_2/\text{м}^3$.

Данные о коэффициенте косвенных энергетических выбросов должны предоставить компании, которые производят и распределяют водородное топливо.

В случае если в процессе осуществления железнодорожной услуги происходит смена категории локомотива, например при дальних пассажирских перевозках на электрифицированных участках используются электровозы с последующей сменой их на тепловозы, суммарный выброс парниковых газов будет рассчитываться по формуле:

$$M_{\text{CO}_2, \text{перев}} = \sum M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^i, \quad (7)$$

где:

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}$ – выброс парниковых газов от транспортного процесса в результате железнодорожной перевозки, т CO_2 ;

$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^i$ – выброс парниковых газов от i категории транспорта, т CO_2 ;

Соответственно расчет выбросов парниковых газов от i категории транспорта за поездку будет включать в себя оценку прямых и косвенных выбросов. В таблице 12 обобщены данные по расчету выбросов углекислого газа от локомотивов разных категорий.

Таблица 12. Формулы расчета выбросов парниковых газов от разных категорий локомотивов

Категория локомотива	Формула расчета
Биодизельные локомотивы	$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^i = R_{\text{перев}}^i \cdot K_1 \cdot \text{NCV} \cdot K_2 \cdot (44/12)$ (8)

Дизельные локомотивы		$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j = R_{\text{перев}}^j \cdot EF^j$ или $M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j = R_{\text{перев}}^j \cdot EF^j \cdot \rho^j \cdot 10^{-3}$	(9) (10)
Тепловозы			
Локомотивы, работающие на сжиженном природном газе			
Электровазы		$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}} = R_{\text{перев}}^{\text{ЭЛ}} \cdot \text{КЭВ}_{\text{перед}}$	(11)
Локомотивы аккумуляторными батареями	с		
Двухрежимные дизель –электрические локомотивы		$M_{\text{CO}_2, \text{перев}} = M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j + M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}}$ где: $M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 (рассчитывается по формуле 9 или 10); $M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа на железнодорожном транспорте за поездку, т CO_2 (рассчитывается по формуле 11).	(12)
Гибридные локомотивы аккумуляторными батареями	с		
Локомотивы водородными топливными элементами	с	$M_{\text{CO}_2, \text{перев}}^{\text{КОСВ}} = R_{\text{перев}}^{\text{ВОД}} \cdot \text{КЭВ}^{\text{ВОД}}$	(13)

Помимо выбросов углекислого газа от процесса транспортировки, углеродный след может включать в себя выбросы от других сопутствующих процессов.

При осуществлении услуг по перевозке пассажиров, следует учитывать образование выбросов парниковых выбросов в результате:

1. расходов электроэнергии на информационно-коммуникационные технологии – $R_{\text{икт}}^{\text{ЭЛ}}$. В данном случае можно выделить косвенные выбросы парниковых газов, которые образуются в результате потребления

электричества для поддержания работы ИТ – инфраструктуры, включающую в себя серверные системы, базы данных, системы управления пользователями и устройствами, а также каналы связи для передачи данных.

2. расходов энергоносителей на техническое оснащение зданий вокзалов и платформ:

- освещение – $R_{\text{осв}}^{\text{эл}}$;
- кондиционирование – $R_{\text{кон}}^{\text{эл}}$;
- отопление – $R_{\text{отоп}}^{\text{тепл.энер./элек}}$.

В данном случае будут образовываться косвенные выбросы, которые наиболее удобно рассчитывать за определенный период. Расчет можно провести по формуле:

$$M_{\text{со2, сопут.}}^{\text{косв}} = R_{\text{икт.}}^{\text{эл}} * KЭВ_{\text{стац.}} + R_{\text{осв}}^{\text{эл}} * KЭВ_{\text{стац.}} + R_{\text{кон}}^{\text{эл}} * KЭВ_{\text{стац.}} + R_{\text{отоп.}}^{\text{тепл.энер./элек}} * KЭВ_{\text{стац.}} \quad (14)$$

где:

$M_{\text{со2, сопут.}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от сопутствующих процессов железнодорожной пассажирской перевозки, т CO_2 ;

$R_{\text{икт.}}^{\text{эл}}$ – расходы электричества на обеспечение работы ИТ – инфраструктуры и компьютерной и офисной техники, МВт*ч;

$R_{\text{осв}}^{\text{эл}}$ – расходы электричества на освещение вокзалов и железнодорожных станций за определенный период, МВт*ч;

$R_{\text{кон}}^{\text{эл}}$ – расходы электричества на кондиционирование вокзалов за определенный период, МВт*ч;

$R_{\text{отоп.}}^{\text{тепл.энер./элек}}$ – расходы электричества или тепловой энергии на отопление вокзалов за определенный период, МВт*ч или Гкал;

$KЭВ_{\text{стац.}}$ – коэффициент косвенных выбросов для стационарных потребителей электроэнергии, т $\text{CO}_2/\text{МВт*ч}$

Коэффициент косвенных энергетических выбросов для стационарных потребителей представлен в таблице 13, в которой энергетические системы объединены в укрупненные группы по территориальному признаку и в

зависимости от способа генерации энергии. Для более точных результатов расчета, организация может запросить данные по коэффициентам косвенных энергетических выбросов непосредственно в компании, предоставляющей энергетические ресурсы.

Таблица 13. Коэффициенты косвенных энергетических выбросов для стационарных потребителей электроэнергии, расположенных в субъектах РФ [95]

Объединенные энергетические системы	Коэффициент КЭВ при потреблении энергии, т CO ₂ /МВт*ч	Операционная зона охвата по регионам
ОЭС Востока	0,482	Амурская область, Хабаровский край Еврейская автономная область, Приморский края и Республики Саха (Якутия).
ОЭС Северо-Запада	0,261	г. Санкт-Петербург, области: Мурманская, Калининградская, Ленинградская, Новгородская, Псковская и Архангельская, республики Карелия и Коми, Ненецкий автономный округ.
ОЭС Сибири	0,342	республика Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия; Алтайский, Забайкальский и Красноярский край; Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская области.
ОЭС Средней Волги	0,227	Республика Марий Эл, энергосистема Республики Мордовия, области: Нижегородская, Пензенская, Самарская, Саратовская, Республика Чувашия, Ульяновская область, Республики Татарстан.
ОЭС Урала	0,499	Республика Башкортостан и Удмуртская Республика, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО, Пермский край, Кировская, Оренбургская, Свердловская, Курганская, Тюменская и Челябинская области.

ОЭС Центра	0,264	г. Москва; Белгородская, Владимирская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Костромская, Курская, Орловская, Липецкая, Рязанская, Брянская, Калужская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Ярославская и Московская область.
ОЭС Юга	0,239	Республика Адыгея, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Калмыки, Карачаево-Черкесия, Крым, Северная Осетия-Алания и Чеченская республики; Краснодарский и Ставропольский край; Астраханская, Ростовская, Волгоградская области и город Севастополь.

Таким образом, суммарный выброс парниковых газов при предоставлении услуг по пассажироперевозке будет рассчитываться по формуле:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{пасс.перев.}} = M_{\text{CO}_2, \text{перев.}} + M_{\text{CO}_2, \text{сопут.}}^{\text{косв}} \quad (15)$$

где:

$M_{\text{CO}_2}^{\text{пасс.перев.}}$ – суммарный выброс парниковых газов при предоставлении услуг по пассажироперевозке с учетом выбросов от сопутствующих процессов, т CO_2 ;

$M_{\text{CO}_2, \text{перев.}}$ – выброс парниковых газов от передвижного источника в результате железнодорожной перевозки, т CO_2 (рассчитывается в соответствии с формулами из таблицы 12 в зависимости от категории локомотива);

$M_{\text{CO}_2, \text{сопут.}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от сопутствующих процессов железнодорожной пассажирской перевозки, т CO_2 ;

При осуществлении услуг по перевозке грузов следует учитывать образование прямых и косвенных выбросов от следующих процессов:

1. Планирование грузоперевозки и обеспечение документооборота при взаимодействии с грузоотправителем и грузополучателем. В данном случае следует учитывать расход электричества для обеспечения работы ИТ – инфраструктуры и компьютерного и офисного оборудования – $R_{\text{план}}^{\text{эл}}$. Расчет косвенных выбросов проводится по формуле:

$$M_{\text{co}_2, \text{ план.}}^{\text{косв}} = R_{\text{план}}^{\text{эл}} * KЭВ_{\text{стац.}}, \quad (16)$$

где:

$M_{\text{co}_2, \text{ план.}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от процессов Планирование грузоперевозки и обеспечение документооборота при взаимодействии с грузоотправителем и грузополучателем, т CO_2 ;

$R_{\text{план}}^{\text{эл}}$ – расходы электричества на обеспечение работы ИТ – инфраструктуры и компьютерной и офисной техники, $\text{МВт} * \text{ч}$;

$KЭВ_{\text{стац}}$ – коэффициент косвенных выбросов для стационарных потребителей электроэнергии, принимаемой в соответствии с таблицей 13, т $\text{CO}_2 / \text{МВт} * \text{ч}$.

2. Погрузочно-разгрузочные работы. В зависимости от вида используемых специализированных средств следует учитывать потребление углеводородного топлива – $R_{\text{прр}}^j$ или расход электроэнергии – $R_{\text{прр}}^{\text{эл}}$. В случае использования нескольких видов погрузочно-разгрузочной техники, объем израсходованного топлива можно суммировать по видам за определенный период времени. Прямые выбросы будут рассчитываться по формуле:

$$M_{\text{co}_2, \text{ прр}}^j = R_{\text{прр}}^j * EF^j, \quad (17)$$

где:

$M_{\text{co}_2, \text{ прр}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j при погрузочно-разгрузочных работах, т CO_2 ;

$R_{\text{прр}}^j$ – расход топлива вида j транспортным средством при погрузочно-разгрузочных работах, тонн;

EF^j - коэффициент выбросов CO_2 при использовании на транспортном средстве топлива вида j , т $\text{CO}_2 / \text{т}$.

В случае необходимости пересчета топлива из объемных единиц с использованием плотности, формула расчета выбросов парниковых газов будет иметь следующий вид:

$$M_{\text{co}_2, \text{ппр}}^j = R_{\text{ппр}}^j * EF^j * \rho^j * 10^{-3}, \quad (18)$$

где:

$M_{\text{co}_2, \text{перев}}^j$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j при погрузочно-разгрузочных работах, т CO_2 ;

$R_{\text{ппр}}^j$ – расход топлива вида j транспортным средством при погрузочно-разгрузочных работах, тонн;

EF^j - коэффициент выбросов CO_2 при использовании на транспортном средстве топлива вида j , т $\text{CO}_2/\text{т}$.

ρ^j - плотность топлива, принимаемая в соответствии с таблицей 10, кг/л;

10^{-3} – коэффициент пересчета.

Косвенные выбросы при погрузочно-разгрузочных работах рассчитываются на основании фактически потраченной электроэнергии по формуле:

$$M_{\text{co}_2, \text{ппр.}}^{\text{косв}} = R_{\text{ппр}}^{\text{эл}} * KЭВ_{\text{стац.}}, \quad (19)$$

где:

$M_{\text{co}_2, \text{ппр}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от погрузочно-разгрузочных процессов, т CO_2 ;

$R_{\text{ппр}}^{\text{эл}}$ – расходы электричества на обеспечение работы специализированной техники, МВт*ч;

$KЭВ_{\text{стац}}$ – коэффициент косвенных выбросов для стационарных потребителей электроэнергии, т $\text{CO}_2/\text{МВт*ч}$.

В данном случае применяются коэффициент косвенных выбросов для стационарных потребителей электроэнергии из таблицы 13, так как погрузочно-разгрузочная техника не покидает промышленную площадку и территорию региона.

Суммарный выброс парниковых газов от погрузочно-разгрузочных процессов можно рассчитать по формуле:

$$M_{\text{co}_2, \text{ппр}} = \sum M^j_{\text{co}_2, \text{ппр}} + M^{\text{косв}}_{\text{co}_2, \text{ппр}}, \quad (20)$$

где:

$M_{\text{co}_2, \text{ппр}}$ – суммарный выброс парниковых газов за определенный период от погрузочно-разгрузочных процессов, т CO_2 ;

$\sum M^j_{\text{co}_2, \text{ппр}}$ – суммарная масса выбросов углекислого газа от сжигания моторных топлив различных типов за определенный период от погрузочно-разгрузочных процессов, тонн CO_2 ;

$M^{\text{косв}}_{\text{co}_2, \text{ппр}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от погрузочно-разгрузочных процессов, т CO_2 .

3. Маневренные работы локомотива также могут сопровождаться прямыми и косвенными выбросами в зависимости от категории маневренного локомотива. Чаще всего применяются локомотивы на дизельной тяге, в таком случае выбросы парниковых газов рассчитываются по следующей формуле:

$$M^j_{\text{co}_2, \text{ман}} = R^j_{\text{ман}} * EF^j, \quad (21)$$

где:

$M^j_{\text{co}_2, \text{ман}}$ – масса выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива типа j при маневренной работе локомотива, т CO_2 ;

$R^j_{\text{ман}}$ – расход топлива вида j транспортным средством при маневренной работе локомотива, тонн;

EF^j – коэффициент выбросов CO_2 при использовании на транспортном средстве топлива вида j , т $\text{CO}_2/\text{т}$.

Однако на электрифицированных участках могут применяться маневренные электровозы, тогда для них необходимо рассчитать косвенные выбросы по формуле:

$$M^{\text{косв}}_{\text{co}_2, \text{ман}} = R^{\text{эл}}_{\text{ман}} * KЭВ_{\text{стац}}, \quad (22)$$

где:

$M^{\text{косв}}_{\text{co}_2, \text{ман}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период при маневренной работе локомотива, т CO_2 ;

$R^{\text{эл}}_{\text{ман}}$ – расходы электричества на обеспечение работы при маневренного локомотива, МВт*ч;

$KЭВ_{\text{стац}}$ – коэффициент косвенных выбросов для стационарных потребителей электроэнергии, т $CO_2/МВт*ч$.

Также как и для технических погрузочно-разгрузочных средств, для маневренных локомотивов коэффициент косвенных энергетических выбросов принимается по таблице 13 для стационарных источников.

Суммарный выброс парниковых газов при предоставлении услуг по грузоперевозке будет рассчитываться по формуле 23:

$$M_{CO_2}^{\text{груз.перев.}} = M_{CO_2, \text{перев.}} + M_{CO_2, \text{план.}}^{\text{косв}} + M_{CO_2, \text{ппр}} + M_{CO_2, \text{ман.}}^j \quad (23)$$

где:

$M_{CO_2}^{\text{груз.перев.}}$ – суммарный выброс парниковых газов при предоставлении услуг по грузоперевозке с учетом выбросов от сопутствующих процессов, т CO_2 ;

$M_{CO_2, \text{перев}}$ – выброс парниковых газов от передвижного источника в результате железнодорожной перевозки, т CO_2 (рассчитывается в соответствии с формулами из таблицы 12 в зависимости от категории локомотива);

$M_{CO_2, \text{план.}}^{\text{косв}}$ – масса косвенных выбросов углекислого газа за определенный период от процессов Планирование грузоперевозки и обеспечение документооборота при взаимодействии с грузоотправителем и грузополучателем, т CO_2 ;

$M_{CO_2, \text{ппр}}$ – выброс парниковых газов за определенный период от погрузочно-разгрузочных процессов, т CO_2 ;

$M_{CO_2, \text{ман.}}^j$ – масса выбросов углекислого газа при осуществлении маневренных работ локомотива, т CO_2 .

Таким образом, расчет выбросов парниковых газов при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам включает в себя оценку косвенных и прямых выбросов углекислого газа. На рисунке 9 представлен обобщенный алгоритм проведения расчетов.

Важно понимать для каких целей проводится расчет парниковых выбросов и исходя из этого делать вывод о целесообразности расчета

выбросов сопутствующий процессов. В случае оценки углеродного следа конкретного груза или конкретного пассажира расчет следует проводить без учета выбросов от сопутствующих процессов и учитывать выбросы углекислого газа непосредственно от транспортного процесса. Аналогично при оценке энергоэффективности отдельных маршрутов, в том числе в случае необходимости их оценки в разное время суток, дополнительные выбросы будет сложно соотнести с конкретным маршрутом.

В случае если требуется расчет углеродного следа в целом по организации, либо по отдельным категориям локомотивов за определенный промежуток времени, выбросы от сопутствующий процессов можно включить, в том числе в дальнейшем для структурного анализа углеродного следа. В будущем на основе полученных данных можно вывести усредненный коррекционный коэффициент, который позволит учитывать в углеродном следе выбросы парниковых газов на всех этапах предоставления услуг по железнодорожным перевозкам.

Следует также отметить, что в предложенной методике приоритетно использовать фактические данные о расходах топлива и энергетических ресурсов для осуществления процесса перевозки. Однако в случае планирования новых маршрутов или использования локомотивов, применяющих альтернативные источники энергии, возможно применение нормативных показателей расходов топлива и энергоносителей. Для получения более точных данных, необходимо использовать информацию о среднестатистическом грузообороте и пассажирообороте на данном участке железной дороги или аналогичном маршруте.

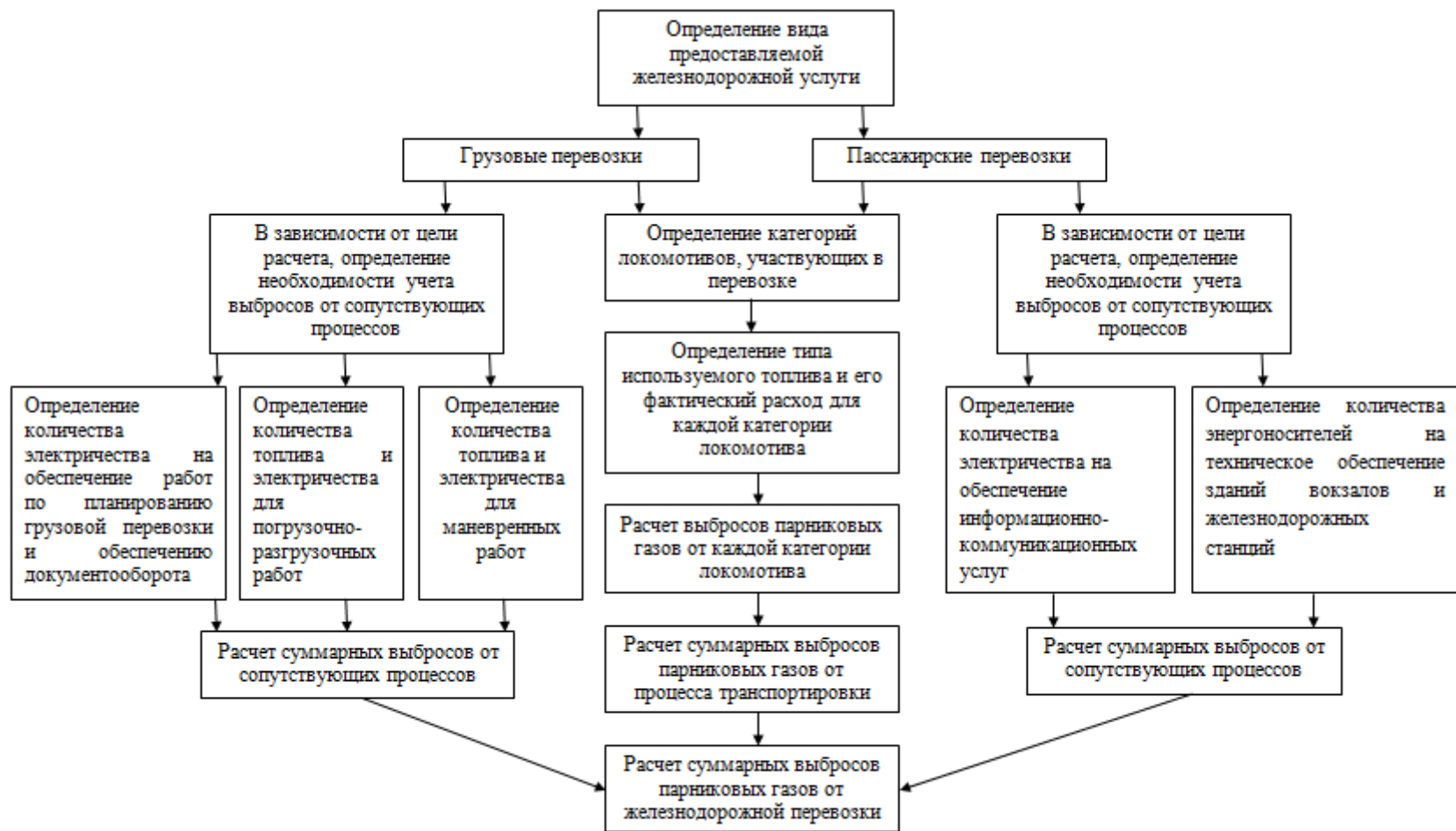


Рис. 9. Поэтапное проведение расчетов выбросов парниковых газов при осуществлении железнодорожных перевозок (разработано автором)

Расчетов косвенных выбросов в соответствии с законодательством можно осуществлять на основе рыночного и регионального подхода. Рыночный подход предусматривает получения сведений о выбросах на основе конкретных контрактов от конкретного поставщика, в том числе включая сертификаты на возобновляемые источники энергии. В таком случае оценка косвенных выбросов будет более точной, так как учитывает особенности и специфику генерации энергии, а также характеристики используемого топлива, поставщика энергетических ресурсов. На практике такие данные не всегда доступны, поэтому в данной методике используется региональный подход, который учитывает среднюю интенсивность выбросов, характерную для региона. При этом выделены коэффициенты косвенных выбросов для передвижных источников (магистральных локомотивов и пригородных электровозов), а также коэффициенты косвенных выбросов для стационарных источников. В связи с тем, что маневренные локомотивы и специализированная техника для погрузочно-разгрузочных работ не покидает региона и используется внутри промышленной площадки, то для расчета косвенных выбросов от данных источников применяются коэффициенты от стационарных источников.

В методике также рассмотрены особенности расчета выбросов парниковых газов от локомотивов на водородных батареях, так как в 2026 году на Сахалине планируется запуск данного вида поездов. Особенностью расчета выбросов от данной категории локомотива является учет способа генерации водородного топлива. В случае применения «зеленого» водорода, который получают путем электролиза метана с применением возобновляемых источников энергии или при применении технологий по улавливанию и хранения углерода, отсутствуют как прямые выбросы парниковых газов, так и косвенные, что делает поездку абсолютно экологичной. Во всех остальных случаях необходимо учитывать косвенные выбросы углекислого газа, которые образуются в результате генерации водородного топлива.

2.3. Подходы к оценке углеродного следа на железнодорожном транспорте

Углеродный след может стать важным инструментом в оценке выбросов парниковых газов на железнодорожном транспорте. Он позволяет решить широкий перечень задач в рамках экологического менеджмента на предприятии и повысить эффективность управления выбросами углекислого газа.

На рисунке 10 представлен поэтапный подход оценки углеродного следа с учетом специфики железнодорожной отрасли.

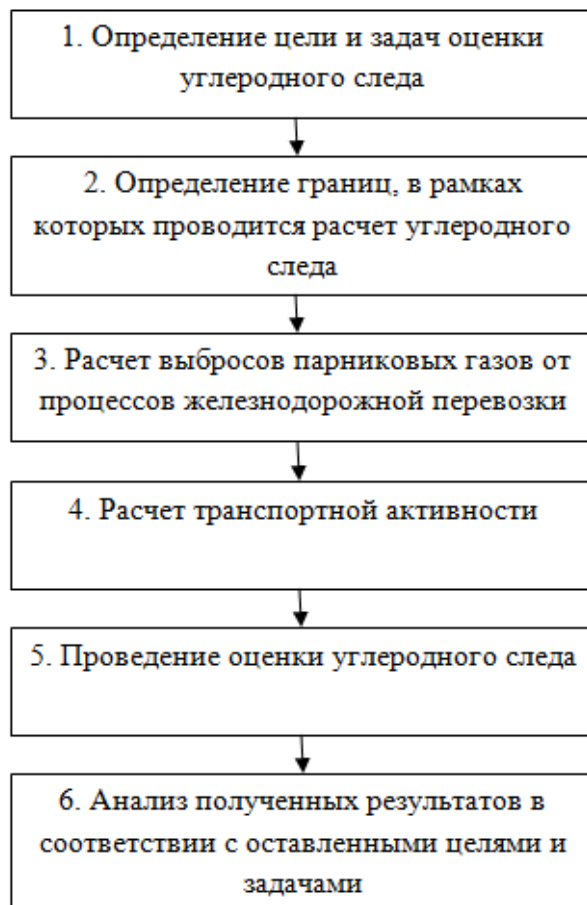


Рис. 10. Поэтапный подход оценки углеродного следа на железнодорожном транспорте

Оценка углеродного следа должна проводиться в несколько этапов. На первом этапе определяются цели и задачи, к которым можно отнести:

- установление целевых показателей углеродного следа. Они могут устанавливаться как стратегическая цель для всей организации, например при разработке и корректировке стратегии устойчивого развития предприятия и определения показателей по снижению выбросов парниковых газов. Также целевые показатели могут утверждаться непосредственно для подразделений предприятия, территориальных филиалов железной дороги или отдельных маршрутов, категорий локомотивов;

- повышение прозрачности информации с потребителями, органами государственной власти и другими заинтересованными лицами. Для потребителей данные об углеродном следе позволят повысить уровень экологической осознанности и ответственности. В дальнейшем это позволит разрабатывать экологические проекты и акции, направленные на снижение выбросов парниковых газов, совместно с клиентами компании. Для государственных органов власти данные об углеродном следе от железнодорожной отрасли позволят более корректно и обоснованно разрабатывать стратегии и программы развития транспортной отрасли с учетом достижения углеродной нейтральности к 2050 году. Остальные заинтересованные лица могут использовать информацию о выбросах парниковых газов на этапе транспортировки, для включения этих данных в оценку углеродного следа товара на протяжении всего его жизненного цикла [37,88].

- оценка снижения влияния на климат железнодорожных перевозок, при внедрении на маршрут новых локомотивов, работающих на альтернативных источниках энергии. Еще на этапе разработки и проектирования новых моделей локомотивов можно оценить образуемый углеродный след и уровень снижения выбросов парниковых газов. Однако, следует понимать, что если вести расчет на основе максимальной грузоподъемности поезда – это может привести к занижению результатов по сравнению с расчетом углеродного следа на основе фактических данных [44].

Таким образом, условия сравнения должны быть идентичными в случае сравнительного анализа.

- оптимизация транспортных процессов. Углеродный след маршрута может зависеть от множества факторов, анализ которых позволит выявить проблемные зоны и выработать меры по их оптимизации. В случае пассажирских перевозок в разное время суток энергоемкость одного и того же маршрута может различаться из-за неравномерности пассажирооборота. В связи с этим, для оценки энергоэффективности пассажирских маршрутов расчет лучше вести за определенный период.

Выявление целей и задач оценки углеродного следа позволяет определить границы выбросов парниковых газов. Необходимо выделить временной отрезок, для которого будет вестись расчет, например отдельная перевозка или несколько транспортировок за определенный период. Также следует понимать территориальный аспект расчета: конкретные отдельные маршруты, совокупность маршрутов территориальных филиалов железной дороги или все маршруты организации. Кроме этого, оценка может проводиться по категориям транспорта (тепловозы, электровозы, гибридные локомотивы и т.д.) или видам транспортной деятельности (магистральные пассажирские перевозки, грузовые перевозки, маневренные работы, пригородное сообщение, хозяйственная деятельность). Это позволяет оценить какие составляющие должны быть включены в углеродный след и какие данные необходимы для расчета.

На основании этих данных в рамках установленных границ проводится расчет выбросов парниковых газов, который подробно рассмотрен в главе 2.2.

Полученные данные распределяют по грузам и пассажирам на основе транспортной активности. Подходы к ее определению представлены в таблице 14.

Таблица 14. Расчет транспортной активности железнодорожной перевозки [61]

Тип перевозки	Формула транспортной активности	Расшифровка формулы
Пассажирские перевозки	$A_{\text{тр}}^{\text{пасс}} = Q_{\text{п}} * L, \quad (24)$	$A_{\text{тр}}^{\text{пасс}}$ – транспортная активность при перевозке пассажиров, пасс*км;
Грузовые перевозки	$A_{\text{тр}}^{\text{гр}} = Q_{\text{г}} * L, \quad (25)$	$Q_{\text{п}}$ – количество пассажиров, пасс; L – расстояние перевозки, км; $A_{\text{тр}}^{\text{гр}}$ – транспортная активность при грузовых перевозках, т*км; $Q_{\text{г}}$ – фактическая масса грузов, т.

В случае грузовых перевозок для определения углеродного следа от конкретного груза могут применяться другие количественные характеристики груза помимо массы. Например, когда груз имеет большой объем, но малый вес, транспортная активность может быть выражена в кубо- километрах.

На основе транспортной работы определяют удельный показатель выбросов, который рассчитывается по формуле 26:

$$УВ = M_{\text{co2}}^{\text{груз.перев./пассаж.перев.}} / A_{\text{тр}} * 10^6, \quad (26)$$

где:

$УВ$ – удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы при осуществлении железнодорожной услуги по перевозке, г/ткм или г/пасс*км;

$M_{\text{co2}}^{\text{груз.перев./пассаж.перев.}}$ – суммарный выброс углекислого газа при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, тСО₂;

$A_{\text{тр}}$ – транспортная активность при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, ткм или пасс*км;

10^6 – переводной коэффициент.

Удельный выброс позволяет определить углеродный след перевозимого i – го груза по формуле 27:

$$УС_i = УВ * A_{i, гр}, \quad (27)$$

где:

$УС_i$ – углеродный след от железнодорожной перевозки i – го груза, г;

$УВ$ – удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы при осуществлении железнодорожной услуги по перевозке, г/ткм;

$A_{i, гр}$ – совершенная транспортная активность при предоставлении услуг по перевозке i – го груза, ткм.

При этом совершенная транспортная активность при предоставлении услуг по перевозке i – го груза, рассчитывается по формуле 28:

$$A_{i, гр} = Q_{i, гр} * L_{i, гр}, \quad (28)$$

где:

$Q_{i, гр}$ – фактическая масса i – го груза, т;

$L_{i, гр}$ – расстояние перевозки i – го груза, км

Аналогично при помощи удельного выброса парниковых газов можно рассчитать углеродный след от железнодорожной перевозки конкретного пассажира:

$$УС_i = УВ * L_{пасс}, \quad (29)$$

где:

$УС_i$ – углеродный след от железнодорожной перевозки пассажира, г;

$УВ$ – удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы при осуществлении железнодорожной услуги по перевозке, г/пасс*км;

$L_{пасс}$ – расстояние, на которое перевозится пассажир, км.

В случае если подвижной состав осуществляет как транспортировку грузов, так и перевозку пассажиров, то расчет показателя удельного выброса можно вести на основании пропорционального распределения выброса по количеству грузовых и пассажирских вагонов. Тогда углеродный след от грузовой перевозки можно рассчитать по формуле:

$$УВ_{груз.перев} = \frac{n}{n+m} * \frac{M_{CO_2}}{A_{гр тр}} * 10^6, \quad (30)$$

где:

$УВ_{\text{груз.перев}}$ – удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы при осуществлении железнодорожной услуги по грузовой перевозке, г/ткм;

M_{co_2} – суммарный выброс углекислого газа при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, тCO₂;

$A_{\text{гр тр}}$ – транспортная активность при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам груза, ткм;

n – количество грузовых вагон в подвижном составе, ед.;

m – количество пассажирских вагон в подвижном составе, ед.;

10^6 – переводной коэффициент.

Удельный выброс при транспортировке пассажиров в случае смешанного подвижного состава можно рассчитать:

$$УВ_{\text{пасс усл}} = \frac{m}{n+m} * \frac{M_{\text{co}_2}}{A_{\text{пасс тр}}} * 10^6, \quad (31)$$

где:

$УВ_{\text{пасс усл}}$ – удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы железнодорожной услуги по перевозке пассажиров, г/пасс*км;

M_{co_2} – суммарный выброс углекислого газа при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, тCO₂;

$A_{\text{гр тр}}$ – транспортная активность при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам пассажира, ткм;

n – количество грузовых вагон в подвижном составе, ед.;

m – количество пассажирских вагон в подвижном составе, ед.;

10^6 – переводной коэффициент.

После получения показателя углеродного следа следует провести анализ полученных результатов в соответствии с поставленными целями и задачами.

Рассмотрим основные подходы к расчету на примере анализа пригородного сообщения в городе Санкт-Петербург. Следует отметить, что при пригородных перевозках существенная доля пассажиров перемещается на

небольшие расстояния и использует пригородное сообщение как общественный транспорт, в связи с этим проведем оценку углеродного следа в рамках города Санкт-Петербург.

В соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 10, в первую очередь сформулируем цель исследования: рассчитать углеродный след на каждом направлении пригородного сообщения на территории города Санкт-Петербург и провести сравнительный анализ полученных результатов.

В настоящий момент железная дорога идет по десяти направлениям:

- Сестрорецкое (на северо-запад, г. Сестрорецк);
- Выборгское (на северо-запад, г. Зеленогорск, г. Выборг);
- Приозерское (на северо-восток, г. Приозерск);
- Ириновское (на северо-восток, г. Всевожск, г.п. Дубровка);
- Ладожское (на северо-восток, г.п. Дубровка);
- Волховстроевское (на восток, г. Волхов);
- Московское (на юго-восток, г. Колпино, г. Тосно, г. Великий Новгород, г. Москва);
- Витебское (на юг, г. Великие Луки);
- Лужское (на юг, г. Луга, г. Псков);
- Балтийское (на юго-запад, г. Петергоф, г. Гатчина) [98].

Следует отметить, что Ладожское и Ириновское направление на территории Санкт-Петербурга имеют одинаковый маршрут.

Перевозки пассажиров и багажа железнодорожным транспортом в пригородном сообщении на территории города Санкт-Петербург осуществляются АО «Северо-Западная пригородная пассажирская компания».

Расчет будет проводиться на основании суточных данных о пассажиропотоке и усредненных значений потребления электричества электровозами. Однако, следует понимать, что в зимний период потребление электричества выше из-за потребностей в отоплении и освещении подвижного состава. В связи с этим углеродоемкость маршрута в зимнее время обычно выше, чем в летний период.

Таким образом, результатом станет среднесуточное значение удельного выброса парниковых газов по каждому направлению.

В таблице 15 представлены основные данные для расчетов.

Таблица 15. Данные по пригородным направлениям в рамках территории города Санкт-Петербург [104]

Направление	Суточный пассажиропоток, пасс	Расстояние перевозки, км	Суммарный среднесуточный расход электроэнергии электровозами по направлению, МВт*ч
Сестрорецкое	18 722	24,5	24,5
Выборгское	25 721	11	14,08
Приозерское	14 059	10,1	12,12
Ладожское (Ириновское)	14 631	7	10,36
Волховстроевское	26 652	29	19,72
Московское	31 344	24,6	32,472
Витебское	92 006	26,1	63,684
Лужское	16 023	26,5	18,02
Балтийское	50 920	46,2	66,528

Все пригородное сообщение в городе Санкт-Петербург осуществляется электровозами. В связи с этим прямые выбросы парниковых газов будут отсутствовать, а расчет следует проводить по формуле 4 для оценки косвенных выбросов.

Железнодорожная сеть города относится к Санкт-Петербургскому и Санкт-Петербург-Витебскому региону Октябрьской железной дороги – филиалу ОАО «РЖД» и находится в его непосредственном подчинении. В связи с этим в соответствии с таблицей 13 коэффициент косвенных энергетических выбросов будет составлять – 0,261 т CO₂ / МВт*ч.

Выбросы парниковых газов от сопутствующих процессов не рассчитываются в связи с отсутствием данных по расходам энергоносителей

на железнодорожных станциях и вокзалах. Таким образом, суммарный выброс парниковых газов по каждому направлению будет включать в себя только косвенные выбросы от процесса перевозки пассажиров.

Результаты расчетов представлены в таблице 16.

Таблица 16. Расчет выбросов парниковых газов от пригородного сообщения в рамках территории города Санкт-Петербург

Направление	Суммарный среднесуточный расход электроэнергии электровозами по направлению, МВт*ч	Коэффициент косвенных энергетических выбросов, т CO ₂ / МВт*ч	Масса косвенных выбросов парниковых газов, т CO ₂
Сестрорецкое	24,5	0,261	6,3945
Выборгское	14,08		3,67488
Приозерское	12,12		3,16332
Ладожское (Ириновское)	10,36		2,70396
Волховстроевское	19,72		5,1469
Московское	32,472		8,4752
Витебское	63,684		16,6215
Лужское	18,02		4,7032
Балтийское	66,528		17,3638

Расчет транспортной активности определяется как произведение пассажиропотока на пройденное расстояние. В данном примере принято допущение, что пассажиры проезжают участок маршрута внутри города полностью. Но необходимо понимать, что при оценке углеродного следа в пригородном сообщении для получения более точных результатов транспортной активности при наличии данных следует воспользоваться уточненной формулой:

$$A_{\text{тр}}^{\text{пасс}} = \sum Q_{\text{п } 1-2} * L_{1-2} + Q_{\text{п } 1-3} * L_{1-3} + \dots + Q_{\text{п } m-n} * L_{m-n}, \quad (32)$$

где:

$A_{\text{тр}}^{\text{пасс}}$ – транспортная активность при перевозке пассажиров в пригородном сообщении, пасс*км;

$Q_{\text{п } 1-2}$ – количество пассажиров на участке между станциями 1 и станциями 2, пасс.;

$Q_{\text{п } 2-3}$ – количество пассажиров на участке между станциями 2 и станциями 3, пасс.;

$Q_{\text{п } m-n}$ – количество пассажиров на участке между станциями m и станциями n, пасс.;

L_{1-2} – расстояние перевозки на участке между станциями 1 и станциями 2, км.;

L_{2-3} – расстояние перевозки на участке между станциями 1 и станциями 2, км.;

L_{m-n} – расстояние перевозки на участке между станциями m и станциями n, км.

В таблице 17 представлены данные о расчете транспортной активности для направлений пригородного сообщения.

Таблица 17. Расчет транспортной активности от перевозок

Направление	Суточный пассажиропоток, пасс.	Расстояние перевозки, км	Транспортная активность, пасс*км
Сестрорецкое	18722	24,5	458 689
Выборгское	25721	11	282 931
Приозерское	14059	10,1	141 995,9
Ладожское (Ириновское)	14631	7	102 417
Волховстроевское	26652	29	772 908
Московское	31344	24,6	771 062,4
Витебское	92006	26,1	2 401 356,6
Лужское	16023	26,5	424 609,5
Балтийское	50920	46,2	2 352 504

Как можно отметить наибольшая транспортная активность получена у двух направлений: Витебское и Балтийское. Это связано с тем, что данные маршруты пользуются наибольшей популярностью у пассажиров, так как позволяют доехать до удаленных районов города быстрее по сравнению с другими видами транспорта. Кроме того, для данных направлений введено тактовое движение поездов с четко установленным интервалом времени, что позволяет интегрировать данные маршруты в общую систему городского транспорта и делает их пользование комфортными и удобными.

На основании полученных данных о косвенных выбросах парниковых газов и транспортной активности можно рассчитать удельный выброс по формуле 26. Полученные данные представлены в таблице 18.

Таблица 18. Расчет углеродного следа от транспортной активности

Направление	Транспортная активность, пасс*км	Масса косвенных выбросов парниковых газов, т CO₂	Значение показателя удельного выброса, г CO₂ / пасс*км
Сестрорецкое	458 689	6,3945	13,94
Выборгское	282 931	3,67488	12,99
Приозерское	141 995,9	3,16332	22,28
Ладожское (Ириновское)	102 417	2,70396	26,40
Волховстроевское	772 908	5,1469	6,66
Московское	771 062,4	8,4752	10,99
Витебское	2 401 356,6	16,6215	6,92
Лужское	424 609,5	4,7032	11,08
Балтийское	2 352 504	17,3638	7,38

Для дальнейшего анализа углеродного следа на основе полученных результатов выделим 3 группы маршрутов:

- маршруты с низким значением углеродного следа до 10 г CO₂ / пасс*км;

- маршруты с умеренным значением углеродного следа от 10 до 20 г CO₂/ пасс*км;

- маршруты с высоким значением углеродного следа от 10 до 20 г CO₂/ пасс*км.

Таким образом, к маршрутам с низким значением углеродного следа можно отнести Волховстроевское, Витебское и Балтийское. Наиболее экологичным оказалось Волховстроевское направление. Прежде всего, это можно связать с тем, что данное направление имеет достаточно высокий пассажиропоток, но при этом количество электровозов на маршруте достаточно невелико. В результате данные электрички достаточно переполненные, что и формируют низкие значения углеродного следа.

На Витебском и Балтийском направлении, как отмечалось выше, организовано тактовое движение поездов, что позволяет создать комфортные условия передвижения для пассажиров, а также сформировать благоприятные условия для создания энергоэффективных маршрутов. Регулярное движение поездов увеличивает пассажиропоток и обеспечивает заполнение электричек.

К маршрутам с высокими значениями углеродного следа можно отнести Приозерское и Ладожское направление, которые начинаются с Финляндского вокзала. Следует отметить, что данные маршруты не включены в систему городского транспорта и предполагается, что пассажиры используют данные маршруты в большой степени для пригородных поездок, чем в качестве общественного транспорта. В связи с этим пассажиропоток внутри города здесь достаточно невысок, что и формирует высокие значения углеродного следа.

Остальные маршруты имеют углеродный след в пределах 10-14 г CO₂ / пасс*км.

Таким образом, для снижения углеродного следа при пассажироперевозках важно обеспечить полную наполняемость подвижного состава. В случае, если рассматривать пригородное сообщение как часть системы общественного транспорта, можно применять организацию

тактового движения. Следует отметить, что расчет энергоэффективности маршрута может стать одним из факторов для оценки эффективности транспортных процессов, но в случае пассажироперевозок не должен выступать как ключевой. При этом полученные данные могут быть использованы для формирования углеродного калькулятора, который позволит клиентам оценивать свое влияние на климат. Образующийся углеродный след от поездки конкретного пассажира рассчитывается по формуле 29.

Полученное значение углеродного следа может печататься в билетах для повышения информированности и экологической ответственности пассажиров.

Таким образом, оценка углеродного следа может быть направлена на решения широкого спектра задач и стать дополнительным фактором для оценки оптимальности транспортных процессов. Предложенная методика расчета углеродного следа позволяет использовать ее для решения различных задач на разных уровнях управления. В первую очередь следует выделять цели оценки, что позволит отобрать оптимальные подходы расчета углеродного следа и определить требуемые данные для этого.

На втором этапе определяют границы расчета, в том числе временные и территориальные.

Оценка выбросов парниковых газов может быть рассчитана на основе фактических данных непрерывного измерения расхода топлива, статистических данных, информации из форм учета. Также могут быть использованы расчетные и экспериментальные данные в случае проектирования новых маршрутов, локомотивов и т.д. Крайне важно учитывать как прямые, так и косвенные выбросы. При этом в соответствии с законодательством косвенные выбросы должны быть оценены либо рыночным, либо региональным методом.

При предоставлении железнодорожных услуг основным источником выбросов углекислого газа являются локомотивы, остальные сопутствующие

процессы вносят менее 5% вклада выбросов в углеродный след. В связи с этим, в зависимости от задач и целей расчета они могут включаться в оценку углеродного следа, если подразделение обладает необходимыми данными, или исключаться ввиду сложности их соотнесения к конкретной поездке или при отсутствии достоверных данных.

Важным элементом, который влияет на корректность расчетов углеродного следа, является оценка транспортной активности. Она может иметь особенности расчета, например, при совместной перевозке грузов и пассажиров одним подвижным составом. Также при оценке пригородных маршрутов при расчете транспортной активности следует учитывать, что пассажиры могут осуществлять перемещение не на всю длину маршрута, а на отдельные участки между станциями. В случае наличия достоверных данных, например на основе проездных билетов, расчет может проводиться по уточненной формуле, которая даст наиболее точный результат.

Полученные результаты углеродного следа должны быть проанализированы в соответствии с целями и задачами расчета. Это позволит выявить факторы, которые оказывают наибольшее влияние на выбросы парниковых газов и выработать меры по их снижению.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

3.1. Методические аспекты интеграции управления выбросами парниковых газов в систему экологического менеджмента железнодорожного предприятия

Система экологического менеджмента (СЭМ) представляет собой часть системы управления организации, направленной на достижение целей устойчивого развития в рамках применения подходов и инструментов стандарта ISO 14001. Современный стандарт ISO 14001:2015 основан на процессном и риск-ориентированном подходе и требует от железнодорожной компании анализа внешних и внутренних факторов, понимание потребностей и ожидания заинтересованных сторон, определения границ применения СЭМ, разработки экологической политики, адаптации модели PDCA с учетом подходов управления выбросами парниковых газов [58].

Интеграция управления выбросами парниковых газов в СЭМ позволяет перейти от разрозненных «углеродных» проектов к целостному управлению климатическими рисками и возможностями в рамках общей системы менеджмента.

Среди методических аспектов управления выбросами парниковых газов следует выделить следующие элементы:

1. Инвентаризация выбросов на основании международного стандарта учёта выбросов парниковых газов - GHG Protocol, а также российского нормативно-правового законодательства: приказов министерства природы и экологии РФ № 371 и № 330, ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021.

2. Валидация и верификация данных, включающая подтверждение достоверности и точности данных о выбросах парниковых газов, в том числе

при реализации климатических проектов, независимыми аккредитованными экспертами.

3. Определение потенциала снижения выбросов парниковых газов за счет применения различных подходов, например таких как стандарты SBTi, цели по достижению углеродной нейтральности и др. [114]

4. Разработка и реализация стратегии снижения объемов выбросов парниковых газов за счет реализации мероприятий в различных направлениях: повышение энергоэффективности, внедрение в производственные процессы возобновляемых источников энергии, реализация наилучших доступных технологий, подходы экономики замкнутого цикла [54].

5. Отчетность и раскрытие информации, в рамках международных и национальных стандартов. К международным стандартам прежде всего следует отнести GRI, TCFD, IFRS S2, сравнительный анализ, которых представлен в таблице 19.

Таблица 19. Сравнительный анализ международных стандартов по составлению отчетности и раскрытию информации по выбросам парниковых газов [100,101,102]

Критерий	Стандарт GRI (Global Reporting Initiative)	Стандарт TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures)	Стандарт IFRS S2 (Climate-related Disclosures)
Цель	Формирование отчётности в области устойчивого развития с точки зрения влияния компании на окружающую среду и общество.	Оценка влияния климатических рисков на устойчивость компании. Отчетность в первую очередь направлена на информирование инвесторов и финансовый рынок	Формирование климатической отчетности, в том числе с учетом воздействия климатических рисков на финансовые результаты компании.

Год разработки	1999	2015	2023
Юридический статус	Добровольный	Добровольный, но может быть включен в обязательные стандарты.	В ряде стран обязательный (Великобритания, Австралия, Канада, ЕС и др.)
Область исследования	Негативное воздействие, социальные аспекты, промышленная безопасность, антикоррупционная деятельность и др.	Климатические риски (физические и переходные)	Климатические риски, раскрытие информации о выбросах парниковых газов на основе протокола GHG Protocol.
Заинтересованные стороны	Широкий круг стейкхолдеров: сотрудники компании, инвесторы, поставщики, местные сообщества, клиенты, регуляторы, население региона.	Участники финансового рынка: инвесторы, страховые компании, банковские организации, кредиторы.	
Структура отчетности	Модульная структура, включающая универсальные и тематические стандарты.	4 раздела: 1. Корпоративное управление. 2. Стратегия. 3. Управление рисками. 4. Метрики и цели.	4 раздела по аналогии со стандартом TCFD, но с детализированными требованиями к метрикам и анализу климатических сценариев.

Стандарт GRI позволяет описать различные аспекты влияния предприятия в рамках политики устойчивого развития. При этом, в отчетности делается упор именно о влиянии компании на окружающую среду и общество и могут не включаться финансовые показатели, отражающие экологические риски и другие финансовые метрики. Стандарт IFRS S2 представляет собой расширенную версию стандарта TCFD, где в первую очередь оценивается влияние климатических изменений на финансовую устойчивость компании. В свою очередь это требует раскрытия информации о метриках, которые применимы для отслеживания прогресса в управлении климатическими рисками, например удельные и валовые показатели выбросов ПГ, основные источники выбросов, релевантные финансовые показатели [113, 122].

В настоящий момент ОАО «РЖД» раскрывает информацию о выбросах парниковых газов в рамках отчета об устойчивом развитии, который содержит сведения об суммарном валовом выбросе парниковых газов, в том числе по категориям Scope 1 и Scope 2, что с учетом ужесточения регулирования выбросами парниковых газов может быть недостаточно для всех заинтересованных лиц. Данный аспект требует более детального отражения в СЭМ.

Таким образом, преобразованная система экологического менеджмента должна учитывать методические элементы управления выбросами парниковых газов. В первую очередь следует выделить внутренние и внешние факторы организационной среды железнодорожных предприятий, влияющие на ее способность достигать результата в области управления выбросами парниковых газов. В таблице 20 представлена совокупность внутренних и внешних условий, к которым были выделены в группы. В качестве внутренних факторов выделены технические, инфраструктурные и технологические условия; человеческие ресурсы, особенности организации операционных процессов и управления железнодорожным предприятием и др. условия. К внешним факторам прежде всего необходимо отнести нормативно-правовые требования регулятора и как следствие особенности развития углеродного

рынка; экономические факторы, влияющие на финансовую устойчивость организации; зрелость развития «зеленых» инноваций и технологий.

Таблица 20. Перечень условий, влияющих на результативность, СЭМ в области управления выбросами парниковых газов на железнодорожном предприятии [60, 80]

Группа условий	Наименование условия	Описание влияния условия на регулирование выбросов парниковых газов в компании
Внешний фактор	Климатическая политика и международные обязательства	Климатические риски (физические и переходные) признаются финансово значимыми. СЭМ становится платформой для управления этими рисками, с дальнейшей интеграцией их в корпоративную стратегию. Ужесточение национальной политики может потребовать серьезных корректировок СЭМ, для соответствия существующей системы требованиям внешних регуляторов.
Внешний фактор	Развитие углеродного рынка	СЭМ должна выработать подходы для верифицируемого сбора данных о выбросах парниковых газов, для возможности в дальнейшем продавать углеродные единицы и участвовать в климатических проектах.
Внешний фактор	Экономические факторы	СЭМ должна учитывать внешние экономические риски, которые могут негативно повлиять на реализацию мероприятий по снижению выбросов парниковых газов. Должны быть описаны критерии отбора мероприятий и климатических проектов с учетом нестабильной геополитической ситуации и санкционного давления.
Внешний фактор	Развитие «зеленых» технологий и инноваций	Должна проводиться регулярная корректировка СЭМ с учетом доступности, зрелости и стоимость новых решений.

Внутренние факторы	Технические, инфраструктурные и технологические условия	Структура и техническое состояние транспортного парка и инфраструктурных объектов, в том числе с точки зрения их энергоэффективности является главным фактором, влияющим на объемы выбросов парниковых газов, и, соответственно, являются ключевым объектом управления СЭМ.
Внутренние факторы	Процессы и операционные условия	СЭМ должна включать оценку эффективности организации производственных процессов и критерии их совершенствования.
Внутренние факторы	Стратегические и управленческие условия	Эффективность реализации СЭМ зависит от степени интеграции процессов управления выбросами парниковых газов в общую систему менеджмента предприятия (безопасность, эксплуатация, закупки). На стратегическом уровне результативность СЭМ зависит от вовлеченности высшего руководства и его готовности выделять ресурсы для реализации «зеленых» проектов.
Внутренние факторы	Человеческие ресурсы	Недостаточная подготовка инженерно-технического персонала может снизить эффективность реализации СЭМ. Также система экологического менеджмента должна включать культуру экологической ответственности, включая климатическую составляющую.

В рамках совершенствования СЭМ предприятие должно оценить потребности заинтересованных сторон с точки зрения управления выбросами парниковых газов. Непосредственно для самой компании они будут выражены в достижении установленных целевых показателей, соблюдение законодательной базы в области снижения парникового эффекта от

деятельности предприятия. На рисунке 11 представлены потребности различных участников. Следует отметить, что для участников углеродного и финансового рынка, информация о выбросах может быть представлена в виде отчетности IFRS S2. При этом целесообразно включить показатели оценки климатических рисков в систему ключевых показателей.

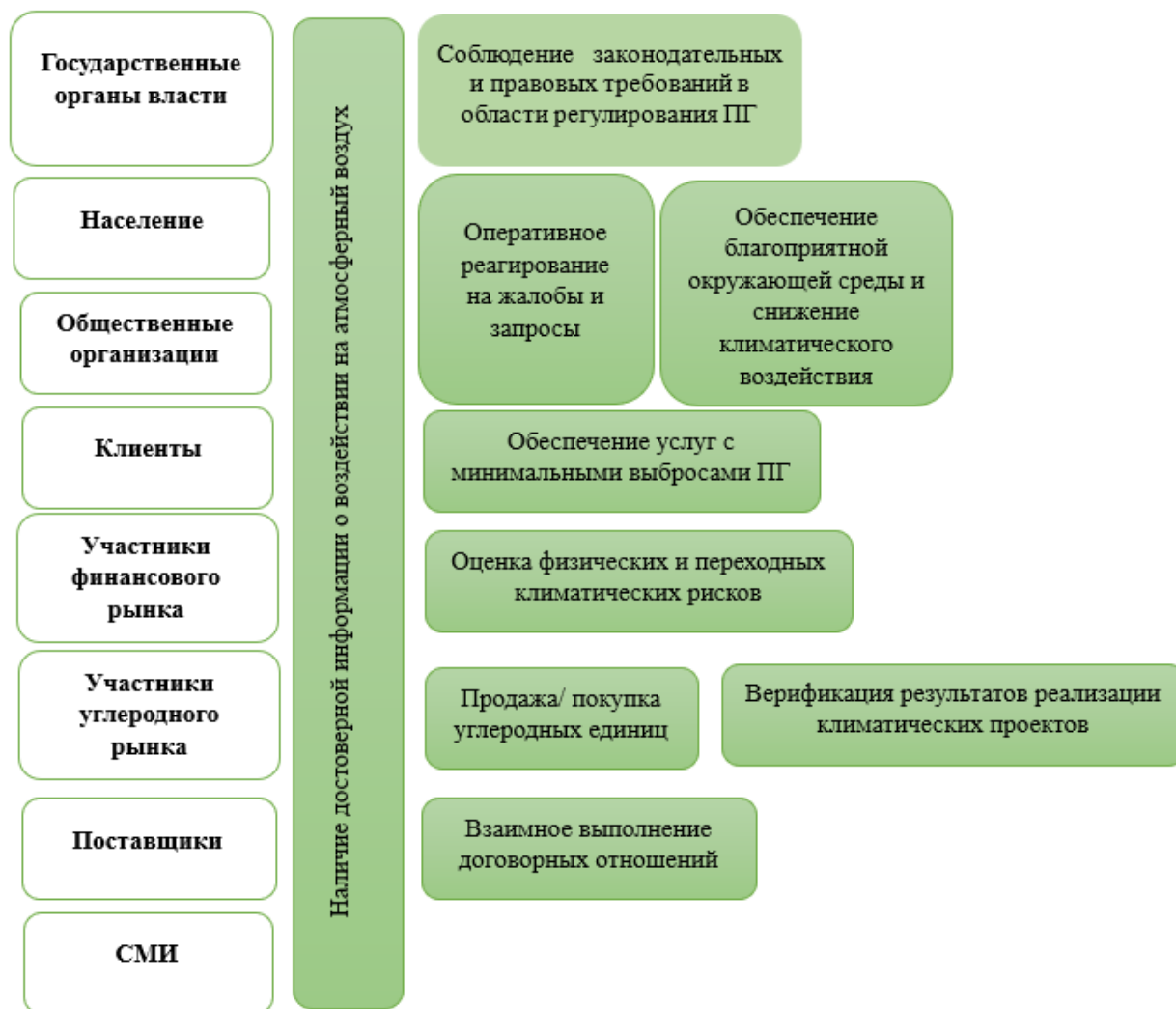


Рис. 11. Потребности заинтересованных в рамках реализации СЭМ с точки зрения управления выбросами (разработано автором)

Следует выделить, что в рамках реализации системы экологического менеджмента, предприятия должно обеспечивать достоверной информацией о эмиссии выбросов парниковых газов все заинтересованные стороны. Однако следует отметить, что если для учета выбросов Scope 1 и Scope 2 законодательно утверждены подходы количественного определения объема

выбросов парниковых газов, то методики для расчета Score 3 отсутствуют, что связано со сложностью оценок границ расчета, нехваткой данных от поставщиков и наличием различных подходов к оценке Score 3. Однако, в рамках СЭМ можно выделить ключевые категории Score 3 и методики, по которым можно провести оценку выбросов парниковых газов, например категория 2 «Капитальные товары» (Capital goods): выбросы от производства основных средств (оборудования, зданий, транспортных средств), которые компания использует для предоставления своих продуктов / услуг. В качестве примера методики оценки в зарубежных исследованиях предлагается учитывать категорию 11 Score 3 (Использование проданной продукции) по принципу «смещения», когда сравниваются фактические выбросы железнодорожной перевозки с гипотетическими выбросами при перевозке тем же грузом на других видах транспорта (по тому же маршруту). В целом могут применяться совмещенные подходы, когда крупные ключевые поставщики предоставляют данные об образуемых углеродных единицах, а для остальных применяются усредненные отраслевые коэффициенты [80, 121].

Следует также отметить, что для такой крупной компании, как ОАО «РЖД» более корректно раскрывать информацию о выбросах парниковых газов не только в виде суммарных валовых значений, но и показывать их региональное распределение. В первую очередь это позволит выявлять конкретные регионы с высокой углеродоемкостью и реализовывать проекты с максимальным экологическим и экономическим эффектом. Кроме этого, это позволит выстроить взаимодействие с региональными органами власти в области регулирования выбросов парниковых газов и повысит прозрачность отчетности для населения и общественных экологических организаций.

В основе системы экологического менеджмента лежит цикл PDCA, который включает в себя четыре этапа:

- Планирование (Plan). Данный этап направлен на определение цели, задач и стратегий для достижения желаемых результатов. В рамках

данного этапа проводят анализ данных и выявляют проблему, а также формируются показатели KPI и план необходимых мероприятий.

- Выполнение (Do). На данном этапе реализуются запланированные мероприятия, а также внедряются и поддерживаются процессы, необходимые для выполнения требований системы экологического менеджмента.

- Проверка (Check). Данный этап направлен на анализ результатов выполненных действий в соответствии с заданными первоначальными целями, в том числе за счет внутреннего аудита.

- Действие (Act). Организация должна определять возможности для улучшения, особенно если в результате проверки выявились несоответствия [61].

При интеграции подходов управления выбросами парниковых газов в систему экологического менеджмента особое внимание следует уделить этапу планирования. Ключевым нововведением становится проведение полной инвентаризации выбросов ПГ по категории Score 1 (прямые выбросы от подвижного состава и котельных), Score 2 (косвенные энергетические выбросы от поставщиков электроэнергетики) и Score 3 (прочие косвенные выбросы по цепочке создания стоимости). Эти данные становятся объективной основой для выявления наиболее значимых аспектов и постановки измеримых, научно-обоснованных целей по декарбонизации. В настоящий момент ОАО «РЖД» проводит оценку только выбросов относящихся к Score 1 и Score 2, и не учитывает Score 3. Однако, в связи с возрастанием требований со стороны регуляторов и инвесторов, необходимо постепенно проводить оценку выбросов Score 3 для более полного и достоверного влияния железнодорожных перевозок на климат. Таким образом инвентаризация источников выбросов является одним из важных элементов этапа планирования.

На рисунке 12 представлена схема управления выбросами парниковых газов в рамках этапа планирования системы экологического менеджмента.

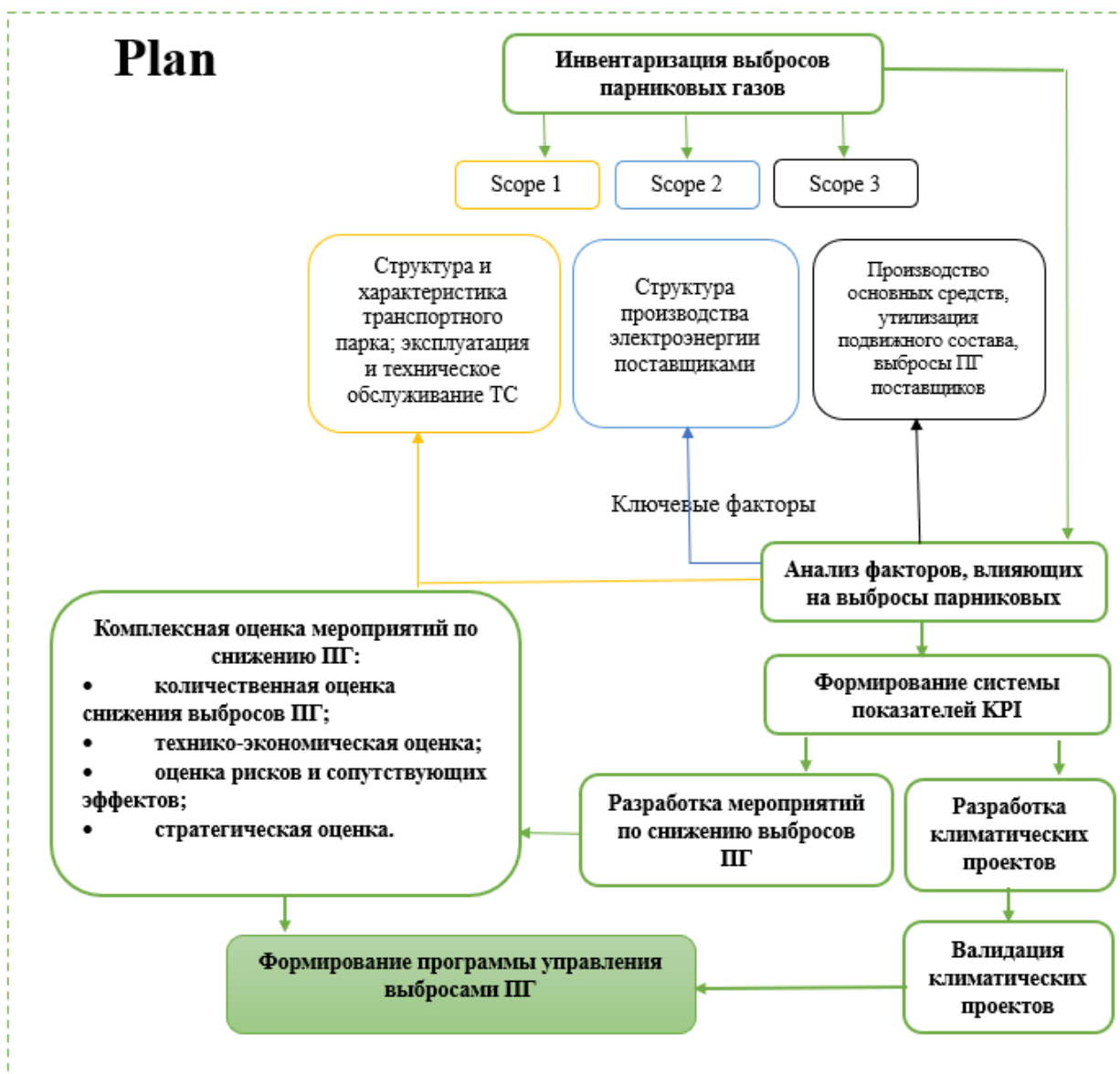


Рис. 12. Схема управления выбросами парниковых газов в рамках этапа планирования системы экологического менеджмента железнодорожного транспорта (разработано автором) [58]

Важной задачей на этапе планирования является выявления ключевых факторов, оказывающих влияние на объем выбросов от источников выбросов парниковых газов, и оценка потенциала их снижения.

На основе этого можно сформировать систему показателей КРІ, которые позволят достичь установленных целей в области регулирования выбросов парниковых газов. При этом система показателей КРІ должна включать себя совокупность показателей на разных управленческих уровнях:

- стратегические показатели, направленные на долгосрочную перспективу;
- тактические показатели, охватывающие разные производственные процессы и направления;
- оперативные показатели для отдельных подразделений компании.

Также следует отметить, что цели СЭМ должны быть дифференцированы: например, для дизельного парка – совершенствование конструкции тепловозов и дизель-поездов, направленная на повышение энергоэффективности, внедрение альтернативного топлива, совершенствование транспортных процессов; для электрического парка – увеличение доли ВИЭ в покупаемой электроэнергии, снижение потребления электричества электропоездами за счет улучшенной конструкции; для инфраструктуры – внедрение энергосберегающих технологий, применение ВИЭ.

В дальнейшем разрабатываются мероприятия по снижению выбросов парниковых газов и проводится их комплексная оценка, которая позволяет выбрать наиболее перспективные подходы.

Отдельно следует отметить, что развитие углеродного рынка в России требует включение в СЭМ разработки климатических проектов и их дальнейшей валидации и верификации, что позволит организации стать участником добровольного рынка и в случае дальнейшего ужесточения климатического регулирования и введения обязательного углеродного рынка, обладать разработанными инструментами и подходами для учета и реализации углеродных единиц [68].

Итоговым документом этапа планирования должна стать программа управления выбросами парниковых газов, включающая в себя конкретные технологические проекты и управленческие решения, которые реализуются на этапе выполнения.

После формирования программы управления выбросами парниковых газов, происходит переход на следующие этапы цикла PDCA, которые представлены на рисунке 13.

Следует обратить внимание, что должны быть разработаны и сформированы в виде инструкций процедуры операционного контроля и обучения, предусмотренные СЭМ, а также разработаны инструкции и сопутствующая документация для формирования дальнейшей отчетности.

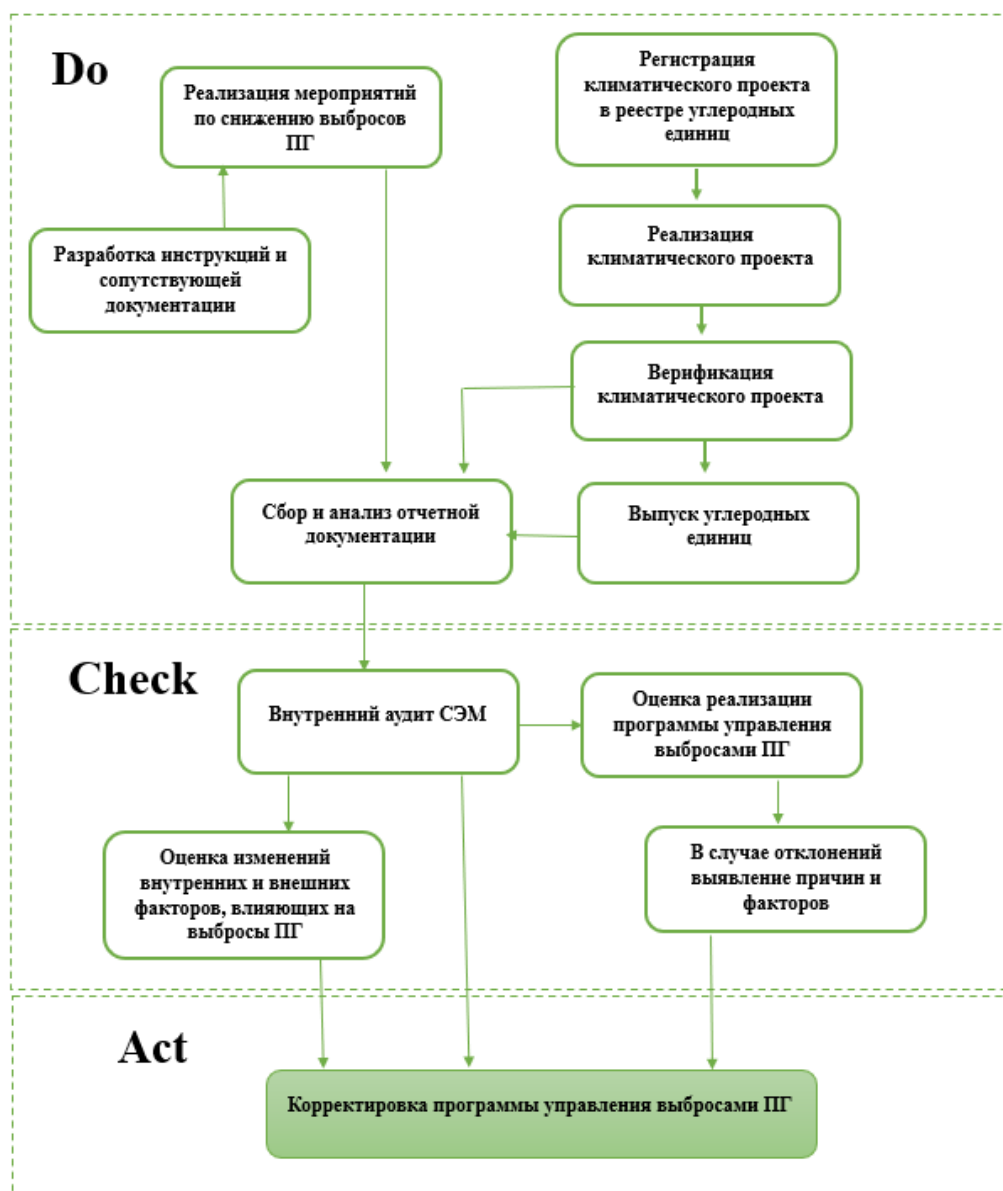


Рис. 13. Алгоритм управления выбросами парниковых газов в рамках этапов: «выполнение», «проверка», «действие», системы экологического менеджмента железнодорожного транспорта (разработано автором) [58]

Климатические проекты регистрируются в реестре углеродных единиц в соответствии с установленным положением. Для выпуска и дальнейшей продажи углеродных единиц, компания должна верифицировать свои климатические проекты, т.е. пройти процедуру проверки реального сокращения выбросов сторонними аккредитованными экспертами. Кроме этого, проверяются также методики расчета выбросов на соответствие принятым международным и национальным стандартам, оцениваются системы сбора и обработки исходных данных, контроль качества данных и др. Только после верификации компания может торговать углеродными единицами, которые будут снижены в результате реализации проекта.

На этапе выполнения предполагается также сбор данных о реализации программы управления парниковыми выбросами для последующего анализа и оценки эффективности СЭМ. В дальнейшем эти данные используются для проведения внутреннего аудита и мониторинга.

Основой мониторинга является сравнение показателей с установленными целевыми и плановыми метриками, которые отражены в системе показателей КРІ. Кроме этого, проводится проверка выполнения запланированных операционных процедур и инструкций, а также регламентов, предотвращающих негативное воздействие на окружающую среду. Методами являются регулярные проверки, аудиты и наблюдения. Оценивается также ход выполнения программ по достижению целей, анализируются выделенные ресурсы, сроки и эффективность предпринимаемых действий.

В случае отклонения от установленных плановых показателей, следует провести анализ причин и факторов, которые могли привести к неэффективной реализации СЭМ и соответственно внести корректировки или пересмотреть цели.

Крайне важным фактором, снижающим правовые риски, является мониторинг нормативно-правового законодательства регулирования выбросов парниковых газов и своевременные изменения СЭМ в соответствии с данными

изменениями. Учитывая, возрастающую роль оценки климатических рисков, следует также проводить анализ показателей, влияющих на финансовые результаты в соответствии с методиками TCFD и IFRS S2.

На последнем этапе происходит корректировка программы управления выбросами парниковых газов.

Таким образом можно отметить, что система экологического менеджмента на железнодорожном транспорте традиционно фокусируется на экологических аспектах связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу от дизельных локомотивов, шумовое воздействие при осуществлении процессов грузо- и пассажироперевозки, управление отходами, снижение загрязнения почв и водоемов нефтепродуктами и смазочными материалами. Современные тенденции требуют интеграции в систему экологического менеджмента также элементов управления выбросами парниковых газов.

Специфика железнодорожной отрасли заключается в том, что значительная доля прямых выбросов связана с эксплуатацией дизель-поездов и тепловозов. При этом, на значительных территориях экономически неэффективно электрифицировать участки железной дороги, из-за их удаленности от населенных пунктов и сложности обслуживания. Таким образом, требуется рассматривать другие подходы снижения выбросов, например переход на альтернативные виды топлива. В настоящий момент можно отметить ограниченность рынка альтернативных видов топлива, среди которых можно выделить биодизель и водород.

Второй особенностью железнодорожной отрасли является что структура косвенных выбросов Score 2 зависит от доли электрической тяги, которая в России достаточно высока. Объем выбросов парниковых газов здесь зависит от структуры генерации электроэнергии в регионе, в том числе степени вовлечения возобновляемых источников энергии. Климатическая ответственность компании в данном разрезе может выражаться в выборе поставщиков «зеленой» энергии, а также поиска технологий и методов,

направленных на снижение энергоемкости транспортных процессов. Большую роль могут сыграть климатические проекты, позволяющие за счет продажи углеродных единиц снизить издержки реализации проектов, направленных на включение в энергосистему компании ВИЭ. Можно отметить, что невозможность напрямую влиять на структуру энергогенерации в стране является одним из барьеров достижения углеродной нейтральности в железнодорожной отрасли.

Кроме этого, следует разработать подходы по учету выбросов Score 3 по ключевым категориям, что в свою очередь позволит оценивать углеродный след транспортной услуги по всей цепочке жизненного цикла.

Интеграция элементов управления выбросами парниковых газов позволит усилить конкурентное преимущество железнодорожного транспорта как наиболее экологичного вида транспорта. Это особенно актуально, учитывая, что существенная доля международных перевозок осуществляется железнодорожным транспортом с такими странами как Китай (лидирующее место в климатической повестке), ОАЭ, Турция и др., которые активно разрабатывают климатические стратегии и готовы приобретать «низкоуглеродные» логистические продукты, позволяющие сократить Score 3 [38].

Кроме того, ожидается ужесточение государственного регулирования, что в свою очередь затронет и процессы транспортировки. Принятые в последнее время национальные стратегии и концепции, включают в себя цели по декарбонизации транспорта и предусматривают переход на более экологичные его виды.

В финансовом секторе также растет предложение «устойчивых» инвестиций. Появляется доступ к «зеленому» финансированию для проектов по обновлению парка, электрификации, внедрению ВИЭ.

Однако СЭМ должна включать в себя также и оценку финансовых и климатических рисков, так как замена тепловозов и дизель-поездов требует

существенных инвестиций. В связи с этим интеграция климатических целей должна быть увязана с долгосрочными инвестиционными программами.

Таким образом, интеграция управления выбросами парниковых газов в систему экологического менеджмента железнодорожной компании – это стратегическая задача, требующая преодоления уникальных отраслевых барьеров. Ее успех зависит от способности трансформировать климатические цели в конкретные технические задания для инженерных служб, критерии для осуществления закупочной и логистической деятельности, а также в операционные КРІ для персонала, управляющего транспортными процессами. Представленная методика позволяет встроить подходы и элементы управления выбросами парниковых газов в СЭМ, что позволяет повысить климатическую ответственность компании и предложить низкоуглеродные логистические услуги клиентам.

3.2. Система ключевых показателей оценки деятельности управления выбросами парниковых газов

Для формирования устойчивой системы управления выбросами парниковых газов требуется разработка ключевых показателей, которые позволили бы проводить оценку эффективности управления выбросами на железнодорожном предприятии.

В основе построения системы ключевых показателей можно выделить следующие принципы:

- принцип соответствия стратегии: метрики и показатели должны отражать стратегические цели железнодорожной компании в области климатического регулирования;
- принцип многоуровневости: предложенная система показателей КРІ должна включать себя совокупность показателей на разных уровнях управления;

- принцип прозрачности: предусматривается раскрытие информации, в том числе методик расчета и первичной информации, что позволит обеспечить возможность независимой проверки и внутреннего аудита;

- принцип двойственности «абсолютные / относительные»: включение как абсолютных показателей, которые позволяют оценить выполнение глобальных экологических обязательств, а также относительные метрики, позволяющие проводить оценку реальной технологической и операционной эффективности [110];

- принцип полноты: система показателей КРІ должна охватывать максимальный объем выбросов от всех источников, включая как прямые, так и косвенные выбросы;

- принцип баланса: система не должна избыточное количество ключевых показателей [40];

- принцип управляемости и ответственности: за каждый КРІ должно быть назначено ответственное лицо/подразделение, которое имеет достаточные полномочия для влияния на этот показатель [77].

Следует отметить, что в зарубежных странах активно развивается сектор «зеленых» финансов, который требует раскрытия информации в соответствии со стандартом IFRS S2. В данном случае основной задачей является оценка физических и переходных климатических рисков организации на основании сценарного анализа. Это позволяет рассматривать финансовые показатели компании и ее финансовую устойчивость в условиях изменения климата.

Сценарный анализ не является прогнозом или анализом чувствительности, тем не менее он позволяет оценить воздействие изменения климата на финансовое состояние компании. Как правило, анализ проводится для нескольких сценариев, отличающихся различным повышением средней температуры на горизонте 2030, 2040 и 2050 годов.

При сценарном анализе учитываются три основных типа факторов:

- регуляторные факторы — оценка финансовых потерь организации

от применения законодательства, направленного на сокращение выбросов парниковых газов, снижение энерго- и ресурсопотребления;

- технологические факторы — оценка новых технологий (в первую очередь «чистых» низкоуглеродных решений) на операционную и финансовую модель компании;

- климатические факторы — оценка убытков от экстремальных погодных и климатических условий [69, 97].

На основании полученных данных компании раскрывают количественную информацию о целях и показателях, которые применимы для отслеживания прогресса в управлении климатическими рисками, в том числе удельные и валовые показатели выбросов парниковых газов, основные источники выбросов, релевантные финансовые показатели.

Отметим, что стандарт IFRS S2 рекомендует раскрывать косвенные выбросы парниковых газов (Score 3), поскольку у многих компаний на косвенные выбросы приходится существенная доля выбросов, а, следовательно, и климатических рисков.

Таким образом, целесообразно включить в систему ключевых показателей железнодорожного предприятия также финансовые метрики, отражающие устойчивость компании в условиях изменения климата.

Предлагается включить 3 группы показателей:

- экологические, включающие абсолютные и относительные (удельные) показатели;

- показатели активности компании по снижению выбросов;

- финансовые показатели.

Включение в систему КРІ управления выбросами показателей и метрик из разных групп позволяет осуществить комплексный подход для оценки управления выбросами парниковых газов. Такая система показателей позволяет сформировать цели устойчивого развития, направленные на снижение рисков и создание новых возможностей в области регулирования ПГ.

Экологические показатели позволяют объективно измерить экологическое воздействие предприятия на окружающую среду и контролировать соответствие климатическому законодательству и принятым обязательствам, а также проводить оценку эффективности экологической политики.

Целесообразно выделять абсолютные и относительные выбросы парниковых газов. Выделенные абсолютные показатели являются основными данными для экологической отчетности и позволяют оценить вклад компании в углеродоемкость экономики страны. К ним относятся:

1. Суммарный объем выбросов парниковых газов, рассчитываемый по формуле 33:

$$M_{CO_2} = \sum M_{score\ 1} + \sum M_{score\ 2}, \quad (33)$$

где:

$\sum M_{score\ 1}$ - суммарный объем выбросов парниковых газов Score 1, тCO₂ -экв;

$\sum M_{score\ 2}$ – суммарный объем выбросов парниковых газов Score 2, тCO₂ -экв.

2. Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 1, рассчитываемый по формуле 34:

$$\sum M_{score\ 1} = \sum_{i=0}^n M_{i, score\ 1}, \quad (34)$$

где:

$M_{i, score\ 1}$ – масса выбросов парниковых газов от *i*-го источника, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 1, тCO₂ -экв;

n – количество источников, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 1.

3. Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 2, рассчитываемый по формуле 35:

$$\sum M_{score\ 2} = \sum_{i=0}^n M_{i, score\ 2}, \quad (35)$$

где:

$M_{i, score\ 2}$ – масса выбросов парниковых газов от *i*-го источника, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 2, тCO₂ -экв;

n – количество источников, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 2.

4. Объем выбросов парниковых газов Score 3 по ключевым категориям, рассчитываемый по формуле 36:

$$\sum M_{\text{score 3}} = \sum_{i=0}^n (M^x_{i, \text{score 3}} + M^y_{i, \text{score 3}} + \dots), \quad (36)$$

где:

$M^x_{i, \text{score 3}}$ – масса выбросов парниковых газов, выбросы которых могут быть отнесены к категории x Score 3, тСО₂ -экв;

$M^y_{i, \text{score 3}}$ – масса выбросов парниковых газов, выбросы которых могут быть отнесены к категории y Score 3, тСО₂ -экв;

n – количество категорий.

Для повышения прозрачности оценки выбросов парниковых газов по всей цепочке создания услуги следует включить метрики, отражающие долю поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах парниковых газов. Это позволит максимально полно оценивать климатическое воздействие компании при предоставлении услуг по перевозке. Так как законодательно отчетность и раскрытие информации в области регулирования парниковых газов обязаны предоставлять только крупные эмитенты выбросов не все компании-поставщики имеют данную отчетность и могут предоставлять необходимую информацию. С этой точки зрения целесообразно выделить ключевые категории Score 3, которые вносят наибольший вклад, и взаимодействовать с организациями в рамках данных категорий с постепенным вовлечением все большей доли поставщиков. Итоговым результатом должен быть взаимный учет всех косвенных выбросов по цепочке жизненного цикла услуг, но это возможно только в случае ужесточения законодательства со стороны регулятора.

В связи с этим, также важно учитывать долю поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах ПГ или имеющих экологическую сертификацию (по категориям Score 3). Данный показатель можно рассчитать по формуле 37:

$$D_{\text{пос}} = P_3 / P_{\text{общ}} * 100\%, \quad (37)$$

где:

P_3 – количество поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах ПГ или имеющих экологическую сертификацию (в отдельной категории Score 3), шт.;

$P_{\text{общ}}$ – общее количество поставщиков (в отдельной категории Score 3), шт.

Относительные экологические показатели позволяют оценивать реальный эффект от внедрения новых технологий. Наиболее важным показателем здесь является удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы, который рассчитывается по формуле 26. Он позволяет оценивать углеродоемкость предоставляемых услуг, в том числе сравнивать эффективность транспортных процессов разных структурных подразделений, маршрутов, категорий локомотивов и т.д. Следует различать удельный выброс для грузовых и пассажирских перевозок, так как они требуют разного подхода в управлении выбросами парниковых газов.

Также в системе показателей были выделена метрика удельного выброса парниковых газов на m^2 отапливаемой площади для инфраструктурных объектов железнодорожного предприятия, рассчитываемая по формуле 38:

$$УВ_{\text{инф}} = M_{\text{co2}} / S * 10^6, \quad (38)$$

где:

M_{co2} – суммарный выброс углекислого газа, образующийся при сжигании топлива, необходимого для отопления инфраструктурных объектов, т CO_2 -экв.;

S – отапливаемая площадь инфраструктурных объектов, m^2 ;

10^6 – переводной коэффициент.

Котельные, используемые для производства тепловой энергии, вносят существенный вклад в выбросы парниковых газов и данный показатель позволит стимулировать компанию к реализации проектов в области достижения углеродно нейтральной инфраструктуры.

Показатели активности компании по снижению выбросов парниковых газов позволяют управлять процессом улучшений и стимулировать инновации. Основная задача данных метрик - оценка соответствия реальной ситуации запланированным планам. В связи с тем, что выбросы парниковых газов в железнодорожном предприятии связаны с двумя областями: прямые выбросы от тепловозов и дизельных локомотивов и косвенные выбросы от потребления электроэнергии для электровозов, то в первом случае анализ строится на оценке

структуры парка по категориям локомотивов, а во втором на основе оценки потребления низкоуглеродной энергии или использования ВИЭ по отношению к общему потреблению электроэнергии.

Структура транспортного парка по локомотивам разной категории рассчитывается по формуле 39:

$$D_i = L_i / L_{\text{общ}} * 100\% , \quad (39)$$

где:

L_i – количество локомотивов i – той категории, шт.;

$L_{\text{общ}}$ – общее количество локомотивов в транспортном парке, шт.;

Соответственно компания должна стремиться к формированию такой структуре подвижного состава, при которой использование углеродоемких типов локомотивов будет минимально. Приоритет может отдаваться электровозам, но при условии высокой доли ВИЭ и низкоуглеродной энергетики в общем потреблении электроэнергии. В противном случае снижение прямых выбросов парниковых газов будет происходить за счет увеличения косвенных энергетических выбросов.

В связи с этим важно также оценивать темпы обновления транспортного парка на более эффективные модели по показателю удельного выброса парниковых газов на единицу транспортной работы. Данный показатель рассчитывается по формуле 40:

$$T = \frac{L_t - L_{(t-1)}}{L_{(t-1)}} * 100\% , \quad (40)$$

где:

L_t – количество локомотивов более эффективной модели в отчетном периоде t , шт.;

L_{t-1} – количество локомотивов в предыдущем периоде, шт.

Оценка и раскрытие финансовых показателей направлена на формирование понимания взаимосвязи экономических показателей с управлением выбросов парниковых газов. Прежде всего это оценка «зеленых» инвестиций и финансов, которые позволяют снизить репутационные риски и привлечь новых инвесторов.

Как отмечалось выше зарубежные тенденции в области раскрытия климатической информации направлены также на оценку физических и переходных рисков. Несмотря на то, что в России пока данные стандарты необязательны, включение таких метрик целесообразно, в первую очередь в связи с тем, что ОАО «РЖД» осуществляет международные перевозки и раскрытие данной информации позволяет снизить репутационные риски в том числе. Кроме этого, оценка климатических рисков позволяет выделить приоритетные технологии, направленные на снижение выбросов парниковых газов, а также сформировать адаптационные климатические проекты.

Количественную оценку климатических рисков можно рассчитать по формуле 41:

$$R = W * Ущ, \quad (41)$$

где:

W - вероятность наступления события;

Ущ – материальный ущерб, млрд руб.

Также в качестве финансового показателя можно выделить экономический эффект от внедрения энергосберегающих технологий (с учетом жизненного цикла), который позволяет оценивать экономию финансовых ресурсов.

В таблице 24 приложения № 1 представлена характеристика показателей системы показателей эффективности управления выбросам парниковых газов.

В целом можно отметить, что часть данных показателей ОАО «РЖД» раскрывает в рамках ежегодного отчета устойчивого развития, однако ряд показателей является принципиально новым и требует сбора первичной документации для расчета.

В таблице 21 представлены значения метрик и показателей ОАО «РЖД» по управлению выбросов парниковых газов на основании данных за 2024 год.

Таблица 21. Показатели ОАО «РЖД», рассчитанные на основе данных 2024 года [91, 98, 103]

Показатель	Ед. измерения	Значение
Суммарный объем выбросов парниковых газов	млн тСО ₂ -экв	35,6
Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 1	млн тСО ₂ -экв	10,2
Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 2	млн тСО ₂ -экв	25,4
Объем выбросов парниковых газов Score 3 по ключевым категориям	млн тСО ₂ -экв	В настоящий момент оценка не проводится
Удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы: - грузовые перевозки; - пассажирские перевозки;	гСО ₂ -экв /ткм гСО ₂ -экв /пасс*км	7,7 28
Удельный выброс парниковых газов на м ² отапливаемой площади (для инфраструктурных объектов), гСО ₂ -экв	гСО ₂ -экв / м ²	Отсутствуют данные для расчета
Удельные выброс парниковых газов на единицу выручки, т СО ₂ -экв / млн руб. выручки, в том числе: - по выбросам Score 1; - по выбросам Score 2	тСО ₂ -экв / млрд руб. тСО ₂ -экв/ млрд руб. тСО ₂ -экв/млрд руб.	0,0126 0,0036 0,09
Доля ВИЭ и низкоуглеродной энергетики в общем потреблении электроэнергии (по договорам или собственная генерация)	%	39,5
Темп обновления транспортного парка на более эффективные модели по показателю удельного выброса парниковых газов на единицу транспортной работы	%	Отсутствуют данные для расчета

<p>Структура транспортного парка* по локомотивам разной категории:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дизельные локомотивы и тепловозы; - биодизельные локомотивы; - электровозы; - двухрежимные дизель –электрические локомотивы; - локомотивы с аккумуляторными батареями; - гибридные локомотивы с аккумуляторными батареями; - локомотивы, работающие на сжиженном природном газе; - локомотивы с водородными топливными элементами <p>* - рассмотрен парк магистрального подвижного состава</p>	%	<p>19,7 в стадии испытания</p> <p>80,3 в стадии испытания</p> <p>в стадии испытания</p> <p>в стадии испытания</p> <p>менее 0,1% в стадии испытания</p>
Доля поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах ПГ или имеющих экологическую сертификацию (по категориям Score 3)	%	В настоящий момент оценка не проводится
Объем привлеченного «зеленого» и ESG-связанного финансирования	млрд руб.	около 70
Экономический эффект от внедрения энергосберегающих технологий (с учетом жизненного цикла)	млрд./год.	6,3
Количественная оценка климатических рисков	млрд руб./год.	В настоящий момент оценка не проводится

На основании полученных данных можно сделать вывод, что компании необходимо сфокусироваться на оценке выбросов Score 3 и работе с поставщиками в области раскрытия климатической информации. Кроме управления выбросами на транспортных процессах, следует также проводить анализ выбросов от обеспечения деятельности инфраструктурных объектов, что может внести

серьёзный вклад в снижение выбросов парниковых газов. Для оценки процесса модернизации подвижного состава необходимо оценивать темпы замены локомотивов на более совершенные типы с точки их энергоэффективной и углеродоемкости по отношению к совершенной транспортной работе.

Необходимо отметить, что анализ управления выбросов парниковых данных на основании представленной системы ключевых показателей может осуществляться на разных уровнях управления:

- корпоративный, определяющий общую стратегию, политику управления выбросами ПГ, которые решают конкретные операционные задачи в рамках своего филиала задающий целевые значения системы ключевых показателей;

- региональный (на уровне филиалов) отвечает за реализацию климатической стратегии на конкретной территории в соответствии с целевыми значениями;

- уровень отдельных подразделений, которые решают конкретные операционные задачи в рамках своего подразделения.

Таким образом, разработка системы ключевых показателей управления выбросами парниковых газов на железнодорожном предприятии является стратегической необходимостью, обусловленной комплексом экономических, регуляторных, операционных и репутационных факторов. Несмотря на то, что железнодорожный транспорт относится к одному из самых энергоэффективных видов перевозок, он обладает значительным потенциалом для дальнейшего снижения углеродного следа. Реализация этого потенциала невозможна без комплексной системы измеримого и контролируемого управления выбросами.

Следует отметить, что система ключевых показателей является основой стратегического управления и важным элементом системы экологического менеджмента.

В условиях ужесточения климатического законодательства (как национального, так и, в перспективе, трансграничного) железнодорожные компании обязаны не только отчитываться о выбросах, но и демонстрировать прогресс в их сокращении. Представленные показатели основаны на

стандартизированных международных подходах регулирования выбросами парниковых газов. Это позволяет выстроить взаимоотношения с регуляторами, инвесторами и партнерами, обеспечивая прозрачность, снижая риски штрафов и будущих ограничений.

Также следует отметить, что значительная часть негативных выбросов в железнодорожной отрасли связана с потреблением энергии. Поэтому показатели, нацеленные на снижение выбросов, тесно коррелируют с показателями снижения операционных расходов. Инвестиции в энергоэффективные технологии, обновление парка и совершенствование логистических процессов, обоснованные через снижение углеродоемкости, часто оказываются экономически целесообразными, обеспечивая долгосрочную экономию ресурсов.

Все больше грузоотправителей и пассажиров учитывают экологичность транспорта при принятии решений. Наличие верифицированной системы показателей и публичных целей по их улучшению позволяет железнодорожному предприятию позиционировать себя как экологически ответственного перевозчика, привлекать «зеленые» инвестиции, входить в устойчивые логистические цепочки крупных корпораций и соответствовать ожиданиям общества.

Крайне важно обеспечить надежную методическую и технологическую базу для сбора, верификации и анализа данных. Вовлечь все уровни управления — от стратегического до тактического и операционного. Также формировать корпоративную культуру экологической ответственности.

3.3. Особенности реализации климатических проектов железнодорожной отрасли

В настоящий момент Россия находится в стадии формирования углеродного рынка. С 2023 года была введена обязательная углеродная отчетность для крупных эмитентов, объем выбросов парниковых газов которых составляет свыше 150 тыс. тонн CO₂-экв. В качестве эксперимента в Сахалинской области введен пилотный проект по квотированию на основе механизма «Cap-and-trade», который

устанавливает ограничение на общий объём разрешённых выбросов в определённом регионе или отрасли. Установленный объём выбросов распределяется между промышленными предприятиями в виде углеродных единиц. В случае выполнения своих климатических обязательств компании могут продавать свои углеродные единицы другим участникам рынка, у которых наблюдается превышение выбросов парниковых газов.

В настоящий момент, кроме Сахалинской области, на территории России действует добровольный углеродный рынок. Однако, правительством отмечается, что вопрос ужесточения законодательства в области регулирования выбросами парниковых газов на всей территории страны будет обсуждаться с 2028 года. Учитывая, что транспортная отрасль является крупным эмитентом негативных выбросов в атмосферный воздух, разработка подходов управления выбросами парниковых газов является важной задачей для транспортных компаний [58].

Климатические проекты могут стать одним из инструментов, позволяющим железнодорожным компаниям снизить климатическое воздействие на окружающую среду и стать участниками углеродного рынка. В нормативно-правовых документах под климатическим проектом подразумевается «комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение (предотвращение) выбросов парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов». Таким образом, в широком смысле их можно подразделить на природные, направленные на расширение потенциала поглощения ПГ, например, за счет лесовосстановления, и технологические, направленные на снижение выбросов ПГ, например, за счет повышения энергоэффективности. В целом в мировой практике принято выделять 14 типов проектов, в том числе и на транспорте, внутри которых допускаются различные методики их реализации. Обобщенный алгоритм реализации климатических проектов компаниями представлен на рисунке 14.

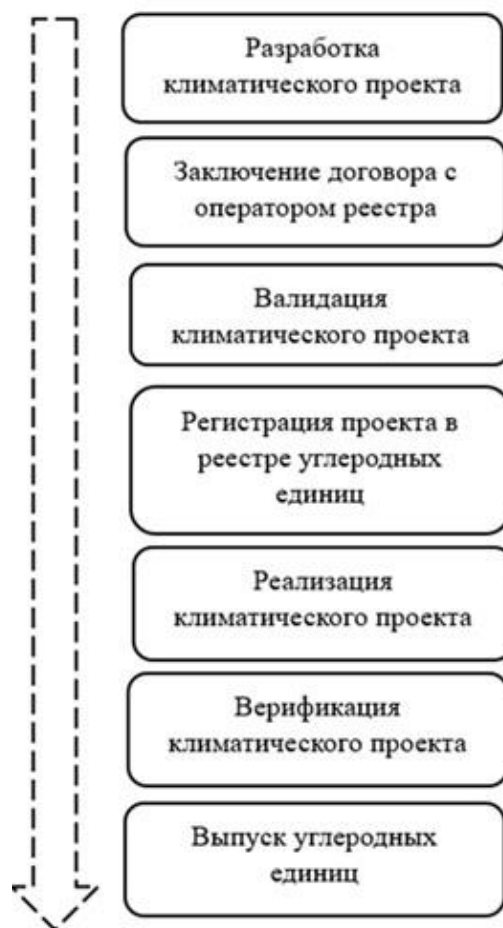


Рис.14. Алгоритм реализации климатических проектов в России [78, 99]

В процессе валидации определяется соответствие климатического проекта утвержденным нормативным требованиям:

- измеримость – расчет объема сокращений парниковых газов должен быть прозрачен и подтвержден экспертными органами по валидации и верификации, которые в свою очередь должны быть аккредитованы для осуществления данного вида деятельности;
- сокращение выбросов или увеличение их поглощения не должно являться результатом влияния дополнительных факторов, которые не связаны с мероприятиями проекта;
- мероприятия, предусмотренные проектом, не должны противоречить существующему нормативно-правовому законодательству;
- должны быть минимизированы риски двойного учета выбросов, а также риски, связанные с прямым или косвенным увеличением ПГ в других областях при реализации мероприятий климатического проекта;

- применение принципа дополнительности [14, 94].

Последнее требование заключается в том, что мероприятия, предусмотренные климатическим проектом, должны осуществляться в дополнение к существующей хозяйственной деятельности предприятия или в противовес обычной практике бизнеса в соответствии с действующим законодательством и принятыми нормами ведения бизнеса. Основная идея состоит в том, что основным инструментом стимулирования реализации климатического проекта должна стать возможность продажи углеродных единиц.

В зарубежных странах для оценки принципа дополнительности чаще всего используют стандарты VCS и Gold Standard, в основе которых лежит финансовый анализ, который должен отражать влияние дохода от продажи углеродных единиц на окупаемость проекта; анализ барьеров; анализ практики применимости, отражающий новизну и уникальность климатического проекта; нормативно-правовой анализ, который должен показать, что реализация проекта не носит обязательный характер и не обусловлена требованиями регуляторов.

В России также разработано руководство по обоснованию дополнительности проектной деятельности, размещенное на сайте реестра углеродных единиц, которое предусматривает поэтапный подход к обоснованию и оценке соответствия принципу дополнительности климатических проектов. По сути, он отражает подходы международных стандартов. В таблице 3.5. представлены методические подходы к обоснованию дополнительности проекта.

Таблица 22. Основные этапы оценки дополнительности проектной деятельности [112]

Название этапа	Характеристика этапа
Этап 0	Оценка уникальности климатического проекта. Включает в себя два подэтапа: - проверка того, является ли предлагаемая проектная деятельность «прорывной»; - проверка того, является ли предлагаемая проектная деятельность распространенной практикой.

Этап 1	Выявление альтернатив проектной деятельности.
Этап 2	<p>Обоснование дополнительности, которое подразумевает возможность обоснования двумя путями:</p> <p>1 вариант: обоснования того, что предлагаемая проектная деятельность не является:</p> <ul style="list-style-type: none"> - или наиболее экономически или финансово привлекательной; - или экономически или финансово возможной без учета средств от продажи углеродных единиц. <p>2 вариант: выявление барьеров для реализации проектной деятельности.</p>

Следует отметить, что этап 0 (предварительный этап) осуществляется только если законодательно утверждены отраслевые списки новых перспективных технологий и проектов распространенной практики. Определение проекта как «прорывного» возможно только для технологических климатических проектов, направленных на снижение выбросов парниковых газов, которые предполагают использование новых перспективных технологий. При этом важным фактором является отсутствие государственной поддержки реализации данных технологий, а период кредитования в рамках проекта не должен превышать 10 лет. В случае признания статуса климатического проекта как «прорывной», проектная деятельность является дополнительной и дальнейшие этапы проходить не нужно.

При наличии списков проектов распространенной практики климатический проект в обязательном порядке проверяется на его соответствие данному списку. В случае подтверждения соответствия проект не может быть отнесен к климатическим, так как добровольный углеродный рынок в первую очередь рассматривается как инструмент поддержки новых технологий.

На этапе 1 рассматривается наличие альтернативных вариантов реализации деятельности, которые позволят достичь результатов, предусмотренных климатическим проектом. В случае если климатический проект представляет собой единственно возможный сценарий снижения выбросов или повышения потенциала поглощения в соответствии с обязательным законодательным и нормативным

актам, то в таком случае проектная деятельность считается не дополнительной. В противном случае необходимо обосновать дополнительную на этапе 2.

Предполагается проведение инвестиционного анализа либо простым анализом затрат (в случае если единственным доходом является доход от продажи углеродных единиц), либо инвестиционным сравнительным анализом, либо сравнением с эталонным финансовым сценарием.

В первом случае климатический проект будет соответствовать принципу дополнительности, если он является менее финансово привлекательным по сравнению с альтернативами, т.е. затраты на его реализацию выше, чем затраты хотя бы одного альтернативного проекта.

В других случаях необходимо представить сравнение финансовых инвестиционных показателей рассматриваемого проекта и альтернативных вариантов или эталонного финансового сценария для данного типа проектов. Как и в предыдущем варианте необходимо отразить финансовую непривлекательность проекта для того, чтобы соответствовать принципу дополнительности [39].

В ситуации если рассматриваемый климатический проект показывает наилучшие финансовые показатели, то предприятие должно провести барьерный анализ. К барьерам можно отнести: технологические, технические, инвестиционные, регуляторные и др.

Если в результате проведенного барьерного анализа выявлено наличие препятствий, которые препятствовали бы осуществлению проектной деятельности, но при этом не мешают реализации хотя бы одного альтернативного сценария, то проектная деятельность соответствует принципу дополнительности, в противном случае проект не может быть отнесен к климатическим и зарегистрированным в реестре углеродных единиц.

Таким образом, принцип дополнительности является одним из ключевых критериев соотнесения проектной деятельности к климатическим проектам. Он является доказательством того, что проект по сокращению или поглощению выбросов парниковых газов не произошел бы в базовом сценарии развития бизнеса. В связи с этим в первую очередь при разработке климатических проектов на

железнодорожном предприятии следует каждый потенциальный проект проверить в соответствии с алгоритмом представленным на рисунке 5.

Следует отметить, что реализация климатических проектов в железнодорожной отрасли требует четко выстроенного организационно-управленческого механизма, который позволит стать полноправным участником углеродного рынка и получать дополнительные инвестиции для осуществления природоохранной деятельности в области управления выбросами парниковых газов.



Рис.16. Алгоритм обоснования дополнительности проектной деятельности [60, 112]

Климатические проекты в железнодорожной сфере обладают рядом отличительных черт, которые определяют подходы к их планированию и дальнейшей реализации.

В первую очередь следует отметить, что железнодорожная инфраструктура и подвижной парк обладают длительным жизненным циклом. В связи с этим,

связанные с ними инвестиционные проектные решения будут оказывать долгосрочное климатическое воздействие. В случае финансирования в энергоёмкую инфраструктуру или локомотивы в настоящий момент, они будут задерживать или препятствовать переходу на низкоуглеродные альтернативы в течение длительного периода времени. В зарубежной литературе такое явление называется Carbon Lock-In (углеродная фиксация) [128]. При рассмотрении инфраструктуры и оборудования, подверженных проблеме углеродной фиксации, в первую очередь необходимо провести анализ сроков окупаемости проекта и сроков службы. Это позволит избежать инвестиций в технологии, которые станут углеродно-неэффективными в ближайшем будущем.

К другой особенности климатических проектов можно отнести высокую инфраструктурную взаимозависимость. Принципиально новые технологические решения могут повлечь за собой также существенные инвестиции в преобразование инфраструктуры. Так, например, внедрение водородных поездов требует принципиально новых технологических решений, связанных с производством водорода, его транспортировкой, хранением и созданием сети заправочных станций.

Также следует учитывать региональные особенности осуществления железнодорожной деятельности. В густонаселенных регионах, где железная дорога максимально электрифицирована, основные направления проектной деятельности будут направлены на повышение энергоэффективности и внедрение ВИЭ - генерации. Здесь можно рассмотреть возможность реализации совместных проектов как с крупными поставщиками электроэнергии, ориентированными на «озеленение» своей энергетической системы, так и с небольшими поставщиками электроэнергии от возобновляемых источников энергии.

Для участков железнодорожной сети, которая по экономическим и технологическим соображениям не может быть электрифицирована, климатические проекты могут быть направлены на поиск оптимальной замены дизельных поездов и тепловозов на низкоуглеродные альтернативы.

Необходимо отметить, что полный переход на ВИЭ в транспортных процессах в железнодорожной отрасли в настоящий момент пока невозможен из-за непостоянства поставок энергии и отсутствия достаточной инфраструктуры, но могут активно применяться как дополнительные источники энергии для отопления, кондиционирования воздуха и охлаждения в офисных зданиях и производственных цехах, а также для поддержки оборудования вдоль железнодорожного полотна. В дальнейшем расширение использования ВИЭ в железнодорожной отрасли позволит строить низкоуглеродные железнодорожные станции и вокзалы с минимальным вовлечением более углеродоемкой энергии со стороны внешних поставщиков [50].

В зонах вечной мерзлоты и в климатически уязвимых районах фокус климатических проектов может сместиться на адаптационные проекты, которые являются достаточно дорогостоящими, но позволяющими снизить физические климатические риски, связанные с разрушением инфраструктуры в результате негативных последствий из-за изменения климата.

На рисунке 6 представлены основные направления проектной деятельности в рамках ее реализации в климатических проектах.



Рис.17. Ключевые направления климатических проектов в железнодорожной отрасли [58, 68]

Таким образом, особенности железнодорожной отрасли формируют уникальный контекст для климатических проектов. Крайне важно отобрать наиболее эффективные и перспективные проекты, которые с одной стороны обладают максимальным потенциалом в области снижения выбросов парниковых газов, с другой стороны позволят рационально использовать инвестиции и «зеленые» финансы.

В рамках деятельности железнодорожной компании целесообразно реализовывать проекты на разных организационных уровнях:

- на уровне компании: крупные долгосрочные инфраструктурные проекты со сроком окупаемости свыше 10 лет;
- на уровне филиала: среднесрочные проекты с окупаемостью 3-10 лет, а также адаптационные проекты с учетом географических особенностей региона;
- на уровне подразделения: краткосрочные проекты со сроком окупаемости до трех лет и не требующие крупных инвестиций.

Методика отбора климатических проектов должна включать в себя последовательные шаги, которые позволят выбрать наиболее перспективные решения.

1 шаг включает в себя разработку проектной документации, которая содержит:

- описание проекта и базового сценария, отражающего климатическую ситуацию до реализации проектной деятельности;
- инвестиционный анализ, в том числе рассчитанный доход от продажи углеродных единиц, а также ряд ключевых финансовых метрик: дисконтируемый срок окупаемости, внутренняя норма доходности, чистая приведенная стоимость проекта, отношение издержек и прибыли и др.;
- источники финансирования;
- оценка финансовых и климатических рисков реализации проекта;
- оценка объема сниженных выбросов парниковых газов, рассчитанная по одной из утвержденных методик (либо в случае отсутствия в реестре

углеродных единиц подходящей методики, можно инициировать утверждение собственной методики).

2 шаг включает в себя оценку дополнительности в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3. Обоснование дополнительности климатических проектов удобно проводить сразу на основании инвестиционного анализа, который был представлен в проектной документации. Как уже отмечалось выше, соответствие принципу дополнительности является одним из ключевых факторов валидации климатического проекта.

На данных этапах отбираются перспективные климатические проекты, которые с одной стороны приносят существенный вклад в снижение выбросов парниковых газов, с другой стороны являются для компании приемлемыми с точки зрения бюджета и финансовых рисков.

Шаг 3 включает в себя определение приоритета реализации климатических проектов по снижению выбросов парниковых газов на основании балльной системы отбора.

Суть данного подхода заключается в выделении наиболее значимых критериев и на основании экспертной оценки присуждение им баллов. В данной работе представлены 6 основных критериев для отбора, раскрытых в таблице 24.

Таблица 23. Балльная система отбора климатических проектов в железнодорожной отрасли

Критерий	Алгоритм выставления баллов	Комментарий
К1: Оценка потенциала снижения выбросов парниковых газов	0 баллов – проекты с низким потенциалом снижения выбросов парниковых газов; 1 балл – проекты со средним потенциалом снижения выбросов парниковых газов; 2 балла – проекты с высоким потенциалом снижения выбросов парниковых газов.	Оценка проводится на основании количества углеродных единиц, которые будут выпущены в рамках реализации проекта. Граничные условия устанавливаются экспертами.

К2: Оценка сопутствующих экологических эффектов	<p>0 баллов – проекты, не обладающие сопутствующим положительным эффектом, либо данный эффект минимален;</p> <p>1 балл – проекты, обладающие сопутствующим положительным эффектом;</p> <p>2 балла – проекты, обладающие существенным сопутствующим положительным эффектом.</p>	<p>К сопутствующим экологическим эффектам можно отнести:</p> <ul style="list-style-type: none"> • снижение загрязнения воздуха; • снижение шумового воздействия; • улучшение состояния почв; • снижение загрязнения водоемов и подземных источников; • снижение количества образованных отходов. <p>Оценка проводится экспертами на основании количественных значений снижения негативного воздействия на элементы окружающей среды.</p>
К3: Потенциал проекта для распространения на другие структурные подразделения и филиалы	<p>0 баллов – проект узконаправлен и невозможен для дальнейшего распространения;</p> <p>1 балл – имеется возможность создания отраслевого стандарта;</p>	<p>Проект может стать основой для создания отраслевых стандартов, что позволит распространить положительный опыт также для других структурных подразделений.</p>
К4: Оценка доли внебюджетных источников	<p>0 баллов – проект реализуется полностью из собственных средств компании;</p> <p>1 балл – проект предполагает возможность привлечения «зеленого» финансирования;</p> <p>2 балла – возможно софинансирование партнерами.</p>	<p>Возможность привлечения дополнительного «зеленого» финансирования или привлечения финансовых средств партнеров дает большие возможности для реализации климатического проекта.</p>

К5: Совместимость и интеграция в существующую инфраструктуру	<p>0 баллов – проект требует строительства новой инфраструктуры без возможности интеграции в существующую;</p> <p>1 балл – требуется модернизация существующей инфраструктуры;</p> <p>2 балла – минимизация необходимости в полной переделке систем, высокий потенциал интеграции с существующей инфраструктурой.</p>	<p>Возможность интеграции технологий и решений климатического проекта в существующую инфраструктуру позволит существенно снизить инвестиции.</p> <p>Принципиально новые решения могут иметь высокий потенциал для снижения выбросов парниковых газов, но в случае модернизации или необходимости строительства принципиально новой инфраструктуры могут создавать существенные финансовые риски.</p>
К6: Уровень технологической готовности	<p>0 баллов – проекты на стадии идеи;</p> <p>1 балл – пилотные проекты;</p> <p>2 балла – проекты с высокой технологической зрелостью;</p>	<p>В первую очередь приоритет отдается проектам, которые обладают более высокой зрелостью технологии, что позволяет более точно оценивать риски от реализации проекта и получаемые эффекты.</p>

На основании представленных критериев можно рассчитать интегрированный показатель, определяемый по следующей формуле:

$$I_n = K_1 * w_1 + K_2 * w_2 + K_3 * w_3 + K_4 * w_4 + K_5 * w_5 + K_6 * w_6, \quad (42)$$

где:

I_n – интегральный показатель, баллы;

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ – критерии отбора климатических проектов в соответствии с таблицей 3.6, баллы;

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ – вес критерия.

Вес критерия определяется группой экспертов в зависимости от стратегических приоритетов компании. Суммарное значение должно составлять единицу в соответствии со следующей формулой:

$$w_1+w_2+w_3+w_4+w_5+w_6=1 \quad (43)$$

На основании полученного значения интегрального показателя климатические проекты ранжируются и составляется рейтинг проектов.

Таким образом, климатические проекты можно рассматривать как дополнительный инструмент снижения выбросов парниковых газов, позволяющий реализовывать проектную деятельность за счет получения дохода от продажи углеродных единиц. В Российской Федерации углеродный рынок находится еще в стадии формирования, в связи с этим спрос на углеродные единицы пока не большой, но в связи с ужесточением законодательства со стороны органов государственной власти и местного самоуправления, и добровольный и регулируемый рынок будут развиваться. В таком случае углеродные единицы организация может 25 в реестре.

Одним из самых важных критериев климатических проектов является обоснование их дополнительной. Проектная деятельность в рамках климатического проекта направлена на реализацию мероприятий, которые без углеродного рынка не осуществлялась бы, так как имеет более финансово привлекательные альтернативы. При осуществлении процесса валидации, аккредитованные эксперты, в первую очередь как раз оценивают соответствие принципу дополнительной.

Для железнодорожной отрасли существует широкий спектр направлений, в рамках которого может проводится проектная деятельность. При этом могут реализовываться крупные уникальные проекты, которые могут стать основой климатического портфеля. В первую очередь они связаны с внедрением низкоуглеродной инфраструктуры и поиском новых альтернативных источников энергии для подвижного состава. Такие проекты должны оцениваться особенно тщательно, так как капитальные объекты обладают длинным жизненным циклом. Инвестирование в более углеродоёмкие технологии в данном случае будут отодвигать достижение целей углеродной нейтральности.

Следует также отметить, что в мире и постепенно в России возрастает роль «зеленый» инвестиций. В зарубежных странах уже в обязательном порядке

приняты стандарты, направленные на оценку климатических рисков. В связи с этим существенную роль имеют и адаптационные климатические проекты, ориентированные на снижение физических климатических рисков в климатически уязвимых районах.

Существенный перечень направлений проектной деятельности в железнодорожной отрасли требует формирования методических подходов, позволяющих выделить наиболее приоритетные проекты, как с точки зрения потенциала снижения выбросов парниковых газов, так и с точки зрения эффективности расходования финансовых ресурсов.

Предлагаемая методика отбора климатических проектов позволит пошагово отсеивать менее эффективные решения и включает в себя три этапа. На первом этапе подготовка проектной технической документации позволит отбросить проектную деятельность, которая обладает непреодолимыми в настоящий момент различными барьерами (финансовыми, техническими, технологическими, кадровыми и др.), либо приведет к возникновению существенных финансовых рисков, влияющих на устойчивость компании.

На втором этапе на основе разработанной документации проводится оценка дополнительности проекта и отбор проектов, которые соответствуют данному принципу. Соответствие принципу дополнительности для покупателя является гарантией того, что затраченные средства на углеродные единицы, действительно приводят к новому, дополнительному сокращению выбросов, которое иначе бы не произошло.

На третьем этапе проводится ранжирование проектов на основе балльной системы оценки ключевых критериев отбора. Причем выбор веса каждого критерия позволяет ранжировать проекты в зависимости от стратегических приоритетов компании.

Таким образом, в итоге железнодорожное предприятие получает список наиболее перспективных климатических проектов, которые потом в дальнейшем уже размещаются в реестре углеродных единиц.

Климатические проекты для железнодорожного предприятия один из элементов трансформации стратегии устойчивого развития, позволяющие с одной стороны сформировать дополнительные возможности для снижения выбросов парниковых газов, а значит и достичь государственных задач в рамках национальной климатической политики, с другой стороны снизить климатические риски и стать более привлекательными для потенциальных инвесторов и партнеров в эпоху становления низкоуглеродной экономики. В особенности это касается международного сотрудничества, где климатическое законодательство более жесткое и существуют перспективы развития трансграничного углеродного регулирования, которое может вызвать дополнительные финансовые потери.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение климата вследствие антропогенной деятельности человека является глобальной проблемой, которая признается мировым сообществом и Российской Федерацией. Неблагоприятные климатические изменения являются фактором необратимых последствий как для природных, так и антропогенных систем, что несет повышение рисков обеспечения безопасности и устойчивого социально-экономического развития.

Для минимизации этих рисков со стороны государства формируется нормативно-правовая, методическая и институциональная база, направленная на трансформацию ключевых отраслей экономики, которые являются значимыми источниками парниковых газов.

Транспортная отрасль, в том числе и железнодорожный транспорт, вносит существенный вклад в негативные климатические изменения, что требует развития методических подходов для совершенствования природоохранной деятельности транспортно-логистических компаний. При этом следует отметить, что железнодорожный транспорт обладает большим потенциалом для снижения углеродоемкости предоставляемых услуг по перевозке грузов и пассажиров. Следует отметить, что в первую очередь важно скорректировать методику расчета углеродного следа, которая позволит более точно оценивать выбросы парниковых газов как непосредственно от процессов перевозки, так и выявлять удельные выбросы парниковых газов от отдельных маршрутов, типов локомотивов, подразделений компании. В зависимости от задач и наличия достоверной информации, которые ставятся при оценке объемом выбросов парниковых газов, при расчете углеродного следа могут также учитываться выбросы от сопутствующих процессов.

В случае пассажирских перевозок это прямые и косвенные выбросы парниковых газов в результате расхода энергоносителей на техническое оснащение зданий вокзалов и платформ, а в случае грузовых перевозок также прямые и

косвенные выбросы парниковых газов в результате погрузочно-разгрузочных и маневренных работ.

Следует отметить, что модернизация железнодорожной инфраструктуры и локомотивного парка отличается длительным жизненным циклом, что требует оценки инвестиционных проектов и с точки зрения долгосрочного климатического воздействия этих объектов в будущем. В случае финансирования в энергоёмкую инфраструктуру или локомотивы в настоящий момент, они будут задерживать или препятствовать переходу на низкоуглеродные альтернативы в течение длительного периода времени. При этом, среди приоритетных направлений с нулевыми выбросами можно рассматривать поезда на водородных элементах (при использовании зеленого водорода и в случае, если производство водорода включает в себя технологии улавливания и хранения углекислого газа), а также электрификацию сетей и использование локомотивов на аккумуляторных батареях (в случае если потребляемая электроэнергия произведена от возобновляемых источников энергии). В переходном периоде могут применяться варианты использования локомотивов, работающих на альтернативных видах топлива, например биодизеле или сжиженном природном газе, которые выбрасывают меньшее количество прямых выбросов углекислого газа в атмосферу.

Помимо разработки и реализации масштабных инвестиционных проектов, в рамках программы по снижению выбросов углекислого газа могут реализоваться организационные, технологические, природоохранные мероприятия, в том числе ресурсосберегающие и мероприятия по повышению энергоэффективности.

Однако, данные мероприятия не должны реализовываться точно и бессистемно. Важно для эффективного расходования ресурсов, сформировать стратегический подход управления выбросами парниковых газов. Это реализуется в рамках внедрения методических аспектов климатического регулирования в природоохранную деятельность железнодорожных компаний в формате совершенствования системы экологического менеджмента предприятия.

На этапе планирования важно сформировать программу управления выбросами парниковых газов, в основе которой лежал бы комплексный подход на

основе стратегических и операционных целей и анализа факторов, влияющих на выбросы углекислого газа от основных источников при осуществлении транспортных процессов. При отборе мероприятий должен учитываться не только достигаемый климатический эффект, выраженный в фактическом объеме углекислого газа, не поступившего в атмосферу, но и сопутствующий экологический и экономический эффект.

Следует учитывать, что в последнее время в зарубежных странах для привлечения «зеленых» финансов требуется обязательная отчетность по климатическим рискам, включающая оценку переходных и экологических рисков. Это требует увязки финансовых показателей с климатическими метриками. Таким образом при формировании системы ключевых показателей оценки эффективности управления выбросами парниковых газов также предполагается использование финансовых показателей наряду с экологическими.

Интеграция элементов управления выбросами парниковых газов позволит усилить конкурентное преимущество железнодорожного транспорта как наиболее экологичного вида транспорта и позволит предлагать «низкоуглеродные» логистические продукты, что особенно актуально в рамках международного сотрудничества.

Как дополнительный фактор снижения углеродоемкости железнодорожных предприятий, может стать реализация климатических проектов в рамках участия в добровольном углеродном рынке. Предложенная методика отбора климатических проектов позволит отбирать перспективные климатические проекты, которые с одной стороны приносят существенный вклад в снижение выбросов парниковых газов, с другой стороны являются для компании приемлемыми с точки зрения финансовых рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»
2. Федеральный закон от 10.01.2003 №17-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»
3. Указ Президента РФ от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации»
4. Указ Президента РФ от 06.08.2025 № 547 «О сокращении выбросов парниковых газов»
5. Указ Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов»
6. Постановление Правительства РФ от 30.04.2022 № 790 (ред. от 04.04.2024) «Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц»
7. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 (ред. от 30.12.2023) «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации»
8. Постановление Правительства РФ от 20.04.2022 № 707 «Об утверждении Правил представления и проверки отчетов о выбросах парниковых газов, формы отчета о выбросах парниковых газов, Правил создания и ведения реестра выбросов парниковых газов и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»
9. Распоряжение Правительства РФ от 22 апреля 2015 г. № 716-р «Концепция формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации»

10. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.»

11. Распоряжение Правительства РФ от 22 октября 2021 г. № 2979-р (ред. от 04.04.2025) «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов»

12. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162 –р «Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации утвержденная»

13. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р (ред. от 06.11.2024) «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»

14. Приказ Минэкономразвития России от 11.05.2022 № 248 (ред. от 08.07.2024) «Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта»

15. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»

16. Приказ Минприроды России от 29.06.2017 № 330 «Методические указания по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов»

17. Приказ Минприроды России от 11.06.2021 №399 (ред. от 04.04.2023) «Об утверждении требований при обращении с группами однородных отходов I - V классов опасности»

18. Постановление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 28.01.2021 № 2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и

требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека среды обитания»

19. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33754-2016 «Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов автономного тягового и моторвагонного подвижного состава»

20. ГОСТ Р ИСО 14044-2021 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации»

21. ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021 «Газы парниковые. Часть 1. Требования и руководство по количественному определению и отчетности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации»

22. ГОСТ Р ИСО 14067-2021 «Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению»

23. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению»

24. ГОСТ Р 57262-2016/EN 16258:2012 «Экологический менеджмент. Расчет и декларирование энергопотребления и выбросов парниковых газов при предоставлении транспортных услуг»

25. ГОСТ Р ИСО 14050-2023 «Экологический менеджмент. Словарь»

26. Абрамян, А.Э., Капустина, Н.В., Еремеева, А.Е. Оценка привлекательности использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте // Вестник евразийской науки. –2023. – №4. – [Электронный ресурс] – Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-privlekatelnosti-ispolzovaniya-alternativnyh-istochnikov-energii-na-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения 23.04.2025)

27. Айрапетова, А.Г., Грега, В.М. Энергоэффективность и устойчивое развитие промышленных предприятий // В сборнике: Зеленая экономика: проблемы экологии и использования природных ресурсов в условиях форматирования многополярной экономики. Материалы II международной научно-практической конференции. Бухара. – 2025. – С. 144-148.

28. Айрапетова, А.Г., Ластовка, И.В. Возобновляемые источники энергии как новый тренд развития мирового энергетического рынка// Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2019. – №5-1 (119). – С. 70-74.
29. Альферович, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – Минск: БНТУ. – 2016. – 54 с.
30. Ахтямов, Р.Г., Макарова, Е.И., Гаврилова, А.А. Анализ выбросов парниковых газов стран BRICS и пути сокращения выбросов на железнодорожном транспорте // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – №3. – С. 694-705.
31. Ахтямов, Р.Г. Анализ путей сокращения выбросов парниковых газов стран brics на примере железнодорожного транспорта // Труды РГУПС. – 2023. – №2 (63). – С. 21-28.
32. Башмаков, И.А., Башмаков, В., Борисов, И. и др. Углеродная нейтральность в России: траектории до 2060 года // Центр энергоэффективности – XXI век. - Москва. - 2022 г. – С. 39.
33. Бездудная, А.Г., Смирнов, Р.В., Трейман, М.Г. Особенности развития углеродного менеджмента в современных условиях // Проблемы современной экономики. – 2023. – №1 (85). – С.153-156.
34. Бездудная, А.Г., Разумовский, В.М., Багиев, Г.Л. Смена парадигмы развития экономики России: основы государственного суверенитета // Проблемы современной экономики. – 2025. – №4 (96). – С.231-233.
35. Бойко, Н.Г. Погрузочно-разгрузочные работы и склады на железнодорожном транспорте / Н. Г. Бойко, С. П. Чередниченко. – Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – 2011. – 292 с.
36. Борцова, С., Конюхова, И., Мирджалалова, З., Печенюк, О., Сливченко, Л. Практические рекомендации по оценке экологических рисков. – Б.: 2015. – 130 с.

37. Брижанин, В.В., Филиппова, Р.В., Киселева, С.П., Остах, С.В. Перспективы углеродного регулирования в России и повышение ответственности и вовлеченности предприятий в деятельность по сокращению выбросов парниковых газов // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2023. – №2 – С.130-142.
38. Галкин, В.А., Кузина, Е.Л., Василенко, М.А., Василенко, Е.А., Лиманчук, Л.Н. Анализ зарубежного опыта повышения экологичности транспортного обслуживания // Компетентность. – 2023. – №1. – С. 20-28.
39. Горбачева, Н.В. Экономическая эффективность климатических проектов: традиционный и темпоральный подходы // Экономический журнал ВШЭ. – 2024. – №4. – С. 587-605.
40. Григорьева, А. В. Обоснование значимых нефинансовых факторов при построении системы КРІ с учетом отраслевой специфики // Вестник Академии знаний. – 2024. – №3 (62). – С. 137 -142.
41. Грузд, Д.Е. Цифровые двойники на железнодорожном транспорте // Вопросы права. – 2024. – №2. – С. 143-146.
42. Дривольская, Н.А., Чеченова, Л.М., Егоров, Ю.В. Электрификация как одно из направлений стратегии развития железнодорожного транспорта России // Вестник Евразийской науки. – 2019. – №3. – С. 128-133.
43. Ефимова, Г.А., Агборнеке, К.А., Ефимова, С.В., Федоров, Н.А. Природоохранные механизмы пространственного развития экономики Российской Федерации // Экономическое развитие России. – 2025. – Т. 32. № 12. – С. 181-183.
44. Ефремов, С. В. Концепция энергетической стратегии ОАО «РЖД» до 2050 года – отправной документ для полномасштабной разработки триады стратегий холдинга «РЖД»: энергетической, инфраструктурного развития и развития бизнеса на долгосрочный период // Московский экономический журнал. - 2021. - №2. – С. 334-342.
45. Жаворонкова, Н. Г., Агафонов, В. Б. Климатическое законодательство Российской Федерации: возможности и потенциал в условиях энергетического перехода // Lex russica. — 2022. — Т. 75. — № 1. — С. 32-33.

46. Зайнутдинова, А.Ф., Садыкова, А.Р., Ильгамова, Л.Ф., Мухаметова, И.В. Анализ перспектив использования биогаза в России // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – №5-2. – С. 181-184.
47. Закарюкин, В. П., Крюков, А. В., Любченко, И. А. Резервное электроснабжение объектов железнодорожного транспорта на базе технологий интеллектуальных сетей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – №1 (65). – С. 119-129.
48. Ивашкин, Д.С. Особенности рыночного метода определения косвенных энергетических выбросов парниковых газов // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2025. – №2. – С. 222-251.
49. Канаки В.В., Айдинян К.Ф. Основные направления деятельности и возможные сценарии развития перевозок железнодорожным транспортом // ЕГИ. – 2024. – №5 (55). – С. 149-153.
50. Крюков, А.В., Суслов, К.В., Батухтин, А.Г., Черепанов, А.В., Крюков, А.Е., Нгуен, К.Х. Применение возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения железных дорог постоянного тока // Журнал СФУ. Техника и технологии. – 2025. – №4. – С. 472-488.
51. 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. – С. 305-313.
52. Косарев, А.Б. Научные приоритеты использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). — 2020. — Т. 79. — № 5. — С. 293-300.
53. Кучерова, Д.Э., Гирич, М.Г., Левашенко, А.Д. Перспективы создания рынка углеродной торговли в БРИКС // Российский внешнеэкономический вестник. – 2024. – №9. – С. 60-77.
54. Мхитарян, Ю.И., Петросян, А.Е., Доброхотова, М.В., Дрюк, Е.В. Развитие стандартизации в области управления выбросами парниковых газов // Век качества. – 2023. – №1. – С. 9-28.

55. Плешаков, С.М. Особенности оценки углеродного следа на железнодорожном транспорте // Экономика строительства. – 2025. – №8. – С. 245-247.
56. Плешаков, С.М. Оценка экологического воздействия на окружающую среду от деятельности железнодорожного транспорта // Экономика строительства. – 2025. – №3. – С. 300-302.
57. Плешаков, С.М. Система управления парниковыми выбросами на железнодорожном транспорте // Экономика строительства. – 2025. – №2. – С. 311-313.
58. Плешаков, С.М. Совершенствование системы экологического менеджмента с учетом регулирования выбросов парниковых газов // Финансовые рынки и банки. – 2025. – №12. – С. 98-101.
59. Плешаков, С.М. Особенности реализации климатических проектов в железнодорожной отрасли // Финансовые рынки и банки. – 2026. – №1. – С. 98-101.
60. Плешаков, С.М., Гречиха, А.А., Чистяков, Э.Ю., Павлов, А.Ю. Проблематика внедрения искусственного интеллекта как нейропомощника на примере ОАО «РЖД» // Экономика железных дорог. – 2025. – №4. – С. 91-101.
61. Плешаков, С.М., Гречиха, А.А., Чистяков, Э.Ю. Организация системы экологического менеджмента на примере обрабатывающих производств // Техник транспорта: образование и практика. – 2025. – Т.6. – №3. – С. 326-336.
62. Плешаков, С.М., Шляева, А.Е. Повышение эффективности метрологической деятельности на железнодорожном транспорте // Развитие экономической науки на транспорте: сборник научных статей международной научно-практической конференции (1 декабря 2022 г.) / под редакцией Н.А. Журавлевой // Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 231-242.
63. Плешаков, С.М., Чистяков, Э.Ю. Достоверность результатов измерений // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в двух томах (18-25 апреля 2022 г.). // Петербургский

государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – Санкт-Петербург, 2022.– Т.2. – С. 83-88.

64. Плешаков, С.М. Зарубежный опыт расчета углеродного следа для железнодорожного транспорта // Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в современных условиях: материалы VIII международной научно-практической конференции (23-24 октября 2025 г.) / Под редакцией д-ра экон. наук проф. Г.Л. Багиева, д-ра экон. наук проф. А.Г. Бездудной, д-ра экон. наук доц. М.Г. Трейман. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2025. – С. 237-243.

65. Плешаков, С.М., Макаров, Ю.И., Верисокина, А.А., Верисокина, М.А. Обеспечение ОАО «РЖД» высококвалифицированными кадрами по направлению «Метрология, стандартизация и управление качеством». Предложение по фиксации опыта лабораторной деятельности на базе ПГУПС // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы VI всероссийская научно-техническая конференция с международным участием (12 ноября 2021 г.). – Омск: Изд-во Омский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 75-81.

66. Проскуракова, Л.Н. Политические и экономические последствия выбросов парниковых газов // В сборнике: достижения и развитие технологий в области парниковых газов: выбросы, улавливание и преобразование. – 2024.– С. 293-310.

67. Рагимов, Э.А. Сравнительный анализ энергоемкости и производства парниковых газов автомобильным и железнодорожным транспортом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – №3 (71). – С. 142-148.

68. Романовская, А.А. Подходы к реализации экосистемных климатических проектов в России // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. –Т. 87. - № 4. – С. 463–478.

69. Смирнова, О.П., Вавилова, М.А. Методические подходы к управлению рисками при внедрении системы экологического менеджмента на промышленном предприятии // Вестник Академии знаний. – 2023. – №1 (54). – С. 409-416.
70. Суздалева, А.Л. Климатические проекты: основные виды и их результативность // Вестник евразийской науки. – 2023. – №1. - С. 187-193.
71. Темиров, О.Ф. Распространенные способы получения водорода // Экономика и социум. – 2025. – №4-1 (131). – С.1174-1178.
72. Титова, Т.С., Евстафьев, А.М., Изварин, М.Ю., Сычугов, А.Н. Перспективы развития тягового подвижного состава. Часть 2 // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 2 (81). – С. 52-56.
73. Транспорт в России. 2024: Стат. сб. / Росстат. М. – 2024. – 100 с.
74. Уланов, А.А., Лыкова, М.П. Проблема углеродного следа в мире и его сокращение на железной дороге // Мир науки и мысли. The World of Science and Ideas. – 2023. – №1. – С. 156-161.
75. Урванцева, И. Цифровизация расчётов выбросов парниковых газов // Вести в электроэнергетике. – 2021. – № 2 (112). – С. 56-61.
76. Федосеева, Т.А. Методы мониторинга парниковых газов // Инновации и инвестиции. – 2023. – №5. – С. 456-462.
77. Череповицын, А.Е. Соколова, А.М. Потенциал возобновляемой энергетики и ее конкурентоспособность // Наукосфера . – 2021. – №1(595). – С. 117-131.
78. Череповицына, А.А., Череповицын, А.Е., Кузнецова, А.Е. Проекты улавливания, хранения и использования CO₂ и их экономическая целесообразность // ЭКО. – 2024. – №1(595). – С. 117-131.
79. Чеченова, Л.М., Волыхина, Н.В. Тенденции устойчивого развития транспортных систем экомобильности // ИТСТ. – 2021. – №4. – С. 65-76.
80. Шевелева, Н.А. Управление выбросами парниковых газов на предприятии // Экология производства. Охрана атмосферного воздуха. – 2023. – №11. – С. 74-82.

81. Шевченко, А.А. Экологическое сравнение видов транспорта. Преимущества контейнерных перевозок // Вестник науки. – 2025. – №1 (82). – С. 1245-1252.
82. Щербакова, Д.В, Мамедгулиев, Р.И. ESG-трансформация как фактор инновационного управления компанией сферы железнодорожного транспорта // Общество: политика, экономика, право. – 2022. – №5 (106). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/esg-transformatsiya-kak-faktor-innovatsionnogo-upravleniya-kompaniey-sfery-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 15.07.2025).
83. Юсупова, О.А., Явися, А.А. Оценка инвестиционной привлекательности внедрения водородных технологий в транспортном секторе // ЭТАП. - 2023. - №5. – С.132-147.
84. Aminzadegan, S., Shahriari, M., Mehranfar, F., Abramovi'c, B. Factors affecting the emission of pollutants in different types of transportation: A literature review // Energy Rep. – 2022. – Vol. 8 – P. 2508–2529.
85. Chipindula, J., Du, H.B., Botlaguduru, V.S.V., Choe, D., Kommalapati, R.R. Life cycle environmental impact of a high-speed railsystem in the Houston-Dallas I-45 corridor // Public Transp. – 2022. – Vol. 14. – P. 481–501.
86. Kim, M.-K., Park, D., Kim, M., Heo, J., Park, S., Chong, H. A Study on Characteristic Emission Factors of Exhaust Gas from Diesel Locomotives. // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). –2020. – Vol. 17, 3788.
87. Marjani, S.R., Motaman, S., Varasteh, H. et al. Assessing hydrogen as an alternative fuel for rail transport – a case study // Sci Rep. – 2025. – Vol. 15, 6449.
88. Zhenzhou, Y., Xiaojing, Y., Yang, Y., Jinjie, C., Yingjie, N., Meng, C., Long, C. Greenhouse gas emission analysis and measurement for urban rail transit: A review of research progress and prospects // Yuan et al. Digital Transportation and Safety – 2023. – Vol. 2 (1). – P. 36–51.
89. Zhang, R., Fujimori, S. The role of transport electrification in global climate change mitigation scenarios // Environmental Research Letters – 2020. – Vol. 15 N.3

90. В России предложили внедрить плату за выбросы парниковых газов // Журнал «Справочник эколога» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.profiz.ru/eco/blog/post_13410/sales/sales/sales/ (дата обращения 7.12.2025)
91. «Зеленые» облигации в обращении ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9972> (дата обращения 13.12.2025)
92. «Зеленое финансирование» в России: создание возможностей для «зеленых» инвестиций. Аналитическая записка. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1768574080&tld=ru&lang=ru&name=Zelenoe-finansirovanie-v-rossii.pdf> (дата обращения 13.12.2025)
93. Гибридный маневровый локомотив // Железные дороги мира — 2010. — № 9. – С. 26-30. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2010-09_26-29.pdf (дата обращения 23.04.2025)
94. Климатический вестник // центр международных и сравнительно-правовых исследований. – 2022. – №3. [Электронный ресурс] – Режим доступа: PABLIK_Vestnik_vyпуск-3_1663581785.pdf (дата обращения 31.07.2025)
95. Комарова, С., Киричевский, М. Предпосылки к формированию системы управления выбросами парниковых газов // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики. – 2022. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119503/1/978-5-91256-570-0_2022_017.pdf (дата обращения 10.11.2025)
96. Компания приступила к испытаниям маневрового газового локомотива// официальный сайт ГАЗПРОМ СПГ ТЕХНОЛОГИИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gspgt.ru/tpost/kompaniya-pristupila-k-ispytaniyam-manetrovogo-gazovogo-lokomotiva/> (дата обращения 23.03.2025)
97. О подходах финансовых организаций к управлению климатическими рисками. Информационный материал ЦБР [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://cbr.ru/Content/Document/File/172323/info_04022025.pdf (дата обращения 23.12.2025)

98. Официальный сайт ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ozd.rzd.ru/ru/4225/page/104069?id=308848> (дата обращения 31.07.2025)

99. Официальный сайт «Реестр углеродных единиц» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://carbonreg.ru/ru/> (дата обращения 15.12.2025)

100. Официальный сайт IFRS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ifrs.org/> (дата обращения 20.07.2025)

101. Официальный сайт GRI [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.globalreporting.org/> (дата обращения 20.07.2025)

102. Официальный сайт TCFD [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fsb-tcfd.org/> (дата обращения 20.07.2025)

103. Отчет об устойчивом развитии ОАО «РЖД» 2024 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sr2024.rzd.ru/ru> (дата обращения 13.03.2025)

104. Отчет об устойчивом развитии Deutschebahn 2024 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ibir.deutschebahn.com/2024/en/home/> (дата обращения 13.03.2025)

105. Отчет «Rail Environmental Report» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.era.europa.eu/system/files/202407/20242052_PDF_TR0924239ENN_002.pdf?t=1741426824 (дата обращения 13.03.2025)

106. Отчет «2023 GLOBAL RAIL SUSTAINABILITY REPORT» 2023 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://uic.org/IMG/pdf/2023_global_rail_sustainability_report_web_1_1_.pdf (дата обращения 13.03.2025)

107. Перспективы тяговых аккумуляторных батарей на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zdmira.com/articles/perspektivy-tyagovykh-akkumulyatornykh-batarej-na-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения 13.05.2025)

108. План мероприятий (операционный план) реализации стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/public/AbZJ/L3HheEX5c> (дата обращения 02.08.2025)

109. Покусаев, О.Н., Климов, А.А., Куприяновский, В.П., Морхат, П.М., Намиот, Д.Е. Цифровая железная дорога Европы - от ERTMS до искусственного интеллекта // International Journal of Open Information Technologies. - 2019. - №7. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-zheleznaaya-doroga-evropy-ot-ertms-do-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 13.03.2025).

110. Принципы и используемые методологии расчета эмиссии парниковых газов на примере компаний Группы Газпром [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://sakhgu.ru/wp-content/uploads/post/record_149450/2021_06/11-Пыстина-НБ-Принципы-Группы-Газпром.pdf (дата обращения 22.07.2025)

111. Распоряжение ОАО «РЖД» № 2786р от 28.12.2012 «Единый сетевой технологический процесс железнодорожных грузовых перевозок»

112. Руководство № 001. Обоснование дополнительности проектной деятельности // Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20Guidelines%20№001_rus.pdf (дата обращения 13.12.2025)

113. TCFD – Рабочая группа по вопросам раскрытия финансовой информации, связанной с изменением климата [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://inveb-docs.ru/attachments/article/sd-library/08-2020-8/Delloite-TCFD.pdf> (дата обращения 13.12.2025)

114. Управление выбросами парниковых газов // Цифровая энергетика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2021/07/.pdf> (дата обращения: 12.02.2025г).

115. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=35#6745> (дата обращения 13.05.2025)
116. Diogo da Fonseca-Soares, Sayonara Andrade Eliziário, Josicleda Domiciano Galvinctio and Angel Fermin Ramos-Ridaio. Greenhouse Gas Emissions in Railways: Systematic Review of Research Progress [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/2/539#> (дата обращения 7.12.2025)
117. Electrification of rail infrastructure [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/rail> (дата обращения 13.05.2025)
118. EN ISO 14083:2023 Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations
119. Federal Greenhouse Gas Accounting and Reporting Guidance [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1768574647&tld=ru&lang=en&name=federal_ghg%20accounting_reporting-guidance.pdf (дата обращения 13.05.2025)
120. Greenhouse Gas Protocol [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ghgprotocol.org/> (дата обращения: 12.02.2025)
121. Greenhouse gas emissions in the transport sector Guide to I SO 14083 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.clecat.org/media/clecat-guide-to-iso-14083---greenhouse-gas-emissions-in-the-transport-sector.pdf> (дата обращения: 12.02.2025)
122. Greenhouse Gas Management [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-09/Simplified_Guide_GHG_Management_Organizations.pdf (дата обращения: 12.02.2025)
123. International Union of Railways (UIC). 2022 Global Rail Sustainability Report; International Union of Railways (UIC): Paris, France, 2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://uic.org/IMG/pdf/2022_global_rail_sustainability_report_v5.pdf

(дата

обращения: 15.06.2025)

124. Lawrence, M., Bullock, R. The Role of Rail in Decarbonizing Transport in Developing Countries // World Bank: Washington, DC, USA, 2022. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://static.xcx.gw66.vip/uploadfilev2/file/0/467/309/2022-10/16671147552323.pdf> (дата обращения 10.05.2025)

125. Report Study on alternatives on fossil diesel use in railways [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/04/AERRL_Report_Study-on-alternatives-on-fossil-diesel-use-in-railways_final-Version_2001232.pdf (дата обращения 13.05.2025)

126. Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Road Transport: Analytical Methods [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/02greenhousee.pdf> (дата обращения 20.04.2025)

127. The key role of alternative fuels in the decarbonisation of Europe's rail sector [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/132700/alternative-fuels-decarbonisation-europe-rail-sector/> (дата обращения 20.04.2025)

128. Unruh, G. The Carbon Blockade: Types, Causes, and Policy Implications. // Annual Review of Environment and Resources, Annual Reviews. - 2016. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.academia.edu/122410197/Carbon_Lock_In_Types_Causes_and_Policy_Implications (дата обращения 23.05.2025)

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

Таблица 24. Система показателей оценки эффективности управления выбросами парниковых газов на железнодорожном транспорте

Название показателя	Единица измерения	Формула	Характеристика
1. Экологические показатели			
1.1. Абсолютные показатели			
Суммарный объем выбросов парниковых газов	тCO ₂ -эquiv.	$M_{CO_2} = \sum M_{score\ 1} + \sum M_{score\ 2},$ где: $\sum M_{score\ 1}$ - суммарный объем выбросов парниковых газов Score 1, тCO ₂ -эquiv.; $\sum M_{score\ 2}$ - суммарный объем выбросов парниковых газов Score 2, тCO ₂ -эquiv.	Данный показатель направлен на оценку эффективности управления выбросами парниковых газов в рамках достижения, установленных целевых значений, в том числе со стороны регулятора. Может быть разбит по филиалам и структурным подразделениям для формирования операционных задач в области снижения негативных выбросов.
Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 1	тCO ₂ -эquiv.	$\sum M_{score\ 1} = \sum_{i=0}^n M_{i,\ score\ 1},$ где: $M_{i,\ score\ 1}$ - масса выбросов парниковых газов от i-го источника, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 1, тCO ₂ -эquiv.; n – количество источников, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 1.	Позволяет оценить количество прямых выбросов парниковых газов от основных производственных процессов. В качестве основных источников выбросов выступают тепловозы и дизельные поезда, также расположенные на территории котельные и тепловые пункты. Расчет также удобно вести по филиалам и структурным подразделениям для выявления зон с высоким уровнем прямых выбросов парниковых газов.

Суммарный объем выбросов парниковых газов Score 2	тCO ₂ -экв.	$\sum M_{\text{score } 2} = \sum_{i=0}^n M_{i, \text{score } 2},$ <p>где: $M_{i, \text{score } 2}$ – масса выбросов парниковых газов от i-го источника, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 2, тCO₂ -экв.;</p> <p>n – количество источников, выбросы которых могут быть отнесены к категории Score 2.</p>	<p>Позволяет оценить количество косвенных энергетических выбросов парниковых газов в результате закупки электроэнергии у сторонних поставщиков.</p> <p>В железнодорожной отрасли выбросы Score 1 и Score 2 взаимосвязаны, так как основное направление снижения выбросов Score 1 связано с электрификацией железнодорожных сетей, что в свою очередь увеличивает количество выбросов Score 2. При этом объем выбросов будет зависеть от энергетической структуры поставщика и в целом энергосистемы региона.</p>
Объем выбросов парниковых газов Score 3 по ключевым категориям	тCO ₂ -экв.	$\sum M_{\text{score } 3} = \sum_{i=0}^n (M^x_{i, \text{score } 3} + M^y_{i, \text{score } 3} + \dots)$ <p>где: $M^x_{i, \text{score } 3}$ – масса выбросов парниковых газов, выбросы которых могут быть отнесены к категории x Score 3, тCO₂ -экв.;</p> <p>$M^y_{i, \text{score } 3}$ – масса выбросов парниковых газов, выбросы которых могут быть отнесены к категории y Score 3, тCO₂ -экв.;</p> <p>n – количество категорий.</p>	<p>Позволяет оценить количество косвенных парниковых газов по всей цепочке создания и использования услуги по перевозке грузов и пассажиров.</p> <p>В связи с тем, что законодательно отчетность и раскрытие информации в области регулирования парниковых газов обязаны предоставлять только крупные эмитенты выбросов, целесообразно выделить ключевые категории Score 3 и сотрудничать в области обмена информацией с поставщиками в рамках данных категорий.</p>

1.2. Относительные показатели			
Удельный выброс парниковых газов на единицу транспортной работы (в том числе в разбивке по разным категориям локомотивов)	г CO ₂ -экв /т км; гCO ₂ -экв /пасс*км	$УВ_{тр} = M_{CO_2} / A_{тр} * 10^6,$ <p>где: M_{CO_2} – суммарный выброс углекислого газа при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, т CO₂ -экв.;</p> <p>$A_{тр}$ – транспортная работа при предоставлении услуг по железнодорожным перевозкам, ткм или пасс*км;</p> <p>10⁶ – переводной коэффициент.</p>	Удельный показатель позволяет оценивать углеродоемкость компании в разрезе к предоставляемым услугам по перевозке грузов и пассажиров. Также в дальнейшем данную метрику можно рассматривать по отношению к разным категориям локомотивов, выделяя типы локомотивов с наименьшей углеродоемкостью. Соответственно данный показатель может стать ключевым для снижения углеродоемкости подвижного парка.
Удельный выброс парниковых газов на м ² отапливаемой площади (для инфраструктурных объектов)	гCO ₂ -экв / м ²	$УВ_{инф} = M_{CO_2} / S * 10^6,$ <p>где: M_{CO_2} – суммарный выброс углекислого газа, образующийся при сжигании топлива, необходимого для отопления инфраструктурных объектов, тCO₂ - экв.;</p> <p>S – отапливаемая площадь инфраструктурных объектов, м²;</p> <p>10⁶ – переводной коэффициент.</p>	Данный показатель направлен на оценку углеродоемкости инфраструктурных объектов (вокзалов и железнодорожных станций, имеющих отапливаемые помещения).

Удельные выброс парниковых газов на единицу выручки	т СО ₂ -экв. / млрд руб. выручки.	$УВ_{\text{выр}} = M_{\text{CO}_2} / ВР,$ где: M_{CO_2} – суммарный выброс углекислого газа, тСО ₂ -экв.; $ВР$ – выручка (доход) компании, млрд руб.;	Показатель, позволяющий связать экологическое воздействие с финансовыми результатами. Позволяет отслеживать эффективность реализации программ по декарбонизации и повышению энергетической эффективности.
2. Показатели активности компании по снижению выбросов			
2.1. Анализ внедрения новых технологий и энергоэффективной инфраструктуры			
Структура транспортного парка по локомотивам разной категории	%	$D_i = L_i / L_{\text{общ}} * 100\%,$ где: L_i – количество локомотивов i – той категории, шт.; $L_{\text{общ}}$ – общее количество локомотивов в транспортном парке, шт.	Подвижной парк является основным источников прямых выбросов парниковых газов. Отслеживание структуры транспортного парка позволяет выделить направления замены локомотивов на более энергоэффективные типы.
Темп обновления транспортного парка на более эффективные модели по показателю удельного выброса парниковых газов на единицу транспортной работы	%	$T = \frac{L_t - L_{t-1}}{L_{t-1}} * 100\%,$ где: L_t – количество локомотивов более эффективной модели в отчетном периоде t , шт.; L_{t-1} – количество локомотивов в предыдущем периоде, шт.;	Показатель направлен на оценку эффективности модернизации подвижного состава с учетом их воздействия на климат.

Доля ВИЭ и низкоуглеродной энергетики в общем потреблении электроэнергии (по договорам или собственная генерация)	%	$D_{\text{ВИЭ}} = E_{\text{ВИЭ}} / E_{\text{общ}} * 100\%$, где: $E_{\text{ВИЭ}}$ – количество потребленной электрической энергии, выработанной от ВИЭ, кВт / час; $E_{\text{общ}}$ – общее количество электрической энергии, потребленное предприятием, кВт / час.	Направлен на оценку использования низкоуглеродной энергетики в структуре топливно-энергетического баланса компании. Учитывая, высокую долю электрифицированных железнодорожных сетей, повышение доли ВИЭ может стать ключевым фактором для значительно снижения косвенных выбросов парниковых газов.
2.2. Управление выбросами Score 3			
Доля поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах ПГ или имеющих экологическую сертификацию (по категориям Score 3)	%	$D_{\text{пос}} = P_3 / P_{\text{общ}} * 100\%$, где: P_3 – количество поставщиков, раскрывающих данные о своих выбросах ПГ или имеющих экологическую сертификацию, шт.; $P_{\text{общ}}$ – общее количество поставщиков, шт.	Позволяет оценить прозрачность оценки выбросов парниковых газов по всей цепочке создания услуги. Компания должна стремиться к повышению данного показателя, так как это позволит получать более достоверные данные об углеродоемкости предоставляемых услуг.
3. Финансовые показатели			
Объем привлеченного «зеленого» и ESG-связанного финансирования	млрд руб.	-	Данный показатель отражает реальный капитал на декларируемые ESG-цели. Позволяет привлекать специализированных ESG-инвесторов и снижает финансовые риски при реализации природоохранных проектов.

Экономический эффект от внедрения энергосберегающих технологий (с учетом жизненного цикла)	руб./год	$\Delta \text{Эк} = \Delta \text{Э}_{\text{эн}} * T,$ где: $\Delta \text{Э}_{\text{эн}}$ – экономия энергетических ресурсов в результате реализации энергосберегающих мероприятий, т.у.т.; T – тариф на энергетический ресурс, руб. / т.у.т.	Оценивается финансовая выгода от реализации энергосберегающих проектов.
Количественная оценка климатических рисков	млрд руб.	$R = W * \text{Ущ},$ где: W – вероятность наступления события; Ущ – материальный ущерб, млрд. руб.	Позволяет выделить наиболее эффективные направления реализации мероприятий в области снижения выбросов парниковых газов, позволяющие снизить количественные физические и переходные климатические риски.