

Мокеева Екатерина Витальевна,

студент,

4 курс, Высшая школа экономики и бизнеса (факультет)

ФГБОУ ВО РЭУ им. Г.В. Плеханова

Россия, г. Москва

Чефранова Софья Алексеевна,

студент,

4 курс, Высшая школа экономики и бизнеса (факультет)

ФГБОУ ВО РЭУ им. Г.В. Плеханова

Россия, г. Москва

Научный руководитель: Безпалов Валерий Васильевич,

доктор экономических наук

профессор кафедры «Национальной и региональной экономики»

ФГБОУ ВО РЭУ им. Г.В. Плеханова

Россия, г. Москва

**ФАКТОРЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В
УСЛОВИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА С УЧЁТОМ
ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Аннотация: Статья посвящена факторам снижения выбросов парниковых газов в энергетическом секторе России в условиях энергетического перехода и цифровизации управления. В отличие от подходов, делающих ставку на технологическое обновление, акцент сделан на цифровом контроле выбросов, системах мониторинга, отчётности и верификации (MRV). Анализ динамики выбросов показал, что рост экологических затрат не снижает удельную углеродоёмкость при текущей модели управления. Ключевым условием повышения эффективности климатической политики

становится развитие цифровых инструментов контроля и интеллектуального управления энергосистемой.

Ключевые слова: энергетический переход, выбросы парниковых газов, декарбонизация, цифровой мониторинг, интеллектуальные энергосистемы.

FACTORS OF REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS UNDER THE ENERGY TRANSITION, TAKING INTO ACCOUNT DIGITAL TRANSFORMATION AND INTELLIGENT ENERGY SYSTEMS

Abstract: *The article is devoted to the factors of reducing greenhouse gas emissions in the Russian energy sector under the conditions of the energy transition and digitalization of management. In contrast to approaches that rely on technological renewal, the focus is on digital emission control, monitoring, reporting, and verification (MRV) systems. An analysis of emission dynamics has shown that an increase in environmental costs does not reduce the specific carbon intensity under the current management model. A key condition for improving the effectiveness of climate policy is the development of digital control tools and intelligent energy system management.*

Keywords: *energy transition, greenhouse gas emissions, decarbonization, digital monitoring, smart grids.*

Сокращение выбросов парниковых газов в российской энергетике определяется не только глобальной климатической повесткой, но и системой обязательных нормативно-правовых требований. Российская Федерация несёт обязательства по Парижскому соглашению в рамках обновлённого Nationally Determined Contribution (NDC), представленного в UNFCCC в 2025 году, предусматривающего снижение выбросов до 70 % от уровня 1990 г. к 2030 г. [14]. Одновременно расширение механизмов трансграничного углеродного регулирования (СВАМ) повышает требования к технологической прозрачности и верифицируемости углеродного следа экспортируемой

продукции. Реализация климатической политики в России опирается на сформированную систему законодательных актов. Базовым документом является Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» [2], который заложил основы государственного регулирования и обязательной отчетности для крупных эмитентов. В развитие данных норм было принято Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», устанавливающее целевые ориентиры декарбонизации. Особое значение для данного исследования имеет Федеральный закон от 06.03.2022 № 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» [3]. Ключевые направления регулирования, согласно этим актам, включают обязательное квотирование выбросов, создание системы обращения углеродных единиц и внедрение механизмов независимой верификации отчетности. Методы проведения работы: анализ нормативно-правовых актов Российской Федерации и официальных статистических данных Федеральной службы государственной статистики «Росстат», Национальный кадастр парниковых газов), сравнительный анализ, расчёт удельных показателей углеродоемкости (удельных выбросов) по формуле, сравнительный анализ динамики выбросов, генерации и затрат, системный подход, экономико-математическое моделирование, институциональное моделирование управленческих процессов, методы структурно-функционального анализа энергетической системы.

Современный этап развития энергетики Российской Федерации характеризуется усилением требований к снижению выбросов парниковых газов в условиях реализации международных климатических обязательств и национальной стратегии низкоуглеродного развития. Несмотря на предпринимаемые меры, включая модернизацию генерирующих мощностей и рост природоохранных затрат, энергетический сектор по-прежнему сохраняет

высокую зависимость от ископаемого топлива, что обуславливает существенный уровень углеродоемкости производства электроэнергии. Система управления выбросами парниковых газов в Российской Федерации сформирована на основе нормативно-правовых механизмов и включает обязательную отчётность крупнейших эмитентов в соответствии с Федеральным законом от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», развитие системы учёта выбросов в рамках национального кадастра, а также процедуры независимой верификации данных. В настоящее время механизм контроля эмиссии парниковых газов в ТЭК РФ представляет собой линейную последовательность со следующей институциональной структурой:

1. **Первичное звено (Предприятия/Эмитенты):** Сбор данных инструментального контроля или расчётно-технологического учёта на уровне конкретных ТЭС. Последующие формирование годовых отчётов в соответствии с требованиями Федерального закона от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».

2. **Звено верификации:** Передача отчётов независимым аккредитованным центрам. Процесс проверки и устранения замечаний занимает от 3 до 6 месяцев по окончании отчётного периода.

3. **Агрегирующее звено (Минприроды РФ / Росгидромет):** Сведение верифицированных данных в Единый реестр углеродных единиц и формирование Национального кадастра парниковых газов.

При этом ключевой особенностью действующей модели является её постфактум-характер: фиксация и контроль выбросов осуществляются с временным запаздыванием, что ограничивает возможности оперативного управленческого воздействия на процессы выработки электроэнергии. В результате возникает необходимость количественной оценки эффективности реализуемых мер декарбонизации и анализа взаимосвязи между динамикой выбросов, объёмами производства энергии и природоохранными затратами, что позволяет выявить существующие системные ограничения и, в

последующем, обосновать стратегические направления их устранения.

Таблица 1.

Сравнение подходов к декарбонизации энергетики

Автор / Источник	Название подхода	Ключевая идея	Критика
Министерство энергетики РФ [9]	Газ + модернизация ТЭС	Снижать выбросы без отказа от газа	Сохраняется зависимость от ископаемого топлива
Российское энергетическое агентство [6]	Технологическая декарбонизация ТЭК	Улавливание CO ₂ и цифровизация	Подход требует огромных инвестиций и доступа к зарубежным технологиям
Международное энергетическое агентство (IEA) [13]	Технологический (ресурсный)	Замещение угольной генерации ВИЭ и газом	Недооценивает управленческие барьеры и погрешности мониторинга
Всемирный банк [11]	Экономико- регуляторный	Декарбонизация через трансграничные налоги и углеродные рынки	Высокие издержки верификации без цифровизации
Безпалов В.В. [9]	Водород + ВИЭ + энергоэффективность	Постепенная декарбонизация через водородную энергетику, ВИЭ и повышение энергоэффективности	Зависимость от господдержки и высоких инвестиций
Венделев В.А. [1]	Декарбонизация через развитие ВИЭ и участие населения	Развитие солнечной и ветровой генерации, поддержка распределенной энергетики и вовлечение домохозяйств в энергопереход	В РФ ВИЭ сталкиваются с низкой окупаемостью, зависимостью от импорта компонентов, ограниченной поддержкой рынка

Анализ представленных подходов показывает, что существующие

направления декарбонизации можно условно разделить на три группы: технологические (замещение генерации, улавливание CO₂), экономико-регуляторные (углеродные рынки, налоги) и институциональные (государственное регулирование и программы развития) (табл. 1). Несмотря на различия в инструментарии, все они имеют общее ограничение – ориентацию на результат, фиксируемый постфактум, без обеспечения оперативного контроля и управления уровнем выбросов. Технологические подходы позволяют снижать выбросы за счёт модернизации генерации, однако требуют значительных инвестиций и не обеспечивают гибкости управления в краткосрочном периоде. Экономико-регуляторные механизмы формируют стимулы к сокращению выбросов, но сопровождаются высокими транзакционными издержками и зависят от качества и достоверности отчётности. В свою очередь, институциональные решения, реализуемые на уровне государственной политики, направлены на формирование рамочных условий, однако не создают инструментов оперативного воздействия на процессы генерации. Таким образом, ключевым ограничением существующих подходов является отсутствие «наблюдаемости» выбросов в режиме реального времени и, как следствие, невозможность оперативного управления энергетической системой с учётом углеродных параметров. В связи с этим в рамках настоящего исследования предлагается авторский цифрово-управленческий подход, который основан на снижении выбросов за счёт повышения наблюдаемости данных через внедрение систем мониторинга, отчётности и верификации (MRV), а также использования интеллектуальных энергосетевых решений (Smart Grid). В отличие от существующих подходов, данный подход ориентирован не только на снижение выбросов как результата, но и на управление процессом их формирования в режиме реального времени. Ключевым ограничением предлагаемого подхода является необходимость значительных инвестиций в цифровую инфраструктуру на начальном этапе, что требует институциональной поддержки и поэтапной реализации.

Современная климатическая политика Российской Федерации

направлена на поэтапное снижение выбросов парниковых газов в рамках международных обязательств и национальных стратегий низкоуглеродного развития. В последние годы наблюдается рост внимания к вопросам декарбонизации энергетики, что сопровождается увеличением объемов финансирования природоохранных мероприятий, модернизацией генерирующих мощностей и развитием нормативно-правовой базы. Вместе с тем, несмотря на предпринимаемые меры, сохраняется высокая доля тепловой генерации в структуре электроэнергетики, а также значительная зависимость от ископаемых видов топлива. Это создаёт риски роста выбросов при увеличении энергопотребления и ограничивает эффективность реализуемых мер декарбонизации. В связи с этим возникает необходимость оценки фактической динамики выбросов и сопоставления её с изменением ключевых показателей функционирования энергетической системы. Для этого в рамках исследования проведён анализ динамики выбросов парниковых газов, объемов производства электроэнергии и природоохранных затрат в Российской Федерации за период 2019-2024 гг.

Таблица 2.

**Динамика и расчёт удельных выбросов парниковых газов в энергетике
РФ (2019-2024 гг.)**

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Медиана	Ср. знач.
Выбросы в энергетике, млн т CO2-экв. [4]	1632,2	1547,7	1592,4	1596,6	1649,5	1769,0	1614,4	1631,2
Пр-во электроэнергии, ТВт-ч [4]	1096,7	1078,8	1147,6	1135,6	1159,3	1160,2	1141,6	1129,7
Удельные выбросы, млн т / ТВт-ч [4]	1,49	1,43	1,39	1,41	1,42	1,52	1,4	1,4

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Медиана	Ср. знач.
Тек. затраты на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата, млн руб. [4]	63 760	63 071	64 002	69 766	72 217	81 250	66 884	69 161

Статистический анализ динамики выбросов и затрат на охрану атмосферного воздуха в энергетическом секторе РФ за период 2019-2024 гг. выявляет отсутствие прямой зависимости между финансированием и экологическим результатом. На основе данных Национального кадастра и расчётов авторов установлено, что при росте текущих затрат на охрану атмосферы на 27,4 % (с 63 760 до 81 250 млн руб.), абсолютный объем выбросов в энергетике увеличился на 8,4 %. Показатель удельных выбросов снижался с 1,49 до минимального значения 1,39 млн т/ТВт-ч в 2021 г., что могло свидетельствовать о положительном эффекте прихода новых газовых мощностей и оптимизации нагрузки. Однако с 2022 г. наблюдается устойчивый рост: к 2024 г. значение достигает 1,52 млн т/ТВт-ч – максимального за весь рассматриваемый период (см. табл. 2). Это означает, что при производстве каждого ТВт-ч электроэнергии в 2024 г. выбрасывалось на 9,4 % больше CO₂-экв., чем в 2021 г. Динамика указывает на то, что рост генерации обеспечивался преимущественно за счёт менее эффективного оборудования, работающего при пиковых нагрузках, а не за счёт модернизации базовой генерации. Однако выявленные изменения не могут быть объяснены исключительно технологическими факторами (ввод новых мощностей или структура генерации), поскольку рост затрат не сопровождается соответствующим улучшением экологических показателей. Это указывает на наличие системных ограничений, связанных с механизмами регулирования и управления. Ключевым фактором выявленного

несоответствия между ростом затрат и динамикой выбросов является специфика действующей системы управления выбросами парниковых газов в энергетике Российской Федерации. Таким образом, система управления ориентирована на фиксацию уже произошедших выбросов, а не на их оперативное предотвращение. Управленческие решения принимаются с запаздыванием и не влияют на текущие режимы работы оборудования. Ключевой управленческий разрыв локализован на стыке между первичным звеном и агрегирующим звеном. Временное запаздывание между фактическим выбросом CO₂ на тепловой электростанции в момент пиковой нагрузки и моментом, когда эти данные попадают в кадастр и становятся базой для принятия регуляторных решений Минприроды или Минэкономразвития, составляет от 12 до 18 месяцев. Таким образом, существующее управленческое звено обратной связи полностью разорвано в краткосрочном периоде: Системный оператор (АО «СО ЕЭС») управляет загрузкой мощностей исключительно исходя из технологических параметров сети и стоимости топлива, не имея инструмента оперативного учёта текущего углеродного следа генерирующего оборудования. Регулятор наказывает или поощряет эмитента постфактум, когда изменить структуру выработки за прошедший период уже невозможно. Именно это звено запаздывания информации и делает модель неэффективной, что подтверждается опережающим ростом затрат над экологическим результатом. Это приводит к тому, что отклонения в виде роста удельной эмиссии не корректируются в момент их возникновения, а лишь фиксируются в отчетности. Следовательно, выявленный разрыв имеет не технологическую, а управленческую природу и обусловлен отсутствием инструментов оперативного контроля и воздействия.

Поскольку выявленный разрыв обусловлен отсутствием инструментов оперативного управления и контроля выбросов, повышение эффективности климатической политики требует перехода от постфактум-регулирования к системе, обеспечивающей непрерывный мониторинг и управление в реальном времени. В этой связи предлагаемые меры направлены не на увеличение

объёма природоохранных затрат, а на трансформацию самой архитектуры управления выбросами. На основе проведённого анализа выявленный управленческий разрыв может быть преодолен посредством трёх взаимосвязанных мер. **Первая мера** – масштабирование региональной MRV-системы для непрерывного контроля выбросов. Ответственный субъект: Министерство природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды) совместно с Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ и операторами ИТ-инфраструктуры. Механизм реализации: расширение сети IoT-датчиков телеметрии на объектах тепловой генерации и нефтегазовой инфраструктуры по всей стране; интеграция с платформой Единого реестра углеродных единиц через API; автоматическая передача верифицированных данных в государственный кадастр в режиме реального времени. Источник финансирования: средства федерального бюджета (в рамках нацпроекта «Экологическое благополучие»), привлечение частных инвестиций на условиях государственно-частного партнёрства, а также средства в рамках развития системы углеродного регулирования согласно ФЗ № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов». Ожидаемый результат: снижение транзакционных издержек верификации на 20-30 % [11], устранение систематической недооценки метановых утечек, повышение точности квотирования для крупнейших эмитентов. **Вторая мера** – внедрение интеллектуальной системы управления нагрузкой (Smart Grid) в рамках Единой энергетической системы (ЕЭС) России. Ответственный субъект: Министерство энергетики РФ, системный оператор (АО «СО ЕЭС») и ПАО «Россети». Механизм реализации: установка интеллектуальных счётчиков у крупных промышленных потребителей; внедрение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования суточного и недельного графика нагрузки в масштабах ОЭС (объединённых энергосистем); активное управление спросом через дифференцированные тарифы и механизмы ценозависимого снижения потребления. Источник финансирования: инвестиционные программы сетевых компаний, средства федеральной программы цифровизации

электросетевого комплекса и льготное кредитование в рамках «зелёного» финансирования. Согласно оценкам МЭА, внедрение Smart Grid в изолированных энергосистемах развивающихся экономик обеспечивает снижение сетевых потерь на 10-20 % и сокращение пиковых нагрузок на 8-15 % [15]. Ожидаемый результат: снижение часов работы резервного оборудования, уменьшение удельной эмиссии при пиковом потреблении, экономия топлива в размере, сопоставимом со строительством дополнительной генерирующей мощности в 50-80 МВт. *Третья мера* – формирование единого институционального механизма верификации данных для целей национального квотирования. Ответственный субъект: Минэкономразвития РФ совместно с Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация) и аккредитованными центрами верификации. Механизм реализации: утверждение общефедерального технического регламента по стандартам инструментального мониторинга (совместимость с методологией IPCC Tier 3 и международным стандартом ISO 14064); создание единого реестра верифицированных провайдеров MRV-услуг; введение дифференцированного подхода к отчетности в зависимости от класса точности применяемых систем мониторинга. Источник финансирования: доходы от реализации механизмов углеродного рынка и средства целевых экологических фондов. Ожидаемый результат: снижение систематической ошибки углеродной отчетности; создание достоверной базы данных для обеспечения признания российских углеродных единиц на международных рынках и в контексте трансграничных механизмов регулирования; повышение ликвидности национального рынка углеродных единиц. Следует отметить, что реализация предложенных мер сопряжена с рядом ограничений, включая высокую стоимость внедрения цифровой инфраструктуры, необходимость нормативного согласования и недостаточную готовность отдельных участников рынка к переходу на новые модели управления.

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие выводы. Во-первых, в российской энергетике в 2019-2024 гг. зафиксирован

системный управленческий разрыв: существенный рост природоохранных затрат на 27,4 % сопровождался увеличением удельной углеродоёмкости до пиковых значений в 2024 г. Это свидетельствует о структурных ограничениях действующей модели «постфактум-регулирования», которая не успевает адаптироваться к динамике производственных показателей. Во-вторых, установлено, что энергетическая система страны, характеризующаяся высокой долей тепловой генерации и динамичным ростом промышленного производства, оказывается критически уязвимой перед этим управленческим разрывом: экономический рост в текущих условиях напрямую транслируется в увеличение пиковых нагрузок и росте удельной эмиссии парниковых газов. В-третьих, ключевым фактором декарбонизации в современных условиях является не столько масштаб прямых компенсационных инвестиций, сколько переход к цифровой «наблюдаемости» выбросов в режиме реального времени. Три предложенные меры – масштабирование национальных MRV-систем, внедрение технологий Smart Grid и создание единого институционального механизма верификации – формируют взаимосвязанный комплекс, в котором каждый элемент усиливает эффективность остальных. Практическая значимость результатов исследования определяется их применимостью при разработке федеральных и региональных программ декарбонизации, корректировке механизмов государственного квотирования выбросов, а также при внедрении апробированных цифровых решений как в рамках Единой энергосистемы России, так и в технологически изолированных энергорайонах страны.

Список литературы:

1. Венделев В.А. Декарбонизация отечественной энергетики в условиях новейшего геополитического кризиса // Экономика и управление. — 2023. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dekarbonizatsiya-otchestvennoy-energetiki-v-usloviyah-noveyshego-geopoliticheskogo-krizisa> (дата обращения: 14.05.2026). — Текст : электронный.

2. Об ограничении выбросов парниковых газов: Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/ (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.

3. О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации: Федеральный закон от 06.03.2022 № 34-ФЗ. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203060003> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.

4. Основные показатели охраны окружающей среды / Росстат: [раздел статистических данных]. — URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.pdf (дата обращения: 13.05.2026).

5. Постановление Правительства Сахалинской области от 07.07.2023 № 361. — URL: <https://sakhalin-gov.ru/doc/77717> (дата обращения: 07.05.2026). — Текст: электронный.

6. Романов С. Декарбонизация российской экономики не должна снижать энергобезопасность страны / С. Романов // Росэнерго: [сайт]. — 2024. — 15 марта. — URL: <https://rosenergo.gov.ru/press-center/news/sergey-romanov-dekarbonizatsiya-rossiyskoy-ekonomiki-ne-dolzhdna-snizhat-energobezopasnost-strany/> (дата обращения: 14.05.2026). — Текст: электронный.

7. Тенденции выбросов парниковых газов в Российской Федерации // CyberLeninka: [научная электронная библиотека]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-vybrosov-parnikovyyh-gazov-v-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 07.05.2026).

8. Электроэнергетические системы России / АО «Системный оператор Единой энергетической системы» // СО ЕЭС: [сайт]. — 2025. — URL: <https://www.so-ops.ru/functioning/ups/ups2025/> (дата обращения: 22.04.2026).

9. Энергетическая стратегия Российской Федерации в системе

национальной экономики и безопасности: цели, перспективные направления и сценарии развития / INES: [сайт]. — URL: <https://www.inesnet.ru/article/energeticheskaya-strategiya-rossijskoj-federacii-v-sisteme-nacionalnoj-ekonomiki-i-bezopasnosti-celi-perspektivnye-napravleniya-i-scenarii-razvitiya/> (дата обращения: 14.05.2026). — Текст: электронный.

10. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-п. — URL: <https://government.ru/docs/54754/> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.

11. Digital Monitoring, Reporting, and Verification Systems and Climate Action / World Bank. — 2022. — URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099605006272210909/pdf/IDU0ca02ce8009a2404bb70bb6d0233b54ffad5e.pdf> (accessed: 15.04.2026). — Text: electronic.

12. Kabeyi, M. J. B. Smart Grid Technologies and Application in the Sustainable Energy Transition: A Review / M. J. B. Kabeyi, O. A. Olanrewaju // International Journal of Sustainable Energy. — 2023. — Vol. 42, No. 1. — P. 685–758. — DOI: 10.1080/14786451.2023.2222298.

13. Methane Abatement / IEA. — URL: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/methane-abatement> (accessed: 16.04.2026).

14. Second Nationally Determined Contribution of the Russian Federation / UNFCCC. — 2025. — URL: https://unfccc.int/sites/default/files/2025-09/RF_second_NDC.pdf (accessed: 15.04.2026).

15. Unlocking Smart Grid Opportunities in Emerging Markets and Developing Economies / IEA. — 2023. — URL: <https://www.iea.org/reports/unlocking-smart-grid-opportunities-in-emerging-markets-and-developing-economies/executive-summary> (accessed: 11.04.2026).