Институт энергетики НАН Беларуси

Белорусский национальный технический университет

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

Декарбонизация энергетического сектора Сокращение выбросов парниковых газов

Материалы международного семинара экспертов по экологическим аспектам развития энергетики

Москва 2025

УДК 502/504
ББК 20.1
Д 282

Д 282 **Декарбонизация энергетического сектора. Сокращение выбросов парниковых газов.** Сборник трудов семинара (Минск 15-16 октября 2025 г.), под общей редакцией Пинаева В.Е., Зориной Т.Г. – М.: Мир науки, 2025. – Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/72MNNPK25.pdf – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-908044-34-9
DOI: 10.15862/72MNNPK25

Сборник трудов включает доклады участников международного семинара экспертов по экологическим аспектам развития энергетики «Декарбонизация энергетического сектора. Сокращение выбросов парниковых газов».

Материалы семинара адресованы специалистам в области парниковых газов, а также всем заинтересованным лицам.

Издание сборника трудов семинара выполнено при поддержке Благотворительного фонда «Возрождения природы».

ISBN 978-5-908044-34-9

© Коллектив авторов
© ООО Издательство «Мир науки», 2025 г.

Оглавление

Технология Power-to-X: Роль водорода и электролиза в глобальном энергетическом переходе *(Апалько А.М.)* 4

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в энергетическом секторе Республики Беларусь *(Борейко Я.Е., Пискунович В.М., Фурса Ю.В., Лагойка К.Р.)* 9

Декарбонизации объектов недвижимости на основе интеграции ESG-принципов *(Россоха Е.В., Французова А.М.)* 14

Декарбонизация сектора производства электроэнергии и ее влияние на достижение целей в области устойчивого развития *(Мальцева Н.М.)* 17

Управление эффективностью использования материальных ресурсов в промышленности РБ как фактор декарбонизации: зарубежный опыт и национальные перспективы экономики *(Дюров В.В.)* 21

Декарбонизация сектора производства электроэнергии при помощи систем накопления электроэнергии и её влияние на достижение целей в области устойчивого развития *(Кудрявцева О.В., Попов А.В.)* 26

Нейросетевое моделирование концентраций диоксида углерода как основа для разработки технологий сокращения выбросов *(Нурмехамитова В.А., Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р.)* 30

Правовая основа реализации государственной политики в области сокращения выбросов парниковых газов в Российской Федерации *(Салиева Р.Н.)* 35

Статистическое моделирование зарядно разрядных циклов литий- ионных аккумуляторных батарей *(Добрего К.В., Червинский В.Л., Каледник А.С.)* 39

Повышение эффективности электроснабжения студгородка БНТУ путем применения фотовольтаической системы *(Червинский В.Л., Костюкевич Е.К.)* 46

Декарбонизация энергетики в контексте устойчивого энергетического развития *(Зорина Т.Г.)* 51

Особенности разработки определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в Парижское соглашение *(Гребеньков А.Ж.)* 60

УДК 351.824.11(476)

Апалько А.М.
младший научный сотрудник
НИЭИ Минэкономики
г. Минск, Республика Беларусь

Технология Power-to-X: Роль водорода и электролиза в глобальном энергетическом переходе *(Апалько А.М.)*

Аннотация. В статье представлен обзор водородных энергетических технологий и их ближайшие перспективы на мировом рынке. Рассматриваются технологии Power-to-X и их опыт реализации за рубежом. Эти технологии играют ключевую роль в декарбонизации энергетики, промышленности и транспорта, обеспечивая гибкость в использовании избыточной энергии от ВИЭ и способствуя интеграции возобновляемых источников в энергосистемы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, декарбонизация, Power-to-X, водород, электролизер.

Введение. Сектор возобновляемой энергетики переживает бурный рост во всем мире, и ожидается, что в ближайшие годы эта тенденция сохранится. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в ближайшие пять лет в мире будет введено в эксплуатацию около 3700 ГВт новых возобновляемых мощностей [1]. Однако возобновляемые источники, такие как солнечная и ветровая энергия, зависят от погодных условий. Это приводит к неравномерной генерации энергии, которая не всегда соответствует пиковому спросу. Поэтому без способов хранения вся энергия ВИЭ, не использованная в данный момент, тратится впустую.

Power-to-X (PtX) – это концепция, охватывающая технологии, которые преобразуют электроэнергию, преимущественно из возобновляемых источников (ВИЭ), в другие формы энергии или вещества, такие как водород, синтетические топлива, химические вещества или тепло [2].

Основные направления Power-to-X (термин «X» обозначает конечный продукт:

– *Power-to-Hydrogen (PtH)*: Производство водорода путем электролиза воды с использованием электроэнергии от ВИЭ. Водород может использоваться как топливо, сырье для промышленности или для хранения энергии;

– *Power-to-Gas (PtG)*: Преобразование электроэнергии в синтетический природный газ (метан) через электролиз и последующую метанизацию с использованием углекислого газа (CO_2). Эти газы хранятся и позже преобразуются обратно в электричество с помощью газовых турбин или топливных элементов;

– *Power-to-Liquid (PtL)*: Производство синтетических жидких топлив (например, синтетического керосина, метанола или дизеля) из водорода и CO_2, часто с использованием синтеза Фишера-Тропша. Используется для транспорта, особенно авиации и судоходства;

– *Power-to-Chemicals*: Использование электроэнергии для производства химических веществ, таких как аммиак или метанол, которые применяются в промышленности;

– *Power-to-Heat*: Преобразование электроэнергии в тепло для через резистивные нагреватели или тепловые насосы для систем районного отопления или промышленных процессов.

Водород играет центральную роль в технологии Power-to-X, выступая в качестве конечного продукта либо промежуточного энергоносителя, который позволяет преобразовывать избыточную электрическую энергию из ВИЭ в другие формы энергии или продукты. Электролиз — это основной процесс производства водорода в PtX, где электричество используется для расщепления воды (H_2O) на водород (H_2) и кислород (O_2).

В PtX применяются несколько технологий (выбор зависит от масштаба, стоимости и интеграции с ВИЭ):

- щелочной электролиз (Alkaline Electrolysis, AEC): традиционная и наиболее зрелая технология. Использует щелочной раствор (KOH или NaOH) в качестве электролита. Подходит для крупных стационарных установок в PtX для производства водорода в больших объемах;
- протонно-обменный мембранный электролиз (Proton Exchange Membrane, PEM): Более современная технология с твердой полимерной мембраной. Широко используется в PtX для интеграции с солнечными и ветровыми фермами, например, в проектах по производству е-топлив (синтетических топлив);
- твердотельный оксидный электролиз (Solid Oxide Electrolysis, SOEC): Высокотемпературная технология (600–800°C) с керамическим электролитом. SOEC особенно перспективен для PtX в производстве зеленого водорода и е-топлив, способствуя декарбонизации тяжелых отраслей.

Сотрудничество компаний ACWA Power, Air Products и NEOM привело к созданию крупнейшего в мире интегрированного комплекса по производству зеленого водорода – NEOM Green Hydrogen Project. Он представляет собой пример технологии Power-to-Hydrogen и Power-to-Chemicals, где электроэнергия из ВИЭ используется для производства зеленого водорода и его производных, таких как зеленый аммиак.

Проект предполагает строительство мегаполиса площадью 26 500 км², разделенного на функциональные зоны в Oxagon (плавучий промышленный город в составе NEOM, в северо-западной части Саудовской Аравии, на побережье Красного моря). Выбранный регион имеет среднюю солнечную радиацию 2 200 кВт·ч/м²/год и постоянную скорость ветра, превышающую 9 м/с.

Энергетическая система комплекса состоит из:

– 2,2 ГВт солнечной энергии, с использованием двусторонних фотоэлектрических модулей PERC;

– 1,6 ГВт энергии ветра, вырабатываемой береговыми турбинами мощностью 5,6 МВт;

– систем хранения тепла и батарейных систем хранения энергии (BESS), предназначенных для хранения избыточной электроэнергии, произведенной в

пиковые часы солнечной или ветровой генерации для использования в ночное время или при низкой генерации.

На производстве используются промышленные щелочные электролизеры высокой производительности, поставляемые Thyssenkrupp nucera, с эффективностью преобразования энергии 70 % (LHV). Система состоит из 30 модульных электролизных блоков, непосредственно подключенных к возобновляемой сети без подключения к внешней сети.

Полученный водород преобразуется в зеленый аммиак (NH_3) посредством процесса синтеза Габера-Боша с низким уровнем выбросов, объединяя его с азотом, извлеченным из воздуха с использованием сепарационных установок от Air Products. Далее аммиак хранится и экспортируется из промышленного порта Oxagon на международные рынки, особенно в Азию и Европу.

Имея прогнозируемую мощность, позволяющую избежать выбросов до 5 млн тонн CO_2 в год, комплекс активно способствует достижению целей климатической нейтральности. По оценкам, он будет производить 1,2 млн тонн зеленого аммиака в год, используемого в качестве энергоносителя для промышленных секторов, таких как сталелитейный и морской транспорт, которые традиционно являются углеродоемкими.

Строительство комплекса завершено на 80 % ожидается, что к середине 2026 года мощность возобновляемой генерации достигнет 4 ГВт, а производство зеленого аммиака ожидается в 2027 году [3].

HyBalance, предприятие по производству водорода, расположенное в Хобро, Дания. Проект HyBalance в Хобро использует технологию Power-to-Hydrogen для преобразования энергии ветра в водород посредством электролиза. В рамках проекта реализуются новые ключевые технологии производства водорода с электролизером PEM мощностью 1,2 МВт, поставляемым канадской компанией Hydrogenics. Данный электролизер позволяет генерировать 230 Нм³/ч водорода (+/- 500 кг/день). Водород, произведенный в рамках проекта HyBalance, может обеспечить парк из более чем 800 электромобилей на топливных элементах (FCEV) и может обеспечить до 0,5 % целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов в транспортном секторе Дании. На момент завершения проекта в октябре 2020 года было поставлено 120 тонн водорода.

Результаты проекта HyBalance показывают, что можно хранить колеблющуюся возобновляемую энергию в виде зеленого водорода в больших масштабах, обеспечивая при этом стабильную и непрерывную подачу водорода различным конечным потребителям [4].

Проект Refhyne стартовал в 2021 году. Конечной целью проекта была установка и эксплуатация крупнейшего электролизера PEM в Европе в парке Shell Energy Chemicals в Вессилинге (Германия). В рамках проекта предусматривалась установка электролизера пиковой мощностью 10 МВт, способного производить около 1 300 тонн зеленого водорода в год взамен используемой ранее технологии производства серого водорода путем парового риформинга метана.

Полученный водород полностью интегрируется в существующую водородную трубопроводную систему нефтеперерабатывающего завода, в том числе в десульфуризацию топлива.

Refhyne I доказал возможность интеграции крупного PEM-электролизера в промышленные процессы, прокладывая путь для более масштабных проектов, таких как Refhyne II. Целью второго этапа проекта стало увеличение мощности электролизера PEM до 100 МВт с целью производить до 15 000 тонн зеленого водорода в год [5].

Данные проекты демонстрирует экономический и экологический потенциал технологий Power-to-X, подчеркивая важность инноваций, государственной поддержки и интеграции с возобновляемыми источниками энергии.

На данный момент технология Power-to-X переживает период активного роста и коммерциализации, становясь ключевым элементом глобального энергетического перехода. Это обусловлено увеличением мощностей ВИЭ, необходимостью хранения избыточной энергии и давлением на декарбонизацию сложных секторов, таких как авиация, судоходство, химическая промышленность и тяжелая промышленность. По оценкам, глобальный рынок P2X достигнет 755,22 млн долларов США в 2025 году, с прогнозируемым ростом до 1,634 млрд долларов к 2032 году при среднегодовом темпе роста 11,66%. Европа остается лидером с долей рынка 46,72% в 2024 году (328,55 млн долларов), но значительный импульс набирают Северная Америка и Азиатско-Тихоокеанский регион [6].

Несмотря на прогресс, PtX сталкивается с препятствиями, такими как:

- высокие затраты. Капитальные вложения в электролизеры и инфраструктуру остаются значительными. Альтернативные системы хранения энергии имеют более низкие операционные затраты;
- технические барьеры: Низкая эффективность полного цикла (power-to-power 35–50 %), необходимость цифровизации для баланса спроса и предложения. Однако инновации, такие как твердотельные электролизеры (SOEC), повышают эффективность на 20–30%.
- регуляторные и рыночные риски: Зависимость от субсидий и волатильность цен на ВИЭ.

Заключение. Технологии Power-to-X становятся ключевым решением для преодоления проблемы периодичности ВИЭ. Используя избыточную энергию в периоды высокой генерации и преобразуя ее в сохраняемые формы, PtX эффективно смягчает колебания энергоснабжения. Это, в свою очередь, повышает стабильность и надежность электрических сетей, обеспечивая более плавную интеграцию возобновляемых источников энергии в энергетический баланс. И хотя нынешний капиталоемкий характер технологий PtX представляет собой препятствие для их широкого внедрения. Снижение затрат за счет исследований, разработок и увеличения масштаба внедрения имеет решающее значение для того, чтобы сделать PtX более экономически жизнеспособным, тем самым способствуя его интеграции в основные энергетические системы.

Список использованных источников

1 Международное энергетическое агентство [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.iea.org/ — Дата доступа: 01.09.2025.

2 Дуников Д.О. Водородные энергетические технологии // Водородные энергетические технологии: Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН: сб. науч. тр. / редкол.: Д.О. Дуников (отв. ред.) [и др.]. — М.: ОИВТ РАН, 2017. – Вып. 1. – С. 5-21.

3 NEOM Project: What it is and why it will transform the energy future [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://inspenet.com/en/articulo/neom-project-green-hydrogen-city/ — Дата доступа: 01.09.2025.

4 HyBalance: Stabilising the grid with Power-to-X [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://stateofgreen.com/en/solutions/the-hybalance-project — Дата доступа: 04.09.2025.

5 More green hydrogen on the way for Shell, with REFHYNE II set to kick off [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.hydrogenfuelnews.com/green-hydrogen-shell-refhyne2/8566310 — Дата доступа: 06.09.2025.

6 Power-to-X Market Size, Share, and Industry Analysis by Technology, by Application, by End-Use, and Regional Forecast, 2025–2032 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.fortunebusinessinsights.com/power-to-x-market-111824 — Дата доступа: 09.09.2025.

УДК 502.174.3

Борейко Я.Е.
Пискунович В.М.
Фурса Ю.В.
Лагойка К.Р.
Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в энергетическом секторе Республики Беларусь *(Борейко Я.Е., Пискунович В.М., Фурса Ю.В., Лагойка К.Р.)*

Аннотация. В статье рассматривается современное состояние и перспективы развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Беларуси. Подчеркивается стратегическая важность ВИЭ для энергетической политики страны, направленной на снижение зависимости от импортируемых ископаемых ресурсов. Приводятся статистические данные о текущей доле ВИЭ в энергобалансе (около 7,1%) и динамике роста установленной мощности с 2018 по 2024 год. Анализируются основные виды ВИЭ, используемые в стране: энергия биомассы, биогаза, ветра, солнца и воды. Отмечается, что, несмотря на лидерство ветряных и солнечных установок по количеству, наибольший объем вырабатываемой электроэнергии обеспечивает использование древесного топлива и биомассы. Статья также освещает географическое распределение объектов ВИЭ по регионам, связывая его с природными условиями.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, установки по использованию ВИЭ, энергия биомассы, энергия биогаза, энергия ветра, энергия солнца, энергия воды.

С каждым годом всё большую популярность приобретают возобновляемые источники энергии (ВИЭ), запасы которых восполняются естественным образом и являются неисчерпаемыми в обозримом будущем. Для Беларуси развитие возобновляемой энергетики является одним из важнейших приоритетов энергетической политики. К основным видам ВИЭ относятся: энергия солнца, энергия ветра, энергия естественного движения водных потоков, энергия биогаза, энергия древесного топлива и иных видов биомассы. Они предлагают более чистую альтернативу ископаемому топливу, тем самым позволяя получать энергию без истощения природных ресурсов и с минимальным воздействием на окружающую среду, что делает их ключевым элементом для перехода к устойчивой энергетике будущего. Более того, внедрение ВИЭ позволит создать новые рабочие места, ускорит экономическое развитие и обеспечит энергоснабжение удалённых территорий [1].

Несмотря на преимущества, возобновляемая энергетика имеет ряд технологических и экономических ограничений, что затрудняет ее повсеместное внедрение [2]. К таким недостаткам относятся непостоянство производства

энергии (зависимость от природных условий), высокая стоимость установки и обслуживания, затраты на хранение энергии, а также потенциальное воздействие на окружающую среду (Гидроэлектростанции, могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду, например, на экосистемы рек и миграцию рыб. Ветряные электростанции могут представлять опасность для птиц и летучих мышей, а также вызывать визуальный шум.) [3].

Наша страна постепенно увеличивает долю ВИЭ, но пока сохраняет зависимость от традиционной энергетики (газ, нефть), доля которой составляет более 90% энергобаланса Беларуси, при этом бóльшая доля приходится на природный газ. Доля ВИЭ в энергетике Беларуси составляет около 7,1% от общего конечного энергопотребления [4]. Основной рост возобновляемой энергетики идёт за счёт биомассы, ветра и солнца.

Установленная мощность установок по использованию ВИЭ растет с каждым годом (рисунок 1). Этот рост связан с реализацией государственных программ по энергоэффективности и развитию «зеленой» энергетики, а также с постепенным снижением зависимости от импортируемых энергоресурсов.

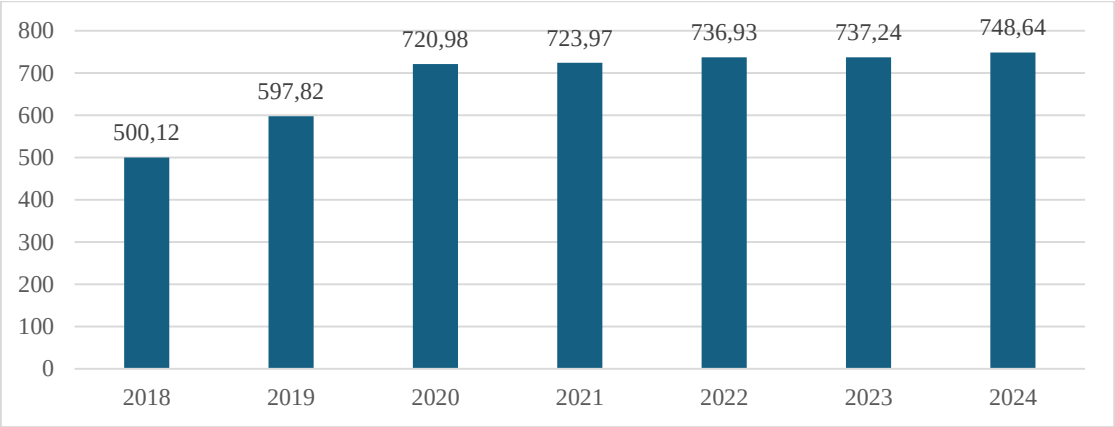

Рисунок 1 – Установленная электрическая мощность установок в МВт (с 2018 по 2024 года)

Максимальное количество вырабатываемой энергии от действующих установок по использованию ВИЭ исходя из наибольшего значения коэффициента использования установленной мощности показано на рисунке 2.

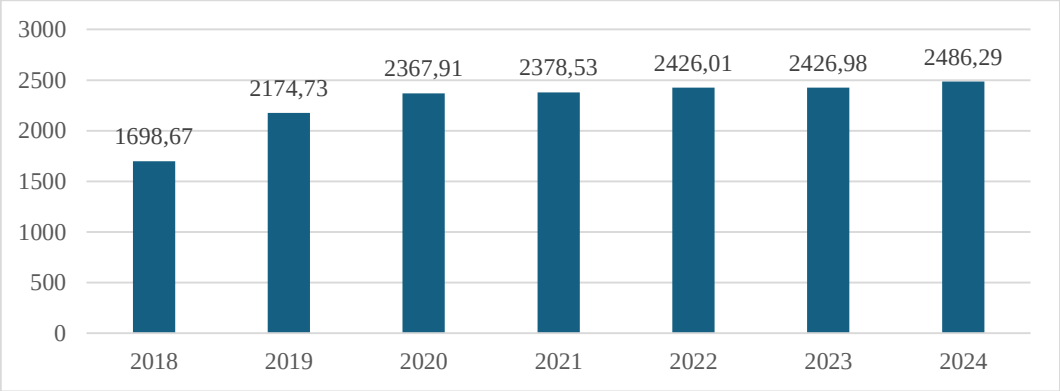

Рисунок 2 – Максимально возможное количество вырабатываемой электроэнергии в МВт*ч/год

На конец 2024 года в Республике Беларусь количество действующих установок по использованию ВИЭ составило 394 шт. Для сравнения в 2018 году было 318 установок. С 2018 по 2024 год по количеству установок лидируют установки по использованию энергии ветра. На втором месте расположились установки по использованию энергии солнца. Несмотря на преобладающее количество установок по использованию ветра (рисунок 3), по количеству производимой в год электрической энергии лидирует энергия древесного топлива и иных видов биомассы, это объясняется тем, что в нашей стране достаточно сырья для получения энергии из этого вида ВИЭ и дешевизной оборудования и его эксплуатации. Эффективность использование других источников возобновляемой энергии не так эффективна чем в развитых странах, хотя природные условия в нашей стране по определенным видам ВИЭ лучше. Это объясняется высокой стоимостью установок. Оптимальное решение этой проблемы – это привлечение инвестиций [5].

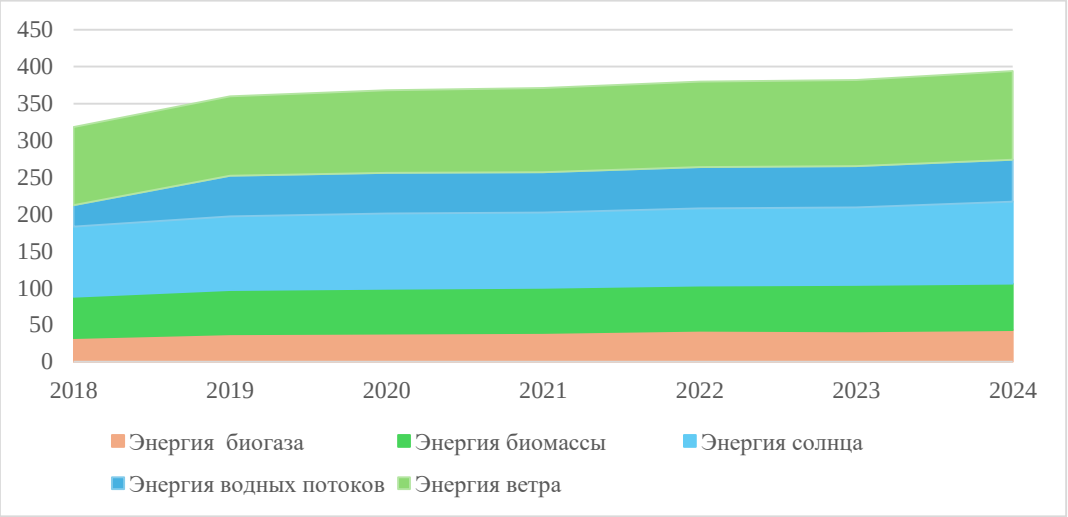

Рисунок 3 – Количество установок ВИЭ (по видам энергии)

Согласно данным, представленным на рисунке 4, наибольшее количество установок сосредоточено в Могилевской области. При этом 61 из 99 установок в данном регионе работают за счет энергии ветра.

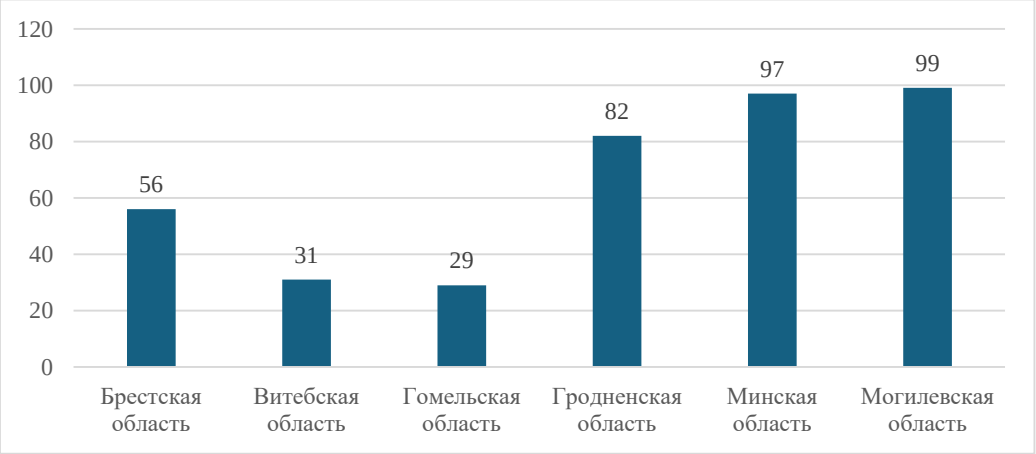

Рисунок 4 – Количество установок по использованию ВИЭ по областям за 2024 год.

Данное преобладание обусловлено благоприятными климатическими условиями, а именно – наличием зоны активного движения воздушных масс (рисунок 5). Это делает регион подходящим для строительства и эксплуатации ветроэлектростанций.

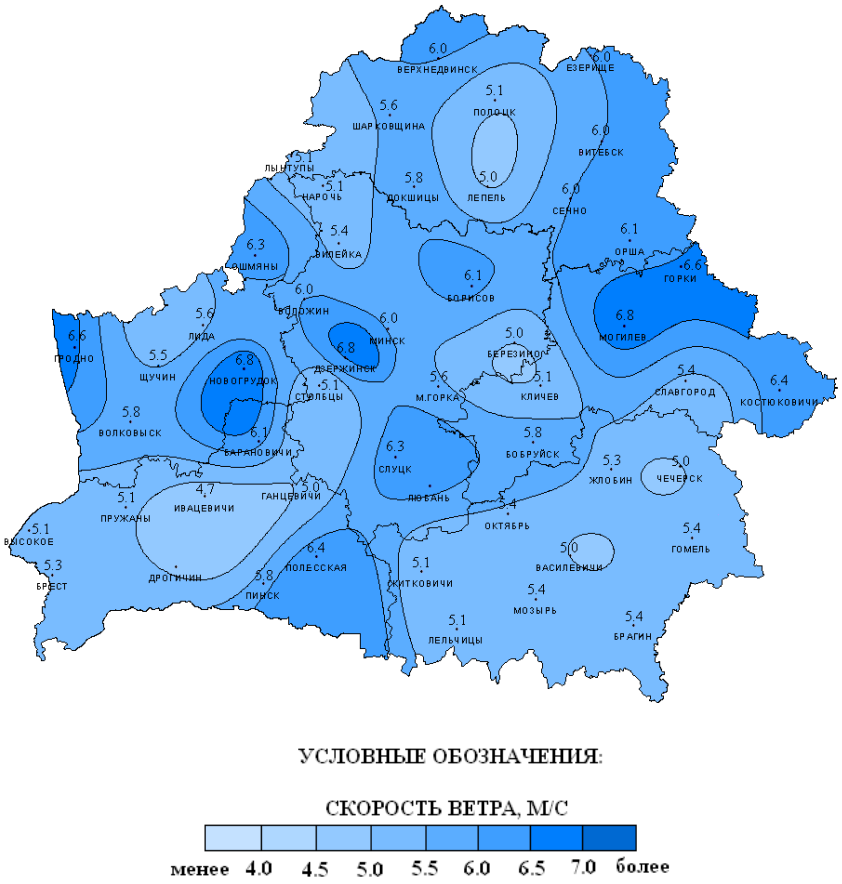

Рисунок 5 – Распределение средней годовой расчетной скорости ветра на высоте 100 метров от поверхности земли

Эффективно используется и такой вид возобновляемой энергии как энергия солнца. Это обусловлено вводом в эксплуатацию двух крупнейших солнечных электростанций мощностью 109,00 МВт (располагается в Чериковском районе в Могилевской области) и 55,20 МВт (недалеко от Речицы в Гомельской области).

Учитывая сравнительно равнинный ландшафт Беларуси, потенциал страны для масштабного развития гидроэнергетики невысок, однако существуют довольно перспективные места для создания гидроэлектростанций (ГЭС). Такими местами являются бассейн реки Западная Двина, верхняя часть бассейна реки Днепр и нижняя часть бассейна реки Неман. Данные территории отмечаются благоприятным рельефом, значительными уклонами, хорошей водообеспеченностью, а также наличием существующих водохранилищ.

С учетом размещенных и планируемых к размещению ГЭС на реках Неман (36 МВт), Западная Двина (94,7 МВт) и Днепр (15,9 МВт) гидроэнергетический потенциал (потенциальная мощность) всех рек Республики Беларусь составляет

441 МВт [6]. При этом суммарно гидроэнергетический потенциал средних и малых рек Республики Беларусь составляет 294,3 МВт [6].

С экологической и экономической точек зрения приоритетным направлением в развитии ВИЭ в Республике Беларусь должен стать биогаз, выделяемый из отходов сельхозпроизводства, из отходов сточных вод, на объектах захоронения твёрдых коммунальных отходов, так как внедрение биогазовых установок сопутствует вторичному использованию отходов и сокращению выбросов в атмосферу. Внедрение биогазовых установок на хорошо исследованных объектах с большими объемами образования метана будет способствовать быстрой окупаемости оборудования.

Список использованных источников

1. Теймурлу Ниджат Вугар Оглы Роль ВИЭ в сохранении окружающей среды и борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] // Ежемесячный отраслевой журнал «Сантехника, отопление, кондиционирование». – 2023. – № 10 (262). – С. 56 – 59. – Режим доступа: https://www.c-o-k.ru/get_issue_file.php?file_name=202310.pdf. – Дата доступа: 01.09.2025.

2. Попель, О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике [Электронный ресурс] / О.С. Попель // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – Москва, 2008. – Т.LII, № 6. – С. 95 – 106. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vozobnovlyaemye-istochniki-energii-rol-i-mesto-v-sovremennoy-i-perspektivnoy-energetike/viewer. – Дата доступа: 28.08.2025.

3. Гринфилд, Э. Плюсы и минусы различных типов возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sigmaearth.com/ru/the-pros-cons-of-different-types-of-renewable-energy-sources/#google_vignette. – Дата доступа: 25.08.2025.

4. Оценка готовности к возобновляемой энергетике: Республика Беларусь / Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [Электронный ресурс]. – Абу-Даби, 2021 // Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/downloads/publishing/publishing_2021/20211130_irena_rb.pdf. – Дата доступа: 02.09.2025.

5. Электронный информационный ресурс: Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://195.50.7.239/Cadastre/Map. – Дата доступа: 10.09.2025.

6. Корнеев, В.Н. Гидроэнергетический потенциал средних и малых рек бассейнов Западная Двина, Днепр, Припять на территории Беларуси. / В.Н. Корнеев, И.А. Булак, Л.Н. Гертман // Природные ресурсы. – Минск, 2020;(2). – С. 63 – 69.

УДК 332.63

Россоха Е.В.
кандидат экономических наук, доцент
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Французова А.М.
аспирант
Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Декарбонизации объектов недвижимости на основе интеграции ESG-принципов *(Россоха Е.В., Французова А.М.)*

Аннотация. Проведен анализ процессов декарбонизации объектов жилой недвижимости в контексте выполнения целей Парижского соглашения и интеграции ESG-принципов. Результаты исследования демонстрируют, что интеграция ESG-принципов на всех этапах жизненного цикла объектов недвижимости является условием создания ее устойчивой стоимости в условиях перехода к низкоуглеродной экономике.

Ключевые слова: декарбонизация, ESG-принципы, зеленая недвижимость, Парижское соглашение, углеродная нейтральность, устойчивое развитие.

Парижское соглашение задало глобальные рамки для декарбонизации мировой экономики. Актуальность обусловлена глобальной тенденцией на низкоуглеродное развитие и формирование новой парадигмы в управлении активами, где ESG-факторы становятся ключевыми драйверами стоимости объектов недвижимости.

Интеграция ESG-принципов в объекты недвижимости приводит к снижению операционных затрат, повышению их рыночной стоимости, привлекательности для инвесторов, улучшению имиджа, а также к созданию благоприятной и безопасной среды проживания. Ключевые эффекты от интеграции ESG-принципов в объекты недвижимости представлены в таблице 1.

Таблица 1 − Ключевые эффекты интеграции ESG-принципов.

№ п/п	Преимущество	Эффекты (оценка)	Временной горизонт
1.	Снижение операционных затрат	До 30% экономии на энергопотреблении	Краткосрочный (от 1 до 3 лет)
2.	Увеличение стоимости активов	5-15% к стоимости «зеленых» активов	Среднесрочный (от 3 до 5 лет)

№ п/п	Преимущество	Эффекты (оценка)	Временной горизонт
3.	Доступ к «зеленому» Финансированию	Снижение ставок по «зеленым» кредитам на 0,5-1,5%	Среднесрочный
4.	Повышение устойчивости	Снижение рисков	Долгосрочный (от 5 лет и выше)

Внедрение ESG-принципов оказывает влияние также на инвестиционную привлекательность объектов недвижимости. Сравнительная характеристика объектов с высоким и низким уровнем углеродным следом представлена в таблице 2.

Таблица 2 − Сравнительная характеристика объектов с высоким и низким уровнем углеродным следом

	Объекты с высоким углеродным следом	Объекты с низким уровнем выбросов
Характеристика	− чаще подвержены амортизации и обесцениванию; − могут быть исключены из инвестиционных портфелей; − рискуют потерять арендаторов, ориентированных на ESG-стандарты; − требуют дополнительных вложений для приведения к нормативам.	− выигрывают в глазах арендаторов и инвесторов; − соответствуют требованиям фондов устойчивого развития; − имеют конкурентное преимущество на рынке; − менее подвержены регуляторным и климатическим рискам.

Внедрение ESG-принципов на протяжении всего жизненного цикла объектов недвижимости стало ключевой тенденцией, обусловленной регуляторными требованиями, рыночными предпочтениями и необходимостью устойчивого развития.

Стимулирование декарбонизации в сфере жилой недвижимости осуществляется при помощи следующих инструментов:

1. Сертификация зданий и «зеленые» стандарты.

Международные системы сертификации (LEED, BREEAM, DGNB) обеспечивают независимую оценку соответствия объекта ESG-критериям. В России утвержден национальный «зеленый» стандарт многоквартирных домов (ДОМ.РФ совместно с Минстроем России). Системы сертификации предоставляют доступ к международному финансированию и повышают доверие инвесторов. Например, LEED-сертифицированные здания получают на 31% больше за ставку по арендной плате [1].

Строительство и эксплуатация объектов жилой недвижимости в рамках «зеленых» стандартов обусловлена не только вопросом окружающей среды, но и экономическо-управленческой целесообразностью. Для банков и инвестфондов, финансирующих проекты, соответствие недвижимости ESG-стандартам

является положительным маркером качества и долгосрочного ROI (Return On Investment, возврата инвестиций).

2. «Зеленая» премия и финансирование.

Ключевая цель проведения «зеленой» премии заключаются в популяризации экологизации посредством отбора и демонстрации лучших практик в области сокращения выбросов парниковых газов и снижения углеродного следа. Признание на уровне премии повышает репутацию компаний среди потребителей и инвесторов, демонстрируя их приверженность экологическим и социальным стандартам, что способствует увеличению клиентской базы и лояльности.

Например, по оценке агентства «Эксперт РА» [2], полученной по результатам опроса банков, за период с 2023 года по 2024 год объём портфеля ESG-кредитов вырос в два раза и составил 5,5 трлн рублей. При этом доля зелёных кредитов в общем объёме составила 41,5%. К примеру, за соответствие объекта ESG-критериям, скидка по кредиту составляет 1-2%, еще 3,5% − за строительство домов в отдельных регионах. Таким образом, максимально может быть просубсидировано 5,5% от ставки по кредиту.

Таким образом, декарбонизация становится не только инструментом устойчивого развития, но и экономическим фактором, напрямую влияющим на рыночную стоимость, ликвидность и инвестиционную привлекательность недвижимости.

Стоит отметить и сохраняющуюся проблематику, связанную с регуляторной фрагментарностью в контексте отсутствия единых (глобальных) стандартов ESG-отчетности, что значительно затрудняет сравнение и оценку эффективности на международном уровне. Также, декарбонизация существующих объектов недвижимости требует значительных инвестиций в реновацию и модернизацию, что значительно затрудняет реализацию в краткосрочной перспективе.

Список использованных источников

1 Россоха Е. В., Французова А. М. ESG-вектор в развитии жилой недвижимости Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2024. № 1 (280). С. 128–133.

2 ESG, декарбонизация и зелёные финансы России. Ежегодный доклад [Электронный ресурс]. − Режим доступа: https://infragreen.ru/content/files/2025/03/INFRAGREEN_ESG_Green_finance_Russia_160325.pdf. − Дата доступа: 01.09.2025.

УДК 620.92:502.171

Мальцева Н.М.
Консультант управления энергоэффективности, экологии и науки
Министерство энергетики Республики Беларусь
г. Минск, Республика Беларусь

Декарбонизация сектора производства электроэнергии и ее влияние на достижение целей в области устойчивого развития *(Мальцева Н.М.)*

Аннотация. Статья посвящена анализу процесса декарбонизации электроэнергетического сектора Республики Беларусь и его роли в достижении целей устойчивого развития. На основе актуальных данных на начало 2025 года автор детально рассматривает структурные преобразования в энергосистеме страны. Ключевыми направлениями этой трансформации определены: диверсификация энергобаланса за счет ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС, активное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и увеличение использования местных видов топлива. В работе представлены конкретные количественные показатели роста мощностей ВИЭ и производства на их основе электроэнергии, а также планы по расширению применения древесного топлива.

Ключевые слова: энергосистема, декарбонизация, местные виды топлива, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии.

Энергосистема Республики Беларусь – это стабильно работающий комплекс, который включает все этапы производства электрической энергии. По состоянию на 1 января 2025 г. установленная мощность электроэнергетической системы составляет порядка 13,5 ГВт, из которых установленная мощность генерирующих энергоисточников

ГПО «Белэнерго» – 12 198,3 МВт, в том числе:

Белорусской АЭС – 2 340 МВт;

42 тепловых электростанций ГПО «Белэнерго» – 9761 МВт;

24 гидроэлектростанций (ГЭС) и Новогрудской ветроэлектрической станции (ВЭС) – 97,3 МВт.

Потребление в стране электрической энергии в объеме более 43 млрд. кВт·ч полностью обеспечивается за счет ее производства на собственных электростанциях.

Одним из направлений развития низкоуглеродной энергетики является использование возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Республика Беларусь реализует последовательную политику в данном направлении с учетом обобщения лучших мировых практик и создания соответствующей законодательной база.

Мощность установок по использованию ВИЭ в республике возросла более чем в 5 раз по сравнению с 2014 годом – с 93 МВт в 2014 году до 530 МВт в текущем году.

За 2024 год производство электрической энергии всеми субъектами хозяйствования за счет использования возобновляемых источников энергии составило 1297,0 млн. кВт·ч, в том числе:

374,0 млн. кВт·ч – организациями ГПО «Белэнерго»;

923,0 млн. кВт·ч – юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Постепенный переход к низкоуглеродной энергетике осуществляется также посредством вовлечения в структуру топливно-энергетического баланса местных видов топлива в объемах, обеспечивающих выполнение прогнозных индикаторов энергетической безопасности республики.

Так, планируется расширение использования древесного топлива – топливных гранул (пеллет) на энергоисточниках организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго».

В 2024 году такими организациями использовано 6,7 тыс. тонн пеллет, в 2025 году (и последующие годы) оценивается в объеме 8,3 тыс. тонн.

В Белорусской энергосистеме эксплуатируются:

10 энергоисточников, работающих на местных видах топлива, таких как топливная щепа, торф фрезерный топливный, торфобрикет, торфодревесное топливо, лигнин гидролизного производства;

24 гидроэлектростанции суммарной установленной мощностью 88,11 МВт, в том числе самые мощные в Республике Беларусь – Витебская ГЭС (40 МВт), Полоцкая ГЭС (21,66 МВт), Гродненская ГЭС (17 МВт), а также ветроэлектрическая станция суммарной установленной мощностью 9 МВт в районе н.п. Грабники Новогрудского района. Ежегодно данными объектами вырабатывается порядка 360 млн кВт·ч электрической энергии.

В целом, энергетическая политика в Республике Беларусь в области ВИЭ определяется исходя из целевых значений индикаторов, определенных в Концепции энергетической безопасности, в том числе индикатора, характеризующего развитие ВИЭ («отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению топливно-энергетических ресурсов»).

По итогам 2024 года упомянутый индикатор находится на уровне 7,1 %.

Сделан серьезный шаг в диверсификации энергобаланса, в рамках которой углеродная энергетика Республики Беларусь дополнилась низкоуглеродной – атомной.

В 2023 году завершены работы по вводу в эксплуатацию атомной электростанции «АЭС – 2006» поколения 3+ суммарной установленной мощностью 2400 МВт. Это экологичный, надежный и экономичный источник энергии, приносящий ощутимый эффект в решении экологической проблемы, связанной с выбросами парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Ежегодно электростанция будет генерировать порядка 18 млрд. кВт·ч и уменьшать негативное воздействие на окружающую среду за счет предотвращения выбросов парниковых газов в объеме не менее 7,0 млн. тонн.

В настоящее время доля электроэнергии Белорусской АЭС в объеме потребления составляет порядка 40 %.

Повышение энергоэффективности и переход на эффективные, ресурсосберегающие и экологичные технологии, также является одним из инструментов в развитии чистой энергетики.

В целях выполнения установленных Государственной программой «Энергосбережение» на 2021 – 2025 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 февраля 2021 г. № 103) заданий в данной сфере ежегодно подведомственными организациями Минэнерго реализуются соответствующие планы, предусматривающие внедрение передовых энергоэффективных технологий, снижение потерь в электрических и тепловых сетях, энергоэффективную модернизацию систем горячего водоснабжения и отопления.

Осознавая необходимость выполнения внутренних и международных климатических целей, расширяется спектр применения электрической энергии. В настоящее время в Республике Беларусь динамично развивается электротранспорт, создана развернутая сеть зарядных станций для электротранспорта. За счет стимулирующих мер в республике значительно выросло количество электромобилей.

Для создания устойчивых, декарбонизированных глобальных энергосистем, активно прорабатывается вопрос использования систем накопления на основе литий-ионных технологий. В соответствии с Планом первоочередных мероприятий для развития использования систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в Республике Беларусь, утвержденным заместителем Премьер-министра Республики Беларусь Каранкевичем В.М. 12 октября 2024 г. № 03/312-334/13073р, прорабатываются возможности локализованного производства таких систем.

Принимая во внимание, что невозможно достичь цели по переходу на низкоуглеродную энергетику только за счет традиционных мероприятий, подведомственными организациями Минэнерго осуществляется комплексный подход как по использованию высокотехнологичного и инновационного энергетического оборудования, так по внедрению в энергетической отрасли современных цифровых технологий.

Проекты по внедрению современных IT-технологий реализуются в различных сферах отрасли: от создания «умных» распределительных сетей, строительства цифровых подстанций, внедрения инструментов информационной и кибербезопасности до предоставления качественно новых электронных услуг нашим потребителям. Результаты этой работы являются весомым вкладом в устойчивое развитие экономики, повышение качества жизни людей.

Проводится работа по рассмотрению вопроса актуальности развития нормативной базы (разработки межгосударственных стандартов) в области низкоуглеродного развития и климатических проектов Евразийского экономического союза на основе соответствующих международных стандартов серии ИСО 14000, содержащих требования к системе экологического управления.

В Республике Беларусь на основе таких стандартов утверждены и введены в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации идентичные национальные стандарты.

Для Белорусской энергетической системы представляется важным осуществлять должные меры для реализации взятых республикой обязательств по сокращению выбросов парниковых газов.

Энергетическая политика в среднесрочной перспективе будет направлена на повышение энергетической безопасности и надежности энергоснабжения с принятием необходимых мер по снижению углеродоемкости продукции. Данная работа уменьшит негативные воздействия на окружающую среду, тем самым создаст благоприятных условия жизни для населения страны.

Список использованных источников

1. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации. Энергетическая статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dataportal.belstat.gov.by/osids/rubric-info/10622 – Дата доступа: 08.09.2025.

УДК 338.24

Дюров В.В.
НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь
г. Минск, Республика Беларусь

Управление эффективностью использования материальных ресурсов в промышленности РБ как фактор декарбонизации: зарубежный опыт и национальные перспективы экономики *(Дюров В.В.)*

Аннотация. В статье рассматривается роль повышения эффективности использования материальных ресурсов в промышленности Республики Беларусь как одного из ключевых факторов декарбонизации и сокращения выбросов парниковых газов. Проводится сравнительный анализ классических и современных методы оценки эффективности использования материальных ресурсов, выявляются ограничения традиционных подходов и преимущества инновационных технологий, таких как анализ жизненного цикла (LCA), цифровые двойники и системы ИИ. Особое внимание уделяется вопросу государственного регулирования в Республике Беларусь, а также зарубежному опыту Германии, Японии и Швеции.

Ключевые слова: декарбонизация, промышленность, эффективность использования МР, анализ жизненного цикла (LCA), системы ИИ, бережливое производство.

Введение. В условиях глобальных вызовов немаловажную роль играет вопрос декарбонизации, направленный на сокращение выбросов парниковых газов. Промышленный сектор, как один из основных источников выбросов CO_2, требует комплексных решений для достижения целей устойчивого развития. Одним из эффективных способов реализации проблемы декарбонизации в промышленности выступает повышение эффективности использования материальных ресурсов (далее – МР), которое позволяет минимизировать отходы, снизить энергопотребление и углеродоемкость производственных процессов. Повышение эффективности их использования способствует укреплению конкурентоспособности экономики, обеспечивая снижение затрат и соответствие международным экологическим стандартам. В настоящее время методологические основы оценки эффективности использования МР опираются на системный подход, объединяющий экономические, производственные и технологические аспекты, и подчеркивают важность современных методов по повышению эффективности их использования. Государственные меры, среди которых выделяют стандарты, поддержку инноваций, инвестиции в НИОКР способствуют внедрению инновационных технологий, таких как рециклинг, что снижает углеродный след, и обеспечению выполнения целей декарбонизации.

Материалы и методы исследования.

Классические методы оценки эффективности использования МР, такие как коэффициентный анализ и нормативный метод, основываются на расчете материалоемкости (удельный расход материалов на единицу продукции) и

коэффициента использования ресурсов. Эффективность классических методов обеспечивается в условиях стабильных производственных процессов с низкой степенью автоматизации, поскольку они позволяют проводить простую оценку затрат. Однако при их использовании определен ряд ограничений, наиболее важными из которых в настоящее время являются следующие:

– игнорирование динамики рыночных цен на сырье;

– отсутствие учета долгосрочных эффектов, сложных цепочек поставок и экологических показателей;

– недостаточная интеграция данных в реальном времени и эффектов от технологических инноваций.

Современные методы, такие как анализ жизненного цикла (LCA), цифровые двойники, системы ИИ и бережливое производство (Lean Production), преодолевают эти ограничения, обеспечивая комплексную оценку.

Так, например, анализ жизненного цикла (LCA, ISO 14040) оценивает материальные потоки на всех этапах – от добычи до утилизации, цифровые двойники используют данные в реальном времени для моделирования процессов, системы на основе ИИ позволяют оптимизировать цепочки поставок, прогнозируя спрос, а методы бережливого производства устраняют избыточные операции. Эти подходы требуют высоких затрат на внедрение и подготовки квалифицированного персонала, но обеспечивают более точную и комплексную оценку эффективности использования МР, тем самым способствуя декарбонизации. В условиях развития цифровизации и глобальной конкуренции переход от классических подходов к современным неизбежен, но требует государственной поддержки [1,2,3].

Анализ зарубежного опыта демонстрирует высокую эффективность государственного регулирования по вопросам повышения эффективности использования МР и сокращения выбросов парниковых газов.

Так, например, в Германии программа «Industry 4.0» [4] посредством субсидирования цифровизации, в частности внедрения цифровых двойников и систем ИИ в промышленности, поспособствовала снижению углеродоемкости на 10 % (по данным OECD, 2023). Применение стандарта ISO 14040 для анализа жизненного цикла (LCA) позволило немецким предприятиям интегрировать экологические показатели в производственные процессы, обеспечивая соответствие требованиям Европейского курса зеленой экономики [5].

По данным МЭА (2023) в Японии государственные гранты на внедрение методов бережливого производства позволили сократить отходы в промышленности на 20%. Программы поддержки НИОКР способствуют разработке технологий рециклинга, таких как переработка полимеров, что снижает потребность в первичном сырье и выбросы [6].

В Швеции налоговые льготы для компаний, использующих вторичные материалы, стимулируют укрепление модели циркулярной экономики, обеспечив сокращение энергопотребления в металлургии на 10% [7].

Также следует отметить, что государственные инициативы по обучению персонала повышают эффективность внедрения таких технологий, как LCA, что способствует повышению конкурентоспособности продукции на рынках ЕС.

В свою очередь, в Республике Беларусь государственное регулирование по вопросам оценки и повышения эффективности использования МР как одного из направлений решения проблемы декарбонизации осуществляется в рамках комплексной системы государственных программ социально-экономического развития, инноваций, энергосбережения и экологической безопасности.

Ключевыми государственными программами в республике, направленными на повышение эффективности использования МР в промышленности, являются следующие:

– Государственная программа «Энергосбережение» на 2021 – 2025 годы (в редакции постановления Совета Министров от 27 декабря 2024 г. № 1030) ставит целью повышение энергоэффективности, модернизацию производств, автоматизацию и переработку отходов;

– Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021 – 2025 годы (в редакции постановления Совета Министров от 11 июня 2025 г. № 325) направлена на рациональное использование МР, минимизацию отходов и переработку вторичных ресурсов;

– Государственная программа «Наукоемкие технологии и техника» на 2021 – 2025 годы (в редакции постановления Совета Министров от 13 июня 2025 г. № 332) в рамках которой предусматривается разработка новых и совершенствование существующих экологобезопасных ресурсосберегающих технологий, а также создание инновационных высокоэффективных и экологически безопасных продуктов на основе органического сырья.

Однако, несмотря на реализацию указанных государственных программ, современные методы оценки и управления МР распространены в республике в незначительной степени.

Основными сдерживающими факторами являются необходимость финансирования и квалифицированных кадров, что препятствует более значительной интеграции передовых подходов по повышению эффективности использования МР, необходимой для достижения целей декарбонизации.

Результаты исследования и их обсуждение.

Адаптация зарубежных практик может существенно ускорить декарбонизацию промышленности РБ. Например, немецкая модель субсидирования цифровизации применима для крупных предприятий машиностроения и металлургии Беларуси. Японский опыт грантов на методы бережливого производства применим для серийных производств, таких как производство потребительских товаров, где стандартизация процессов имеет особо важное значение. Шведская практика налоговых льгот для рециклинга перспективна для химической отрасли и в нашей стране. Реализация таких мер и в нашей стране поспособствует достижению целей устойчивого и укреплению экспортного потенциал на рынки ЕС, где экологичность продукции становится определяющим фактором. На сегодняшний день главными препятствиями являются необходимые высокие затраты на внедрение технологий и нехватку квалифицированных специалистов, что требует инвестиций в обучение и НИОКР. Тем не менее, экономические выгоды, такие как снижение затрат на

сырье и энергию, а также соответствие международным экологическим стандартам, перевешивают эти риски. Государственное регулирование, включая разработку национальных стандартов и расширение субсидий, играет важную роль в создании условий для внедрения инновационных технологий, способствуя переходу к низкоуглеродной экономике.

Заключение.

Совершенствование методологических подходов к оценке и методов повышения эффективности использования МР в промышленности Республики Беларусь является ключевым фактором сокращения выбросов парниковых газов, обеспечивая объединение вопросов экологической устойчивости и экономической конкурентоспособности. В свою очередь, государственное регулирование, реализуемое посредством стандартизации, субсидирования и поддержки НИОКР, создает необходимые условия для внедрения инновационных технологий, включая анализ жизненного цикла (LCA), цифровые двойники и системы искусственного интеллекта. Зарубежный опыт Германии, Японии и Швеции свидетельствует об эффективности таких инструментов, как налоговые льготы, гранты и экологические стандарты. Адаптация этих практик в Беларуси с учетом национальных особенностей, включая экспортно-ориентированную экономику, позволит ускорить переход к низкоуглеродной модели развития и достижению целей устойчивого развития, укрепляя позиции страны на международных рынках.

Список использованных источников

1. Расчет углеродного и экологического следа продукта (LCA, EPD) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://hpb-s.com/services/lca-epd/. – Дата доступа: 02.09.2025.

2. Digital Twin – цифровая копия физической системы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://habr.com/ru/articles/887936/. – Дата доступа: 02.09.2025.

3. Что такое методология бережливого производства? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.atlassian.com/ru/agile/project-management/lean-methodology. – Дата доступа: 02.09.2025.

4. Мелешко Ю. ИНДУСТРИЯ 4.0 – НОВАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА ГЕРМАНИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ / Ю. Мелешко // Экономическая наука сегодня. – 2018. – № 8. – С. 80–93.

5. Götzea U., Life Cycle Engineering and Management – Fostering the Managementorientation of Life Cycle Engineering Activities / U. Götzea, P. Peçasb, A. Schmidta // Procedia: CIRP. − 2017. − № 61. − P. 134–139.

6. Energy White Paper 2023 (Summary). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/whitepaper/pdf/2023_outline.pdf. – Дата доступа: 09.09.2025.

7. Налоговые инновации для экологических стартапов в Швеции: грамотное бухгалтерское сопровождение в 2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://immi.si/blogs/news. – Дата доступа: 09.09.2025.

УДК 620.9

Кудрявцева Ольга Владимировна
профессор экономического факультета
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия
olgakud@mail.ru

Попов Алексей Владимирович
аспирант экономического факультета
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия
a-l-ppv@yandex.ru

Декарбонизация сектора производства электроэнергии при помощи систем накопления электроэнергии и её влияние на достижение целей в области устойчивого развития *(Кудрявцева О.В., Попов А.В.)*

Аннотация. Актуальность декарбонизации энергетического сектора обусловлена необходимостью выполнения Парижских соглашений и Целей устойчивого развития (ЦУР) ООН. Ключевой проблемой является интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ), чья стохастическая природа создает препятствия для балансировки энергосистем и ограничивает потенциал снижения выбросов. Системы накопления электроэнергии (СНЭ) представлены как технологическое решение, способное преодолеть эти ограничения через временной арбитраж энергии, предоставление вспомогательных услуг и создание автономных гибридных систем «ВИЭ + СНЭ». В работе анализируется многогранное влияние СНЭ на достижение ЦУР 7 (чистая энергия), 13 (борьба с изменением климата) и 9 (инновации). Подчеркивается, что, несмотря на существующие технологические, экономические и нормативные барьеры, перспективы развития СНЭ связаны со снижением затрат, появлением гибридных систем и интеграцией с водородными технологиями. Особое внимание уделяется роли СНЭ в реализации климатических целей России и в рамках энергетического сотрудничества стран БРИКС. Делается вывод, что СНЭ являются ключевым фактором декарбонизации, обеспечивающим синергетический эффект для энергетической безопасности, экономического развития и защиты окружающей среды.

Ключевые слова: декарбонизация энергетики, СНЭ, ВИЭ, ЦУР, парниковые газы, балансировка энергосистемы.

Актуальность декарбонизации энергетического сектора обусловлена необходимостью выполнения Парижских соглашений по климату и достижения Целей устойчивого развития (ЦУР), принятых ООН. Несмотря на активное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), их интеграция в энергосистему сталкивается с фундаментальными вызовами, связанными с нестабильностью генерации электроэнергии и несоответствием графиков выработки и потребления. Системы накопления электроэнергии (СНЭ)

становятся ключевым технологическим решением, способным обеспечить не только глубокую декарбонизацию, но и устойчивое развитие энергетики.

Ключевой проблемой декарбонизации является необходимость балансировки энергосистем с высокой долей ВИЭ. Солнечная и ветровая генерация характеризуются стохастическим характером, что приводит к необходимости сохранения резервных мощностей на ископаемом топливе и ограничивает потенциал снижения выбросов. СНЭ позволяют преодолеть эти ограничения через несколько механизмов. Во-первых, они обеспечивают временной арбитраж энергии, аккумулируя излишки в периоды высокой генерации и отдавая их в моменты пикового спроса, что позволяет замещать традиционную углеводородную генерацию. Во-вторых, СНЭ предоставляют вспомогательные услуги по регулированию частоты и напряжения, повышая стабильность и надежность энергосистем. В-третьих, в изолированных энергорайонах гибридные системы "ВИЭ + СНЭ" позволяют сократить потребление дизельного топлива на 40-60%, обеспечивая немедленный экологический и экономический эффект [1].

Влияние внедрения СНЭ на достижение ЦУР проявляется в нескольких аспектах. Для ЦУР 7 ("Недорогостоящая и чистая энергия") СНЭ способствуют снижению стоимости энергии через оптимизацию режимов работы генерации и сокращение затрат на топливо. В удалённых регионах они обеспечивают доступ к энергии через создание автономных систем, не зависящих от дорогостоящего привозного топлива. Для ЦУР 13 ("Борьба с изменением климата") СНЭ обеспечивают прямое сокращение выбросов CO_2 в системах, подключенных к сети. Косвенный вклад заключается в снижении экологического ущерба от добычи и транспортировки ископаемого топлива. Для ЦУР 9 ("Инновации и инфраструктура") развитие СНЭ стимулирует создание новых высокотехнологичных производств и оптимизацию сетевой инфраструктуры через отложенные инвестиции в расширение сетей.

Реализация потенциала СНЭ требует преодоления значительных барьеров. Технологические проблемы включают необходимость увеличения срока службы батарей, снижения капитальных затрат и развития инфраструктуры переработки. Экономические барьеры связаны с высокими первоначальными инвестициями и недостаточной развитостью рыночных механизмов для монетизации системных услуг. Нормативные препятствия включают отсутствие четких правил участия СНЭ на рынках мощности и вспомогательных услуг. Решение этих проблем требует скоординированных усилий государства, бизнеса и научного сообщества [2].

Перспективы развития связаны с несколькими тенденциями. Прогнозируется снижение капитальных затрат на 50-60% к 2030 году благодаря эффекту масштаба и технологическим усовершенствованиям. Развитие гибридных систем, сочетающих различные технологии накопления (например, литий-ионные для мощности и проточные батареи для энергии), позволит оптимизировать рентабельность [5]. Интеграция с водородными технологиями создаст возможности для сезонного хранения энергии. Цифровизация

управления через искусственный интеллект и машинное обучение позволит максимизировать ценность от эксплуатации СНЭ.

В 2024 году Российская Федерация начала председательство в БРИКС под лозунгом «Укрепление многосторонности для справедливого глобального развития и безопасности». Одним из приоритетных направлений сотрудничества стало повышение энергоэффективности стран-участниц. Этот выбор обусловлен значительным влиянием энергетического сектора государств БРИКС на глобальные показатели: на их долю приходится 49% мировой выработки электроэнергии, 47% потребления и 46% объёмов выбросов парниковых газов [3]. Работа в данной области ведётся с 2015 года, когда в ходе первой встречи министров энергетики БРИКС был подписан Меморандум о взаимопонимании в области энергосбережения и повышения энергоэффективности. Важным шагом стало создание в 2018 году Платформы энергетических исследований БРИКС, направленной на содействие устойчивому развитию энергетики через внедрение инновационных технологий, обеспечение всеобщего доступа к доступным, надёжным и современным энергоресурсам. Одним из перспективных вариантов повышения энергоэффективности является сотрудничество в области разработки с последующим внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и технологий аккумулирования энергии. Достижения в этой области есть у всех стран БРИКС, а объединение их усилий может обеспечить им мировое лидерство в этом направлении [4].

В рамках выполнения поручения Президента РФ Владимира Путина о сокращении выбросов парниковых газов до 65–67% от уровня 1990 года к 2035 году [6] ключевая роль отводится промышленному и энергетическому секторам, которые являются основными источниками эмиссии. Массовое внедрение систем накопления электроэнергии в этих отраслях позволит достичь значительной части целевого показателя, а именно сократить выбросы примерно на 25% от уровня 1990 года. Это станет возможно за счёт замещения традиционной генерации, повышения эффективности использования топлива и снижения потерь при передаче электроэнергии, что внесёт существенный вклад в достижение национальных климатических целей.

В заключение, СНЭ являются не просто вспомогательной технологией, а ключевым фактором декарбонизации энергогенерации. Их внедрение создает синергетический эффект для достижения ЦУР, способствуя не только снижению углеродного следа, но и обеспечению энергетической безопасности, экономическому развитию и защите окружающей среды. Успешная реализация потенциала СНЭ требует разработки комплексной политики, включающей меры финансовой поддержки, адаптацию нормативной базы и стимулирование международного сотрудничества. Дальнейшие исследовательские усилия должны быть сфокусированы на развитии технологий накопления следующего поколения и комплексном моделировании их воздействия на энергосистемы и устойчивое развитие.

Список использованных источников

1. Бушуев В., Новиков Н. Инфраструктурные накопители в энергетике. *Энергетическая политика*. 2020. № 10. 74-90 стр.

2. Кудрявцева О.В., Попов А.В. Устойчивое развитие в новых условиях: энергетическая составляющая. Технологический суверенитет и цифровая трансформация. Электронный сборник статей по материалам конференции. 2024. С. 326-332.

3. Информационный бюллетень стран БРИКС - Joint Statistical Publication Snapshot. – Режим доступа: https://eng.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BRICS%20JSP%20SnapShot-2023.pdf – Дата доступа: 06.09.2025.

4. Мастепанов А.М. Сотрудничество стран БРИКС в энергетической сфере как фактор прогнозирования мирового энергопотребления. *Бурение и нефть.* 2016. №1. 13-19 стр.

5. Устинов Д.А., Сычёв Ю.А. Тенденции развития промышленных накопителей энергии для устойчивого развития предприятий минерально-сырьевого комплекса. 2021. *Горная промышленность.* № 5-2. 89-98 стр.

6. Указ Президента Российской Федерации № 547 от 06.08.2025 «О сокращении выбросов парниковых газов». – Режим доступа: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202508060001– Дата доступа: 06.09.2025.

УДК 504.3.054

Нурмехамитова В.А., аспирант
Тунакова Ю.А., доктор химических наук, профессор
Новикова С.В., доктор технических наук, доцент
Шагидуллина Р.А., доктор химических наук, доцент,
Шагидуллин А.Р., доктор технических наук
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
г. Казань, Россия

Нейросетевое моделирование концентраций диоксида углерода как основа для разработки технологий сокращения выбросов

(Нурмехамитова В.А., Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р.)

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема антропогенного воздействия на климат, обусловленного выбросами парниковых газов, в частности диоксида углерода. Обосновывается необходимость развития высокоточных методов мониторинга и расчета концентраций диоксида углерода как основы для разработки и внедрения эффективных технологий сокращения выбросов. Представлен нейросетевой способ расчета концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферы. Метод может быть использован для оценки эффективности мероприятий по снижению выбросов и оптимизации режимов работы предприятий.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, диоксид углерода, сокращение выбросов, нейросетевые технологии, мониторинг.

Сжигание ископаемого топлива для нужд энергетики остается одним из основных источников антропогенных выбросов парниковых газов, главным из которых является диоксид углерода (CO_2). Рост концентраций углекислого газа в атмосфере – ключевой драйвер глобального изменения климата. Эффективное управление выбросами невозможно без надежного инструмента для их точной оценки и прогнозирования, особенно на уровне отдельных объектов – источников выбросов.

Существующие регламентированные методики расчета рассеивания (например, МРР-2017 [1]) требуют детальных данных инвентаризации источников, которые отсутствуют для такого вещества, как диоксид углерода. Использование нейросетевых подходов для расчета концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха позволяет учесть все трудно моделируемые скрытые зависимости между факторами, формирующими уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха [2]. В связи с этим был разработан принципиально новый подход, основанный на расчете концентраций диоксида углерода с учетом химической трансформации примесей в атмосферном воздухе.

В состав отходящих газов, образующихся при сжигании любого вида топлива, в том числе и ископаемого углеродного сырья, в реальных условиях входит также ряд загрязняющих веществ, среди которых оксиды азота и оксид углерода (CO) – угарный газ. Оксиды азота образуются вследствие окисления атмосферного азота или азотсодержащих топливных примесей. Оксид углерода образуется вследствие недожога топливного углерода. Таким образом, указанные вещества являются неизменными «спутниками» диоксида углерода в реальных промышленных процессах горения, что влечет наличие некоторой взаимосвязи между концентрациями этих газов.

Тот факт, что в экспериментально измеренных автоматизированными постами концентрациях диоксида углерода, помимо поступивших в атмосферный воздух с выбросами из стационарных источников, есть доля диоксида углерода, образовавшегося в ходе вторичных реакций из оксида углерода, может служить основанием для использования концентраций CO в качестве исходных данных для расчета CO_2. При этом в модели необходимо учитывать процессы превращения веществ в атмосфере.

В качестве объекта исследования рассмотрены выбросы крупного предприятия теплоэнергетики – Нижнекамской ТЭЦ. Анализ проектной документации показал, что в составе выбросов, помимо диоксида углерода, присутствуют сопутствующие загрязняющие вещества, образующиеся в процессе горения: оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2) и другие (рис.1, рис.2). Высокая доля диоксида серы в выбросах связана с наличием резервного топлива – мазута с высоким содержанием серы. Основным топливом является природный газ. Данные приняты согласно проектной документации объекта.

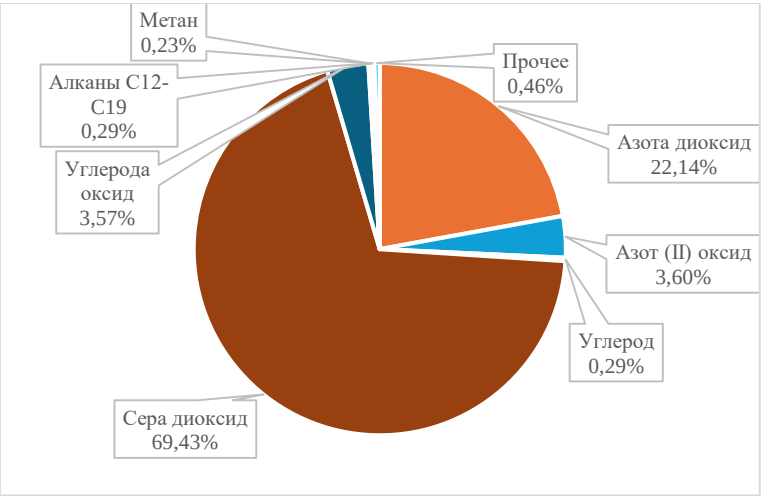

Рис.1. Соотношение максимально разовых выбросов различных примесей Нижнекамской ТЭЦ

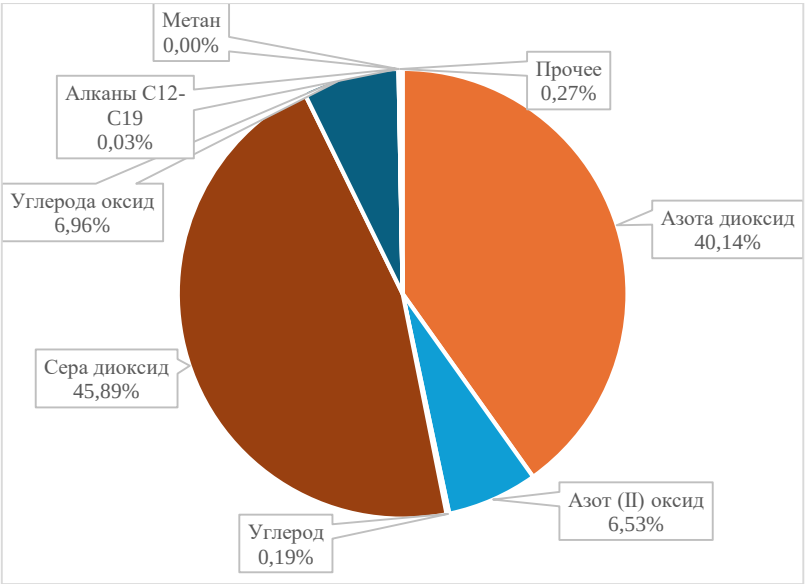

Рис. 2. Соотношение валовых выбросов различных примесей Нижнекамской ТЭЦ

Расчета рассеивания загрязняющих веществ был проведен с использованием программного комплекса УПРЗА «Эколог-Город» (версия 4.70) для 15 расчетных точек в жилой зоне г. Нижнекамска и прилегающих населенных пунктов.

Расположение расчетных точек представлено на рисунке 3.

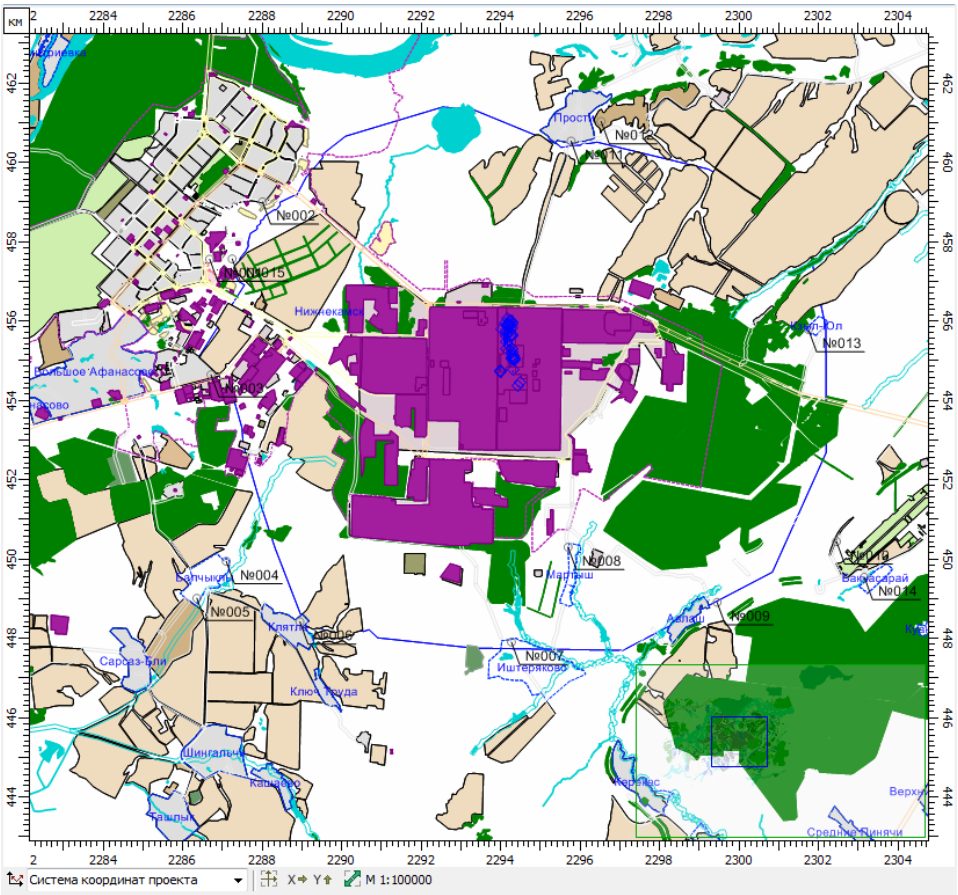

Рис.3. Карта расположения расчетных точек

Полученные значения соответствуют проектным параметрам выбросов и нормативной методике расчета рассеивания веществ в атмосферном воздухе (МРР-2017). Для увеличения точности значений с учетом более широкого набора метеорологических условий, а также условий, отражающих интенсивность химической трансформации примесей, могут использоваться искусственные нейронные сети.

Для коррекции рассчитанных в УПРЗА «Эколог-Город» концентраций оксида углерода в атмосферном воздухе была автоматически спроектирована с помощью нейросетевого генератора Loginom архитектура модели типа многослойного персептрона (MLP) с 6 входными нейронами (включая метеопараметры и концентрации оксида углерода, одним скрытым слоем (4 нейрона с функцией активации гиперболический тангенс) и линейным выходным нейроном, выдающим скорректированное значение концентрации диоксида углерода.

Для программной реализации расчетного нейросетевого блока значений CO_2 необходимо предварительно реализовать вспомогательный блок статистического расчета коэффициента трансформации КТ, исходя из измеренных значений оксида и диоксида азота, что подробно описано нами в работе [3].

Концепцию организации последовательности вычислительных процессов представляет рисунок 4 [4].

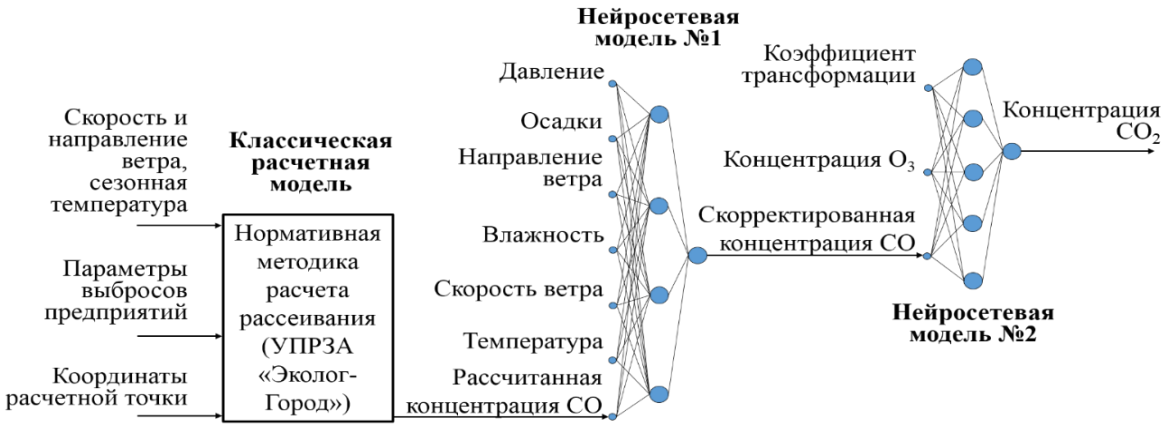

Рис. 4. Последовательность вычислительных блоков модели для расчета концентраций диоксида углерода

Разработанная нейросетевая модель продемонстрировала высокую точность прогнозирования концентраций диоксида углерода. Средняя ошибка на всем массиве данных составила 0,87%, что подтверждает адекватность модели и корректность учета скрытых зависимостей между параметрами. Сравнение смоделированных значений с экспериментально измеренными эталонными данными показало их высокую сходимость (рис. 5).

Рис. 5. Графическое представление фрагмента результатов моделирования концентраций CO_2 нейросетевой моделью в сравнении с экспериментально измеренными эталонными значениями после кластеризации для г. Нижнекамска

Таким образом, развитие технологий сокращения выбросов парниковых газов неразрывно связано с совершенствованием методов их точной оценки. Предложенный нейросетевой способ расчета концентраций диоксида углерода представляет собой инструмент, который эффективно решает проблему отсутствия данных о параметрах источников выбросов этого вещества. Данный метод служит практическим инструментом для реализации ключевых направлений низкоуглеродного развития теплоэнергетики: от точного учета и оптимизации режимов работы до оценки эффективности реализуемых мер по снижению содержания этого газа в рамках климатической политики. Дальнейшие исследования предполагают интеграцию модели с данными прямых измерений для создания комплексных систем управления выбросами.

Список использованных источников

1. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. приказом Минприроды России от 06.06.2017 №273).

2. Нейронечеткое моделирование активных динамических систем / Ю.И. Нечаев / Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2018. – № 1. – С. 3-12.

3. Оценка коэффициента трансформации оксидов азота в приземном слое атмосферы Нижнекамского промышленного узла / И.Г. Григорьева [и др.] / Вестник Казанского технологического университета, 2015. – №19. – С.242-244.

4. Нейросетевой расчет концентраций диоксида углерода / Ю.А. Тунакова [и др.] / Южно-Сибирский научный вестник, 2021. – № 6. – С. 18-23.

УДК 346.7

Салиева Р.Н.
доктор юридических наук, профессор
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан
г. Казань, Россия

Правовая основа реализации государственной политики в области сокращения выбросов парниковых газов в Российской Федерации *(Салиева Р.Н.)*

Аннотация. Представлены правовые и организационные механизмы реализации государственной политики в области сокращения выбросов парниковых газов в Российской Федерации.

Ключевые слова: сокращение выбросов парниковых газов, низкоуглеродная экономика, государственная политика, поглощение парниковых газов, углеродная единица, климатический проект.

Изменение климата и рост концентрации парниковых газов стали серьезной проблемой мирового масштаба. В связи с этим перед государствами встала задача разработки эффективной политики, направленной на ограничение вредных выбросов. Российское законодательство также адаптировалось к новым реалиям, обеспечивая необходимые механизмы для достижения поставленных целей. В области климатических вопросов государственное регулирование в России ориентировано на комплексное решение экологических проблем, сохранение природного наследия и обеспечение устойчивого социально-экономического развития страны. Следует отметить ряд правовых решений, принятых в рамках обязательств, связанных с участием России в международных климатических соглашениях. Парижское соглашение от 12 декабря 2015 года становится ключевым международным документом, определяющим участие России в борьбе с изменениями климата. Государство принимает обязательства по разработке национальных планов и стратегий по снижению выбросов парниковых газов.

Отметим основные законодательные решения: Указ Президента РФ от 04.11.2020 N 666 «О сокращении выбросов парниковых газов»; Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», направленный на регулирование деятельности предприятий и организаций в условиях реализации положений климатической политики; новый Указ Президента РФ № 547 от 6 августа 2025 года, ставит целью сокращение

выбросов парниковых газов до 65-67% от уровня 1990 года к 2035 году, учитывая потенциал лесов и других экосистем в абсорбировании углекислого газа.

Рассмотрим механизмы реализации государственной политики в рассматриваемой сфере. В нормативных правовых актах подзаконного уровня построена система регулирования, в том числе система учета и контроля выбросов парниковых газов. Так, установлена обязанность организаций, осуществляющих значительную эмиссию парниковых газов, ежегодно подавать отчетность в уполномоченные органы; а также закреплено право юридических лиц и индивидуальных предпринимателей реализовать климатические проекты, направленные на сокращение выбросов или увеличение их поглощения; создана категория углеродных единиц, отражающих сокращение или предотвращение выбросов в объеме, эквивалентном 1 тонне углекислого газа (CO_2.). Российские леса играют ключевую роль в борьбе с последствиями изменения климата. Они выполняют важные функции по поглощению избыточного количества углекислого газа из атмосферы. Поэтому государство уделяет особое внимание охране и восстановлению лесных массивов.

Для проверки точности информации о снижении выбросов введены процедуры верификации: Постановления Правительства РФ от 24.03.2022 N 455 и N 790 устанавливают правила верификации климатических проектов и ведения реестра углеродных единиц соответственно (более подробно положения указанных нормативных правовых актов обсуждались в рамках доклада автора «Правовые основы углеродного регулирования в России» на Международной научно-практической конференции «Решение Европейского союза о декарбонизации. Год спустя» на Татарстанском нефтегазохимическом форуме - https://iadevon.ru/news/gosudarstvoipravo/uglerodniy_eksperiment_v_rossii_nabiraet_oboroti-13391/).

Практическая реализация политики осуществляется в рамках комплексной программы энергосбережения и повышения энергоэффективности, утвержденной Правительством в сентябре 2023 года, которая нацелена на значительное снижение энергопотребления к 2035г. Также отметим Национальный проект «Экология», включающий мероприятия федерального проекта «Чистый воздух», который направлен на снижение загрязнений атмосферы крупными промышленными центрам, особенно в регионах с высоким уровнем промышленного производства. Сегодня в сфере реализации государственной политики наблюдается стремление интегрировать международные стандарты и лучшие практики в области охраны природы. Особое внимание уделяется внедрению новейших технологий, позволяющих эффективно контролировать и уменьшать вредные выбросы. Например, реализуется экспериментальная программа, предусматривающая разработку

методик, способствующих снижению негативного воздействия промышленности на атмосферу.

Реализация указанных инициатив способствует формированию современной модели управления экологически опасными производственными объектами и достижению устойчивого развития нашей страны. Важно подчеркнуть, что правовая база постоянно совершенствуется, адаптируясь к современным вызовам и возможностям науки и техники.

Особое внимание заслуживает система экономических рычагов, призванных стимулировать бизнес к внедрению энергоэффективных решений. Среди них выделяются субсидии, инвестиционные налоговые кредиты, льготы по налогу на имущество для высокоэнергоэффективных объектов, ускоренная амортизация энергоэффективного оборудования и административная ответственность за несоблюдение требований. Важное значение имеют региональные программы и институты, например, региональные центры энергосбережения, энергоресурсоэффективности.

В целом государственная политика Российской Федерации в рассматриваемой сфере регулирования характеризуется тем, что стратегический подход сочетается с конкретными механизмами реализации. Благодаря сочетанию законодательных инициатив, экономических стимулов в сфере обеспечения энергоресурсоэффективности постепенно выполняются заявленные климатические цели. Современная государственная политика России представляет собой последовательный путь перехода к экономике с низкими выбросами парниковых газов, сочетая экологические и экономические приоритеты.

Список использованных источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» // Собрание законодательства РФ, 08.11.2021, N 45, ст. 7556.
2. Парижское соглашение. (Заключено в г. Париже 12.12.2015) // Бюллетень международных договоров. 2020. N 4.
3. Указ Президента РФ от 04.11.2020 N 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» // Собрание законодательства РФ, 09.11.2020, N 45, ст. 7095.
4. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» // Собрание законодательства РФ, 05.07.2021, N 27 (часть I), ст. 5124.
5. Указ Президента РФ от 19.04.2017 N 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» // Собрание законодательства РФ, 24.04.2017, N 17, ст. 2546.

6. Постановление Правительства РФ от 14.03.2022 N 355 «О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым организациям» // Собрание законодательства РФ, 21.03.2022, N 12, ст. 1840.
7. Постановление Правительства РФ от 24.03.2022 N 455 «Об утверждении Правил верификации результатов реализации климатических проектов» // Собрание законодательства РФ", 28.03.2022, N 13, ст. 2115.
8. Постановление Правительства РФ от 30.04.2022 N 790 «Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц» // Собрание законодательства РФ, 09.05.2022, N 19, ст. 3208.
9. Постановление Правительства РФ от 20.05.2022 N 905 «Об утверждении формы типового договора на оказание оператором услуг по проведению операций в реестре углеродных единиц» // Собрание законодательства РФ, 30.05.2022, N 22, ст. 3655.
10. Федеральный закон от 06.03.2022 N 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 07.03.2022, N 10, ст. 1391.
11. Национальный проект «Экология» // https://strategy24.ru/rf/ecology/projects/natsional-nyy-proyekt-ekologiya.
12. Подходы зарубежных стран к определению правовой природы углеродных единиц // https://www.csr.ru/upload/iblock/bac/ffj511q4c15x0grscubcqef5zdxiipbr.pdf
13. Углеродный эксперимент в России набирает обороты. Какими документами регулируется обращение CO_2. // https://iadevon.ru/news/gosudarstvoipravo/uglerodniy_eksperiment_v_rossii_nabiraet_oboroti-13391/)

УДК 621.355

Добрего К.В.
ООО «Белинвестторг» холдинг 1AK GROUP
г. Минск, Республика Беларусь

Червинский В.Л.
УО Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Каледник А.С.
УО Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Статистическое моделирование зарядно разрядных циклов литий-ионных аккумуляторных батарей *(Добрего К.В., Червинский В.Л., Каледник А.С.)*

Аннотация. Статья посвящена статистическому моделированию работы литий-ионных аккумуляторных батарей (АКБ), рассматриваемых как последовательно-параллельные сборки электрохимических ячеек. Целью работы является оценка фактической емкости и токового дисбаланса в сложных батарейных системах с учетом технологического разброса параметров ячеек и алгоритмов работы системы управления (BMS). Авторы развивают ранее предложенный статистический подход, применяя его для анализа параллельного соединения модулей (линеек) батарей. Основное внимание уделено анализу параллельной работы батарейных модулей с независимыми BMS.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, статистическое моделирование, метод Монте-Карло, сборка ячеек, параллельные модули, балансировка, система управления батареей (BMS), степень заряда (SOC), токовый дисбаланс, фактическая емкость.

В связи с развитием электротранспорта, ростом «зеленой» энергетики, необходимостью регулирования нагрузки энергосистем на 20 -30 % в год растет рынок аккумуляторных батарей [1].

Аккумуляторные батареи (АКБ), используемые на транспорте, в системах связи, в энергетике построены как последовательно-параллельные сборки электрохимических ячеек. Ячейки не являются абсолютно одинаковыми устройствами, поэтому емкость АКБ зависит от разброса параметров составляющих ее ячеек, структуры сборки, режима зарядки – разрядки, особенностей работы системы управления батареей (BMS) и других факторов.

При этом пользователям батарей важно знать не номинальные параметры АКБ, а фактическую емкость АКБ, дисбаланс токов в сборке, а также возможное изменение параметров в процессе эксплуатации. Задача может быть решена статистическим имитационным моделированием АКБ, однако большинство моделей литий ионных ячеек [2,3] не применимо для ее решения в силу сложности, а также из-за отсутствия информации о разбросе электрических, химических, структурных и прочих параметров ячеек.

В работе [4] предложена методика моделирования работы сборок литий-ионных ячеек как системы ячеек со статистически распределенными параметрами. Моделировалась регулярная зарядка- разрядка постоянным током последовательной сборки (16s) литий ионных LiFePO4 ячеек. Настоящая работа посвящена применению указанного подхода для моделирования более сложной системы, - параллельных линеек литий ионных батарей.

В основе модели - функциональная зависимость $V_{OC}(SOC)$ для отдельной ячейки каторая строится как аппроксимация экспериментальной зависимости [2]:

$$V_{OC} = E_0 + A \cdot SOC + B \cdot exp((SOC - 1)/D) - F \cdot exp(-G \cdot SOC), \quad (1)$$

где E_0, A, B, D, F, G - параметры модели.

Напряжение на ячейке представляется в виде суммы напряжения разорванной цепи, падения напряжения на активном сопротивлении и поляризационного напряжения.

$$U = V_{oc} - I(R_a + R_p) \quad (2)$$

Параметры модели (1), (2) не зависят от направления тока (разрядка или зарядка). Незначительный гистерезис функции $V_{oc}(SOC)$ при смене направления тока не учитывается. Значение SOC рассчитывается по величине протекшего заряда и емкости.

$$SOC = 1 - \int_0^t I dt \quad /C \quad . \quad (3)$$

Принимается гипотеза о том, что при равном статистическом разбросе всех параметров модели (1)-(3) генерируемое множество кривых зарядки/ разрядки адекватно реальному множеству этих кривых для группы случайных ячеек из одной партии. Значения всех параметров распределены по нормальному закону ограниченному по 2 σ.

Статистическая модель ячейки. Согласно статистики компании 1AK-GROUP средняя емкость партии литий-ионных ячеек превышает номинальную $C \approx C_H(1+2 \cdot \sigma_0)$, где C_H – номинальная емкость, σ_0 – относительное стандартное

отклонение емкости ячеек в партии. Например, при C_H =105 А·ч и σ_0 = 1% C = 107,1 А·ч. Емкость ячейки C_i определяется в цикле зарядки – разрядки в диапазоне U = 2,5 – 3.65 В, режим 0.5С, при этом определяются параметры С и σ, Табл.1.

Таблица 1. Сстатистическая модель ячейки ((1) -(3))

$C_{Hом}$ А·ч	U_{op}, В	E_0, В	A, В	B, В	D, б.р.	F, В	G, б.р.	R_a, мΩ	R_p, мΩ	C, А·ч	σ
105	3,1 - 3,4	3,22	0,1223	0,255	0,0117	0,39722	30,9828	0,93	0,6	107.1	0.9%

С использованием статистической модели ячейки проведем статистические расчеты эволюции емкости батареи s16 при циклировании при разных начальных значениях разброса SOC ее ячеек (σ_{SOC}) и для разных условий балансировки. Среднее значение и разброс определялись на основании расчёта группы 30 батарей со случайным набором ячеек. Базовый вариант параметров: σ_{SOC} =5%; ток балансировки $I_б$ = 1 А; порог напряжения для начала балансировки $\Delta U_б$=0.2 В; время балансировки $\Delta\tau_б$=10 сек.

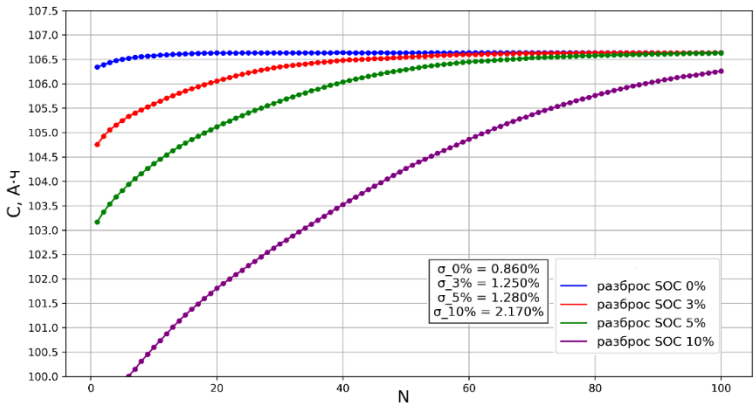

Рис.1. Статистический тренд выхода емкости модуля на максимальное значение от количества циклов N. Базовые параметры балансировки. 1, 2, 3, 4 – σ_{SOC} = 0%, 3%, 5% и 10% соответственно

Скорость выхода емкости на максимальное значение зависит как от тока балансировки, так и от периода балансировки $\Delta\tau_б$, рис.1.

В [4] показан эффект срыва балансировки при снижении порога напряжения начала балансировки $\Delta U_б$ ниже определенного значения, рис.2.

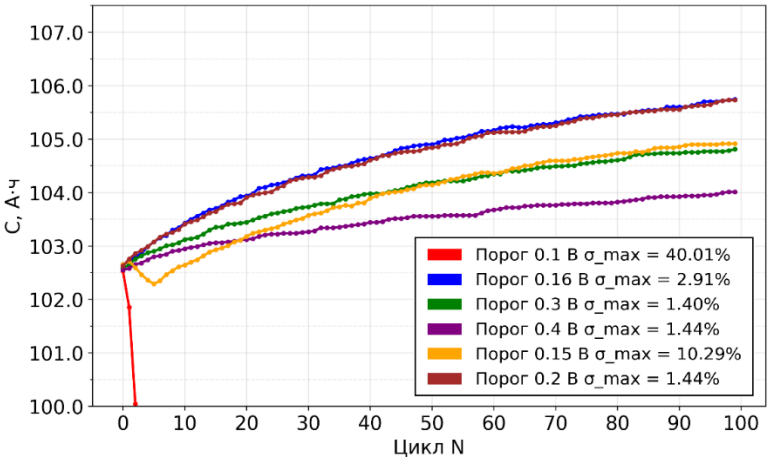

Рис.2. Статистический тренд выхода емкости модуля на максимальное значение от количества циклов N, σ_{SOC}=5%. 1, 2, 3, 4, 5 – порог начала балансировки $\Delta U_б$=0.1, 0.15, 0.16, 0.2, 0.3 и 0.4 В соответственно

Согласно рис. 2, при $\Delta U_б$=0.1, балансировка не выравнивает SOC ячеек. Граница, разделяющая режим эффективной балансировки от режима ее срыва - $\Delta U_{бб}$~0.15 В.

Обратимся к исследованию работы параллельных батарейных модулей. Каждый из модулей управляется независимой BMS. Зарядка и разрядка пары производится стабилизированным током (при режиме 0,5С ток 105 А). Ток разделяется в соответствии с ЭДС (Ɛ) и внутренним сопротивлением батарей r_1 и r_2:

$$I_1 = \frac{I*r_2}{r_1+r_2} - \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{r_1+r_2}, \qquad I_2 = I - I_1, \qquad (5)$$

где $I > 0$, $U > \varepsilon 1, \varepsilon 2$ при зарядке и $I < 0$, $\varepsilon 1, \varepsilon 2 > U$ при разрядке.

На рис. 3 представлен результат статистического расчета для группы 30 пар модулей токов первого цикла зарядки – разрядки. Начальный статистический разброс степени заряженности ячеек в модуле σ_{SOC}=5%. При моделировании реализован базовый режим балансировки с порогом начала балансировки $\Delta U_б$=0.2 В.

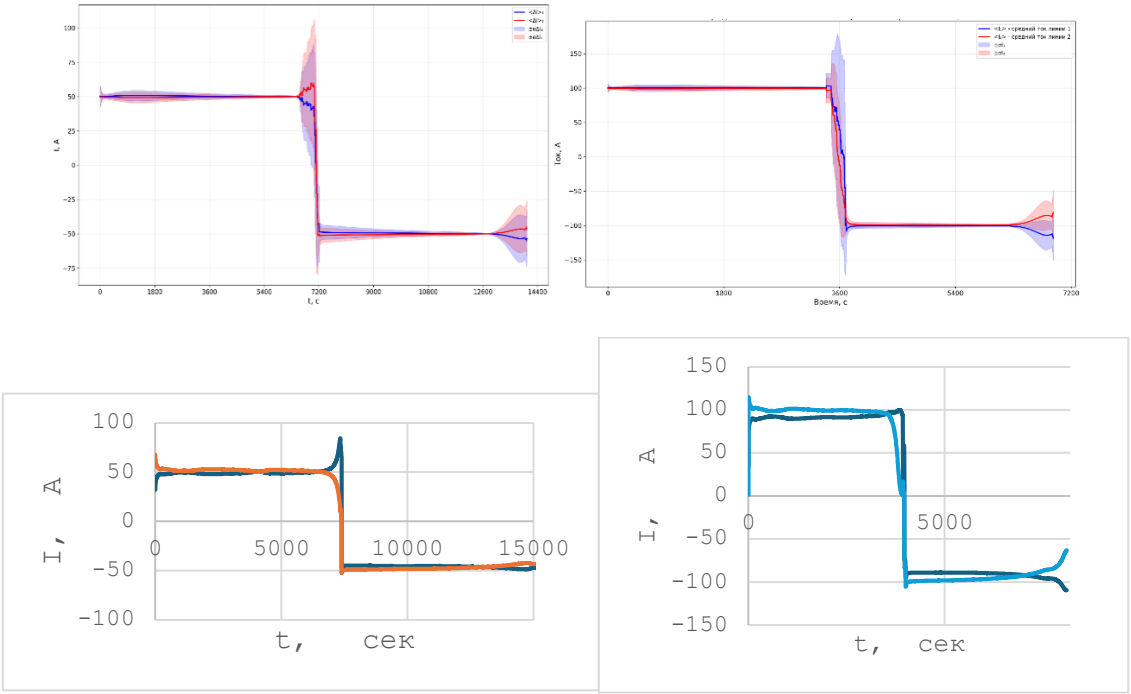

Рис.3. Амплитуда дисбаланса токов зарядки- разрядки первого цикла и ее относительное среднеквадратичное отклонение для 30 случайных пар модулей (верхние рисунки) экспериментальные данные (нижние рисунки). Ток 0.5С (слева) и 0.95С (справа). σ_{SOC}=5%.

Как видно, при высокотоковых режимах зарядки велика вероятность превышения порога допустимого тока для одного из модулей и, как следствие, выключение и недозарядка модуля.

Интересный результат - наличие области схождения токов к номинальному значению на уровне SOC≈90% при зарядке и уровне SOC≈25% - при разрядке, что подтверждено экспериментами.

В табл. 2 и 3 приведены результаты статистических расчетов дисбаланса токов зарядки и зарядки и общей емкости от параметров системы. Дисбаланс рассматривался только при работающих модулях.

Таблица 2. Максимальный дисбаланс токов при зарядке и разрядке, соответствующие величины относительного среднеквадратичного отклонения, а также емкость цикла C_{fact}.

σ_{SOC}, %	<I>, A	$\lvert I_1-I_2\rvert_{max,chr}$	$\sigma_{\Delta Ichr}$	$\lvert I_1-I_2\rvert_{max,dchr}$	$\sigma_{\Delta Idchr}$	C_{fact}, *А.ч*
0	50	35.932	4.375	59.879	10.161	101.536
1	50	34.964	4.251	51.533	9.961	101.279
3	50	32.068	3.906	46.405	9.900	100.225
5	50	28.719	3.649	46.550	10.000	98.864

Фактическая емкость пары снижается с ростом начального расхождения $\sigma_{SOC,}$, при этом дисбаланс токов также снижается с увеличением начального разброса SOC, что объясняется тем, что недозаряд и общее снижение емкости пары, обусловленное ростом $\sigma_{SOC,}$ сильнее влияет на снижение дисбаланса токов чем рост σ_{SOC} на его увеличение.

Таблица 3. Максимальный дисбаланс токов при зарядке и

Разрядке, соответствующие величины относительного среднеквадратичного отклонения, а также емкость цикла C_{fact} при различных токовых режимах iC. σ_{SOC}=3 %.

iC	<I>, A	I_1-I_2|$_{max,chr}$	$\sigma_{\Delta Ichr}$	I_1-I_2|$_{max,dchr}$	$\sigma_{\Delta Idchr}$	C_{fact}, *А.ч*
0.25	25	25.72	3.45	42.13	6.14	100.63
0.5	50	35.85	4.41	64.24	10.36	100.74
0.9	90	59.53	6.98	65.53	15.12	99.47

Исследуем характер изменения дисбаланса токов и общей емкости пары модулей при многократном циклировании, рис.4,5.

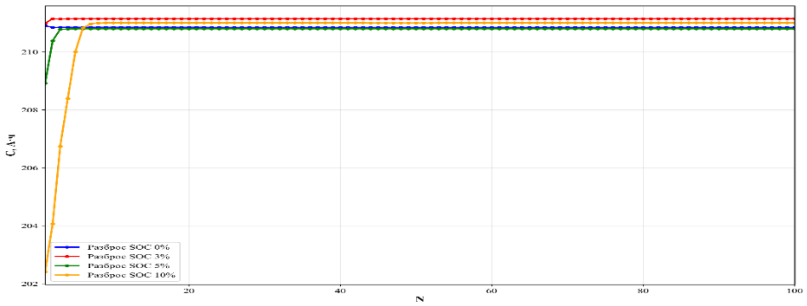

Рис. 4. Изменение доступной емкости параллельной пары от количества зарядно- разрядных циклов N. Ток 0.5C; $\Delta U_б$= 0.15 В. 1, 2, 3, 4 - σ_{SOC}= 0, 3, 5 и 10 %

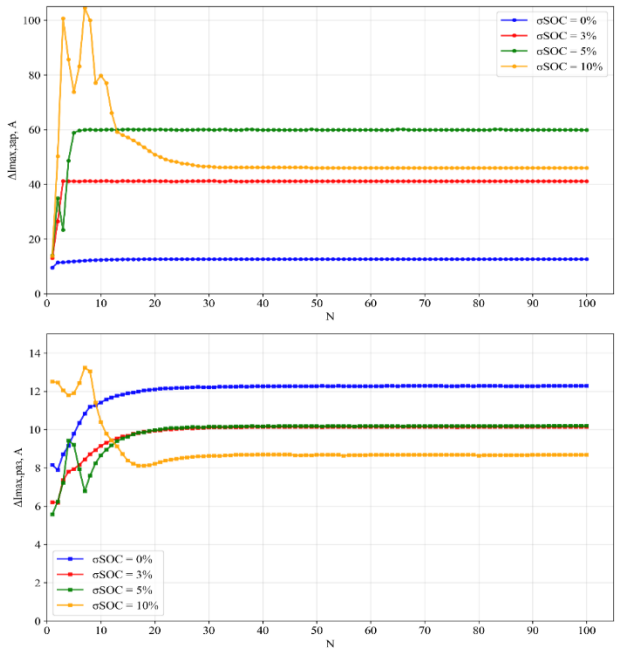

Рис. 5. Зависимость $\Delta Imax,chr$ и $\Delta Imax,dchr$ от количества циклов N. Ток 0.5C. $\Delta U_б$= 0.15 В. 1, 2, 3, 4 - σ_{SOC}= 0, 3, 5 и 10 %

Характерным поведением вновь собранной параллельной пары модулей является разбежка токовой емкости модулей на первых 5 – 10 циклах с последующей стабилизацией емкости каждого модуля и пары в целом.

Список использованных источников

1. Лемешевский В.М. Развитие аккумуляторной отрасли и стратегическое позиционирование холдинга 1ak-group. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2025. № 3(72), С.92- 96

2. Добрего К.В., Козначеев И.А., Червинский В.Л. Моделирование пассивного сопряжения блоков гибридной системы накопления электроэнергии. *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений* СНГ. 2024; т.67б №3, С. 209-227

3. Doyle, M.; Newman, J. The use of mathematical modeling in the design of lithium/polymer battery systems. *Electrochim. Acta* 1995, *40*, 2191–2196.

4. Добрего К.В., Лемешевский В.М., Червинский В.Л., Каледник А.С. Оценка рабочей емкости сборок литий-ионных аккумуляторов методом Монте-Карло. Сб. докладов Межд. науч. конф. «Современные электрохимические технологии и оборудование» МЕТЕ 2025 19-23 мая 2025, сс.61-64.

УДК 502.174.3

Червинский В.Л.
Костюкевич Е.К.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Повышение эффективности электроснабжения студгородка БНТУ путем применения фотовольтаической системы *(Червинский В.Л., Костюкевич Е.К.)*

Аннотация. В статье рассматривается возможность повышения энергоэффективности электроснабжения студенческого городка БНТУ при помощи фотовольтаической системы, располагаемой на крышах зданий студгородка. Приведен анализ годовой хронологии электропотребления студгородком, а также электроэнергии вырабатываемой фотовольтаической системой. Приводится краткий технико-экономический расчет такой системы.

Ключевые слова: фотовольтаическая система, студгородок, свободные кровельные площади, энергоэффективность электроснабжения.

Переход на возобновляемые источники энергии – одно из главных направлений устойчивого развития, поддерживаемых только на глобальном уровне, но и в рамках национальных программ энергоэффективности [1]. В этой связи всё большую актуальность приобретает внедрение фотовольтаических систем в городскую инфраструктуру. Студгородок Белорусского национального технического университета — идеальный объект для реализации подобного проекта. Компактное расположение зданий, высокая плотность энергопотребления, наличие значительных свободных кровельных площадей, а также наличие инженерных и учебных подразделений, способных сопровождать и обслуживать такие установки, создают уникальные предпосылки для построения фотовольтаического комплекса.

Оснащение студгородка собственной фотовольтаической электростанцией направлено на:

- повышение энергоэффективности электроснабжения;
- снижение выбросов CO2;
- популяризацию идеи "зелёной" энергетики.

Структура студгородка представляет собой группу зданий различного назначения — от общежитий и столовых до учебных и лабораторных корпусов. Все они подключены к централизованному источнику энергоснабжения для целей освещения, вентиляции и водоснабжения, что обеспечивает высокий и стабильный уровень суточного потребления электричества. Электроэнергия используется для освещения аудиторий, лабораторный и административных и вспомогательных помещений, работы бытовых и учебных приборов, систем

вентиляции и жизнеобеспечения. Согласно проведённым замерам, суммарная площадь всех крыш составляет 66 367 квадратных метров, что само по себе является значительной величиной.

Однако далеко не вся эта площадь может быть задействована под солнечные панели. При проектировании фотовольтаических систем необходимо учитывать множество факторов: ориентацию крыш по сторонам света, уклон, потенциальное затенение от технических элементов или других зданий, а также нормативные требования по обслуживанию и безопасности. В связи с этим рационально использовать не более 50% от общей площади крыш. Таким образом, для размещения солнечных модулей реально доступно 33 184 м², что дает мощный энергетический потенциал для электроснабжения.

Выбор мощности фотовольтаического комплекса требует также детального понимания характера электропотребления объекта в течение года. Для эффективной интеграции солнечных энергетических установок необходимо учитывать не только общее годовое потребление, но и его распределение по месяцам, пиковые нагрузки, а также особенности суточного и сезонного режимов использования электроэнергии.

Таблица 1 – Потребление электроэнергии студгородком БНТУ

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Годовой
Потребл. тыс.кВтч	823	756	775	766	644	606	512	359	647	759	808	809	8264

Исходя из ежемесячных замеров электропотребления студгородком (см.табл. 1), годовое электропотребление составляет 8264 тыс. кВт·ч. При этом ежемесячное электробурение существенно варьируется в зависимости от времени года, учебного графика и погодных условий (рис.1).

На основании таблицы и графического анализа можно выделить следующие ключевые особенности:

— пики потребления приходятся на зимние месяцы (декабрь–февраль), что связано с увеличенной продолжительностью тёмного времени суток, необходимостью интенсивного освещения, а также повышенной нагрузкой на системы отопления, вентиляции и бытовые электроприборы;

— минимальные значения потребления фиксируются в летние месяцы (июль–август), когда часть общежитий закрыта или работает в ограниченном режиме, студенты находятся в отпуске, а учебный процесс приостанавливается.

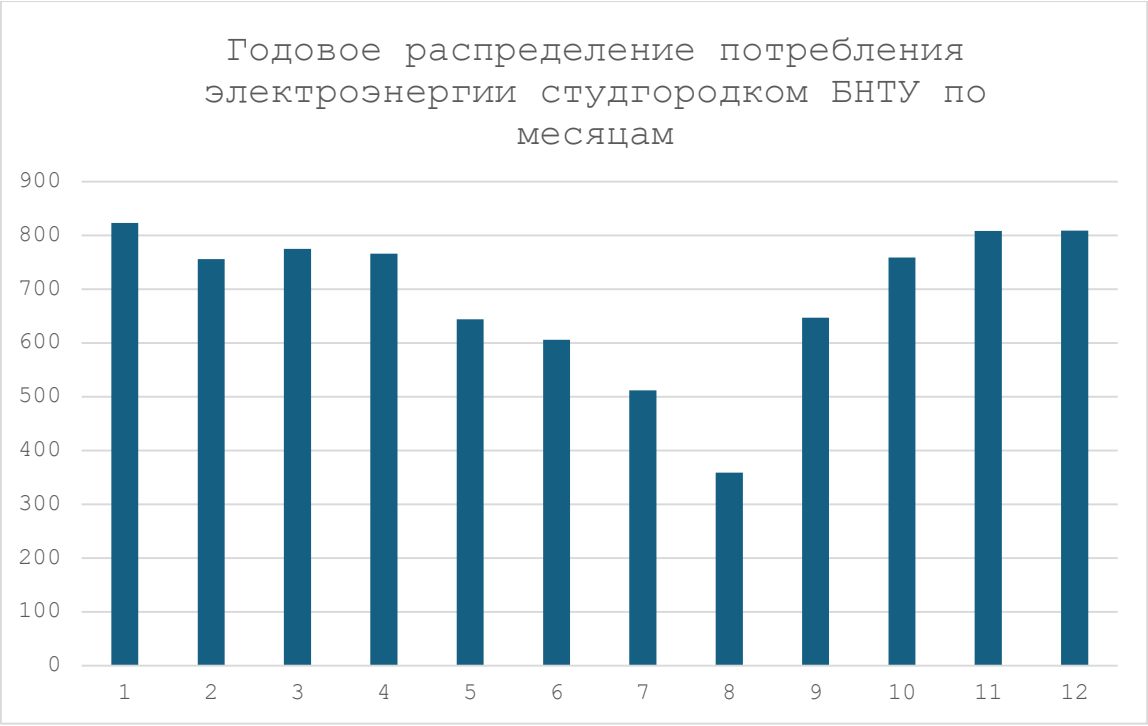

Рисунок 1 – Гистограмма годового распределения потребления электроэнергии студгородком БНТУ по месяцам по данным 2024 года

В переходные периоды (март–апрель, сентябрь–октябрь) наблюдается умеренный уровень нагрузки, обусловленный возвращением студентов в кампус, активизацией учебной деятельности, а также началом или завершением отопительного сезона.

Распределение потребления по сезонам:

— Зима (декабрь–февраль): 30–35 % годового потребления;

— Весна (март–май): 20–25 %;

— Лето (июнь–август): 15–20 %;

— Осень (сентябрь–ноябрь): 25–30 %.

Данные указывают на чётко выраженную сезонность, что необходимо учитывать при проектировании солнечной электростанции.

Можно выделить три условных режима работы студгородка:

- учебный период (сентябрь – июнь): активное использование аудиторий, лабораторий, бытовых приборов в общежитиях. Нагрузка стабильная, с пиками в утренние и вечерние часы.

- летний период (июль – август): частичное закрытие общежитий, снижение учебной активности, уменьшение нагрузки.

- переходные месяцы (март, октябрь): увеличение или снижение нагрузки в зависимости от погодных условий и расписания учебного процесса.

Данные профиля нагрузки подтверждают необходимость ориентировки системы не на полное покрытие пиков, а на частичное покрытие базовой нагрузки, особенно в период весенне-летней активности.

Существует базовое месячное электропотребление равное примерно 360 тыс.кВтч, которое практически полностью соответствует неосветительной нагрузке, такой как вентиляция, кондиционирование, работа офисного оборудования и т.д.

Для размещения солнечных панелей предпочтительно использовать южные склоны крыш зданий студгородка БНТУ:

— Общая площадь крыш S = 66 367 м²;
— Полезная площадь для установки панелей (50%) Sп = 33 184 м²;
— Среднее значение годовой выработки электроэнергии с 1 м² фотовольтаических панелей на широте Минска: с= 130 кВтч.

Расчёт выработки электроэнергии (E) проведём по формуле:

$$E = S \times c \approx 4314 \text{тыс.кВтч.}$$

Данный показатель является интегральной оценкой, но при анализе структуры генерации наблюдаются существенные сезонные колебания, обусловленные астрономическими и климатическими факторами [2].
Учитывая месячную солнечную инсоляцию и зная годовое значение выработки электроэнергии E=4314 тыс.кВтч можно определить ежемесячную выработку фотовольтаической системой (табл.2).

Таблица 2 Выработка электроэнергии фотовольтаической системой по месяцам:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Годовой
Выработка тыс.кВтч	113	171	314	432	621	643	633	581	407	245	88	66	4314

Совмещенная гистограмма выработки фотовольтаической системой и потребления электроэнергии студгородком БНТУ будет выглядеть следующим образом (рис.2).

Учитывая тот факт, что на широте г. Минска фотовольтаическая система мощностью 1 кВт за год генерирует около 1000 кВтч электроэнергии, можно рассчитать мощность такой системы. Она составит:

P ≈ 4314000/1000=4314 кВт.

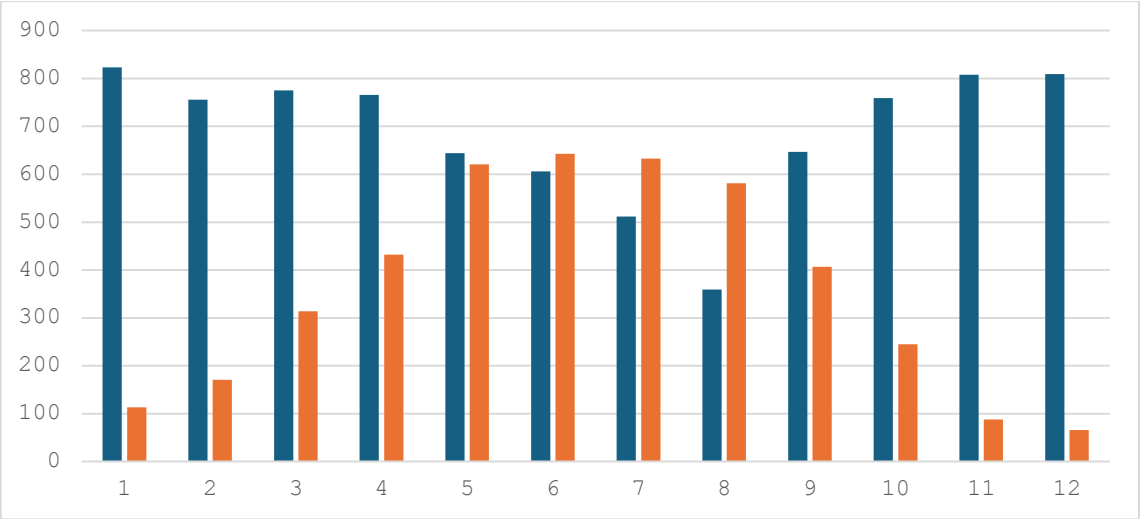

Рис.2 Совмещенная гистограмма выработки фотовольтаической системой (оранжевый цвет) и потребления (синий цвет) электроэнергии студгородком БНТУ

Сейчас по данным на 2024 год средняя рыночная стоимость 1 кВт фотовольтаических панелей в Республике Беларусь составляет ориентировочно 1500 рублей. С учетом монтажа и наладки системы составляет 1700 рублей. Таким образом, суммарная стоимость всей фотовольтаической системы для студгородка составит:

С= 4314х1700=7333800 рублей.

Зная тариф на электроэнергию, отпускаемую для высших учебных заведений, равный примерно 0,3 рубля за 1 кВтч, можно рассчитать годовую экономию из-за замещения электроэнергии, вырабатываемой фотовольтаической системой.

Э= 4314000*0,3 = 1294200 руб.

Теперь можно рассчитать простой срок окупаемости:

Ток= С/Э= 7333800/1294200= 5,7 года.

Это вполне приемлемый срок окупаемости для такого инновационного проекта.

Список использованных источников

1. Гринфилд, Э. Плюсы и минусы различных типов возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sigmaearth.com/ru/the-pros-cons-of-different-types-of-renewable-energy-sources/#google_vignette. – Дата доступа: 25.08.2025.
2. Кирпичникова И.М. Построение энергетических характеристик солнечных модулей с учетом условий окружающей среды/И.М.Кирпичникова, И.Б.Махсумов//Вестник ПНИПУ.-2020.-№32.-С.56-74.

УДК 620.9

Зорина Т.Г.
доктор экономических наук, профессор
Институт энергетики НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

Декарбонизация энергетики в контексте устойчивого энергетического развития *(Зорина Т.Г.)*

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме поиска баланса между растущими энергетическими потребностями и необходимостью сохранения стабильности биосферы. Декарбонизация энергетики рассматривается как императив и неотъемлемый элемент парадигмы устойчивого развития. В основе исследования лежит авторская методика расчета интегрального индекса устойчивого энергетического развития. На примере Республики Беларусь проанализирована динамика группового индекса, характеризующего экологические факторы устойчивого энергетического развития, за период 2010-2024 гг. Установлено, что уровень устойчивости по экологическим факторам в Беларуси находится на среднем уровне. Сделан вывод о том, что энергетическая политика страны трансформируется в сторону «зеленого энергопотребления», а ее успех зависит от диверсификации источников энергии, внедрения новых технологий и электрификации ключевых секторов экономики.

Ключевые слова: энергетика, климатическая повестка, устойчивое развитие, углеродоемкость. экологические факторы устойчивого энергетического развития.

Введение

Актуальной проблемой современности, определяющей вектор глобального экономического и социального развития, является поиск баланса между растущими энергетическими потребностями человечества и необходимостью сохранения стабильности биосферы. Энергетический сектор, оставаясь ключевым драйвером мировой экономики, одновременно выступает и основным источником антропогенных выбросов парниковых газов, что ставит под угрозу достижение целей устойчивого развития. В этом контексте процесс декарбонизации энергетики — то есть фундаментальная трансформация топливно-энергетического баланса в сторону низко- и безуглеродных источников энергии — приобретает характер императива. Данная статья посвящена комплексному анализу декарбонизации как неотъемлемого элемента парадигмы устойчивого энергетического развития.

Устойчивое энергетическое развитие – это процесс развития способной к саморегулированию системы с целью достижения региональной энергобезопасности при рациональном использовании энергоресурсов, обеспечении социального равенства в области доступа к энергоуслугам и сохранении окружающей среды в условиях неопределенности. Устойчивое энергетическое развитие характеризует не только функционирование сектора

энергетики какой-либо территориальной единицы, а в целом определяет направления развития экономики данной территории и её социальной сферы [1].

Материалы и методы исследования

С учетом достоинств и недостатков существующих подходов к оценке устойчивого энергетического развития, автором был разработана методика оценки индекса, позволяющих анализировать состояние устойчивого энергетического [2, 3]. Индексный метод позволяет осуществлять статическую и динамическую оценку состояния объектов, их сопоставление, как в целом, так и по отдельным факторам и подсистемам показателей.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время основными драйверами трансформации энергетики Республики Беларусь являются:

1. Переход к V технологическому укладу.
2. Климатическая повестка.
3. Цифровизация экономики.
4. Урбанизация.

Таким образом, можно сделать вывод, что климатическая повестка как один из драйверов трансформации энергетики становится основой для декарбонизации энергетического сектора.

Знаковым событием в продвижении климатической повестки на международной арене стала Конференция ООН по изменению климата 2015 г. в Париже, по итогам которой 196 стран приняли Парижское соглашение, вступившее в силу в 2016 г. Данный документ был создан для замены Киотского протокола.

Как сторона Парижского соглашения Беларусь также вносит свой вклад в сокращение выбросов парниковых газов наряду с другими государствами, включая крупнейших лидеров по выбросам парниковых газов.

В сентябре 2021 года правительством Республики Беларусь было утверждено обязательство, согласно ему к 2030 году планируется сократить выбросы парниковых газов на 35% от уровня 1990 года при прогнозируемом экономическом росте с учетом сектора землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства, а также без привлечения дополнительного финансирования. Эта цель достигается путем принятия мер в рамках государственных и отраслевых программ на 2021 – 2025 годы. Среди них – повышение энергоэффективности в промышленном, строительном, жилищно-коммунальном секторах, развитие электротранспорта и городской мобильности.

Согласно статистике Центра климатических и энергетических решений, 31% выбросов парниковых газов являются следствием производства электричества и тепла, а также других отраслей, непосредственно связанных с выработкой энергии. В связи с этим одним из важнейших шагов на пути решения климатической проблемы является переход энергетики на углеродно-нейтральную и отказ от традиционных источников энергии [4].

В 2024 году электрическая мощность объектов возобновляемой энергетики составляет порядка 527,8 МВт. Перспективными проектами в сфере энергетики являются: ветроэлектроэнергетика, представленная 108 установками мощностью 122 МВт. В Республике Беларусь функционирует 84 фотоэлектростанций (272,7 МВт), 55 гидроэлектростанций мощностью 96,5 МВт, 11 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью порядка 100,5 МВт [5, 6].

Анализ статистических данных о выбросах загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух от стационарных источников, включая энергоисточники топливно-энергетического комплекса, и потреблении электроэнергии в Республике Беларусь за 2000-2023 гг. свидетельствует о том, что между данными показателями существует значительная отрицательная связь: коэффициент корреляции составляет -0,63 для выбросов загрязняющих веществ (рис. 1) и -0,55 для парниковых газов (рис. 2).

Анализ влияния климатической повестки на трансформацию энергетики можно осуществить, изучив динамику изменения группового индекса, характеризующего экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь.

На основе представленной в данной статье методики автором был проведен анализ экологических факторов устойчивого энергетического развития Республики Беларусь в период 2010-2024 гг.

В качестве источников информации были использованы данные Национального статистического комитета Республики Беларусь, а также информация о состоянии Индекса человеческого развития.

База данных для расчета группового индекса, характеризующего экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь представлена в таблице 4.

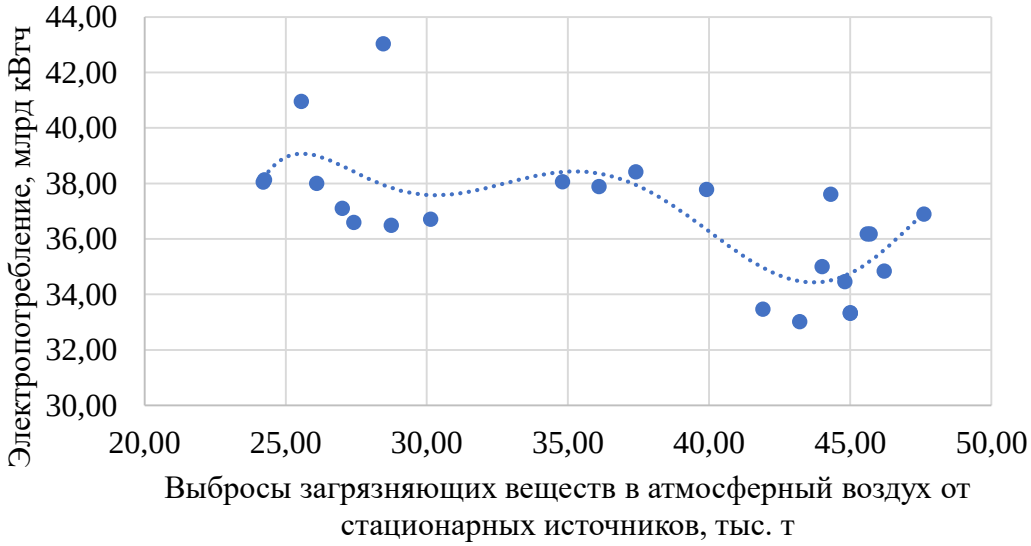

Рисунок 1. Взаимосвязь между показателями «выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников» и «электропотребление» в Республике Беларусь в 2000-2023 гг.

Таблица 4 База данных для расчета группового индекса, характеризующего экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь

Показатель	Вес	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Уровень озеленения страны	0,404	0,388	0,390	0,391	0,393	0,395	0,397	0,398	0,398	0,398	0,399	0,401	0,401	0,401	0,402	0,403
Уровень здоровья	0,138	0,763	0,765	0,767	0,768	0,818	0,829	0,832	0,837	0,838	0,838	0,725	0,724	0,731	0,744	0,747
Коэффициент сокращения потребления энергоресурсов	0,156	0,000	0,000	0,000	0,011	0,083	0,082	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,098	0,000	0,000
Единица минус Уровень выбросов CO2 от потребления энергии на душу населения	0,302	0,9936	0,9937	0,9936	0,9934	0,9936	0,9940	0,9941	0,9939	0,9936	0,9936	0,9939	0,9937	0,9940	0,9941	0,9941
Групповой индекс, характеризующий экологические факторы		***0,562***	***0,564***	***0,564***	***0,567***	***0,586***	***0,588***	***0,578***	***0,577***	***0,577***	***0,577***	***0,562***	***0,562***	***0,579***	***0,566***	***0,566***

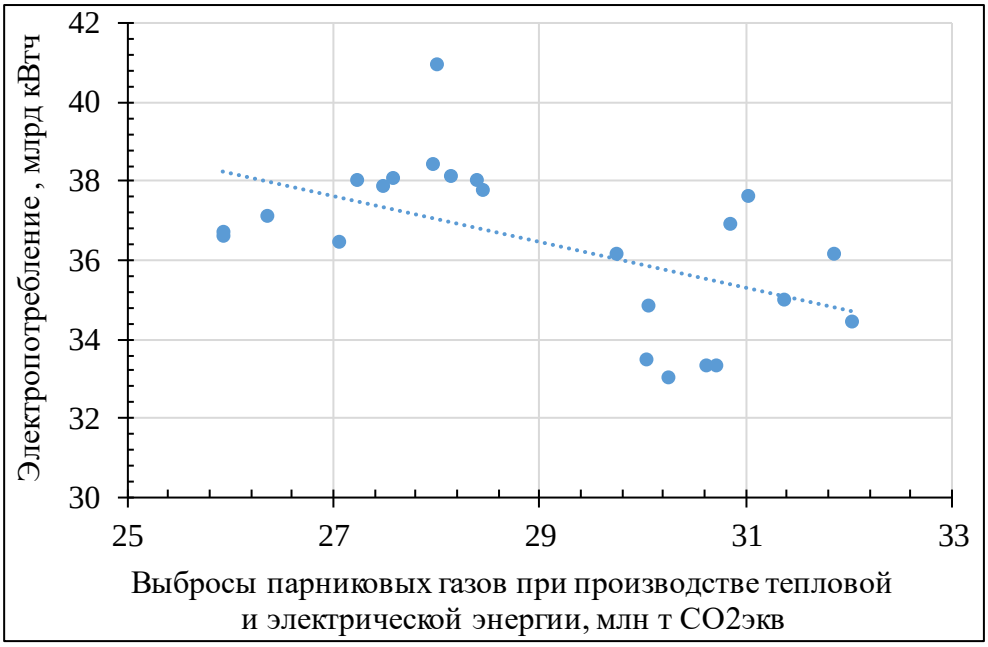

Рисунок 2. Взаимосвязь между показателями «выбросы парниковых газов от энергоисточников топливно-энергетического комплекса» и «электропотребление» в Республике Беларусь в 2000-2023 гг.

На рисунке 3 представлен групповой индекс, характеризующий экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь за 2010-2024 гг.

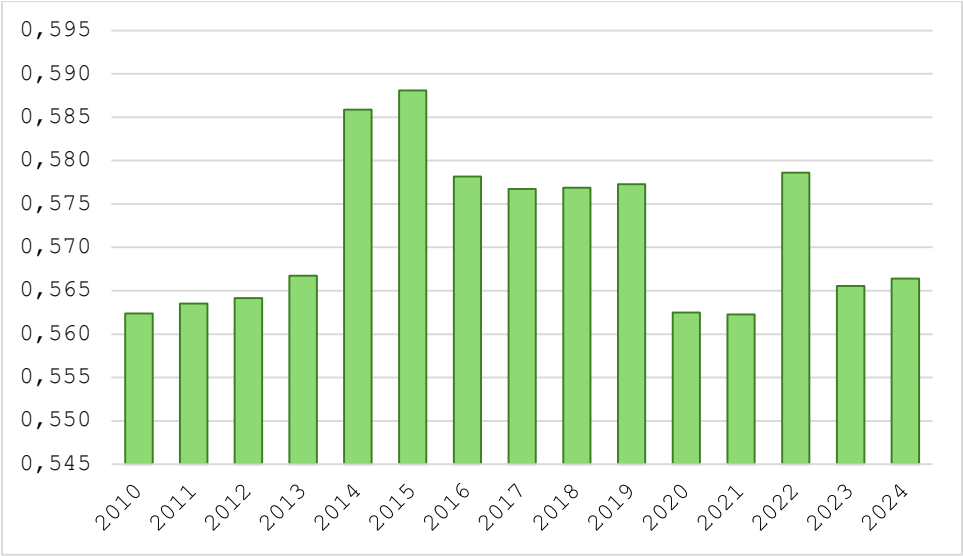

Рисунок 3. Групповой индекс, характеризующий экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь за 2010-2024 гг.

Как видно из рисунка 3, наиболее высокого значения групповой индекс, характеризующий экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь, достиг в 2014 г. (0,586) и 2015 г. (0,588). В 2016 г. произошло

его незначительное снижение. Наиболее низкие значения данного показателя были характерны для 2010, 2020, 2021 гг. В целом, в 2024 г. уровень устойчивого энергетического развития страны увеличился в 1,007 раза по сравнению с 2010 г.

Для более детального анализа рассмотрим динамику отдельных показателей, характеризующих экологические факторы устойчивое энергетическое развитие Республики Беларусь.

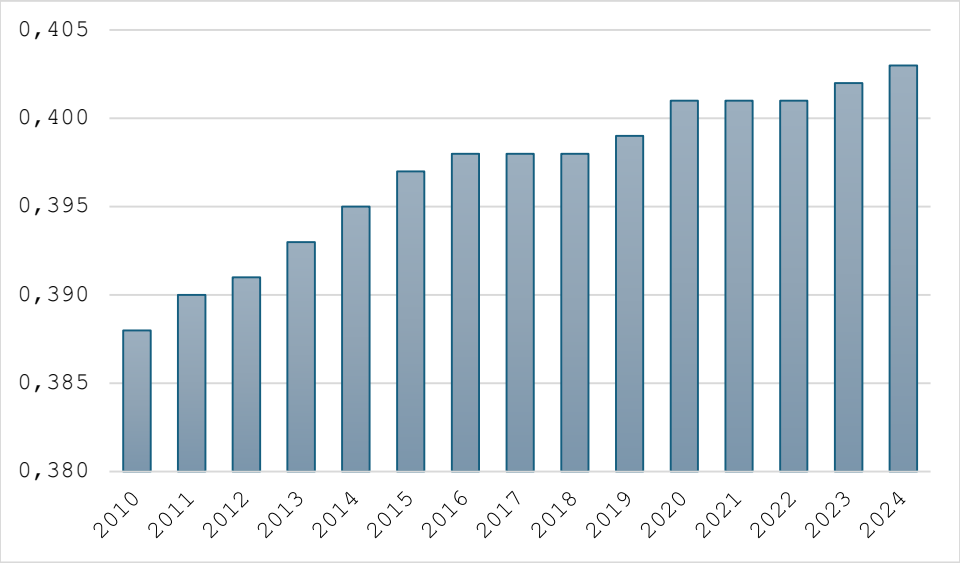

Рисунок 4. Динамика показателя, характеризующего уровень озеленения Республики Беларусь в 2010-2024 гг.

Как видно из рисунка 4, уровень озеленения в Республике Беларусь имеет тенденцию к росту и колебался в период 2010-2024 гг. от 0,388 до 0,403, что свидетельствует об увеличении данного показателя на 3,9 %.

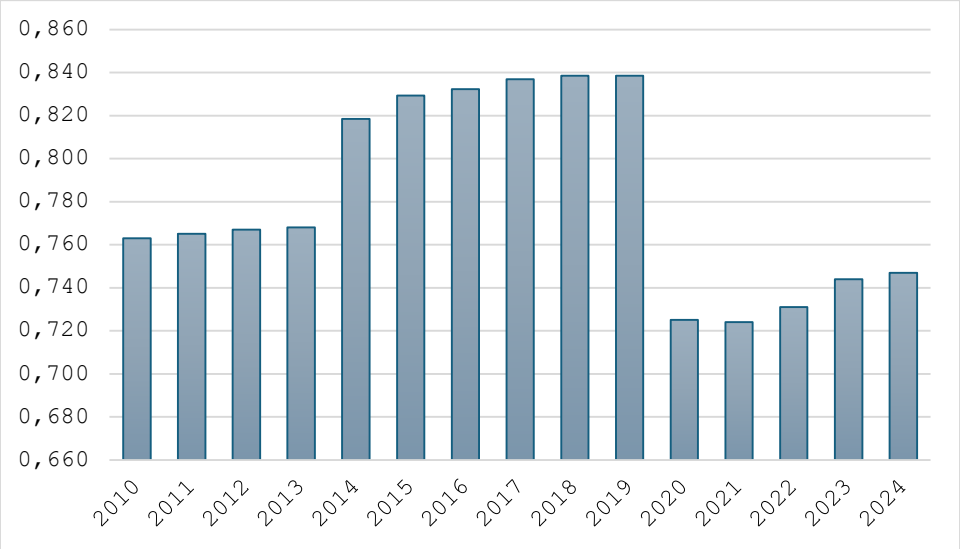

Рисунок 5. Динамика показателя, характеризующего уровень здоровья населения Республики Беларусь в 2010-2024 гг.

Как видно из рисунка 5, уровень здоровья в Республике Беларусь не имеет устойчивой тенденции в период 2010-2024 гг. В период 2010-2019 гг. он демонстрировал устойчивый рост и достиг максимального значения в 2019 г. (0,838). Затем в период пандемии произошло резкое падение данного показателя до уровня 0,724 в 2021 г., затем уровень здоровья стал постепенно расти и составил в 2023 г. 0,747.

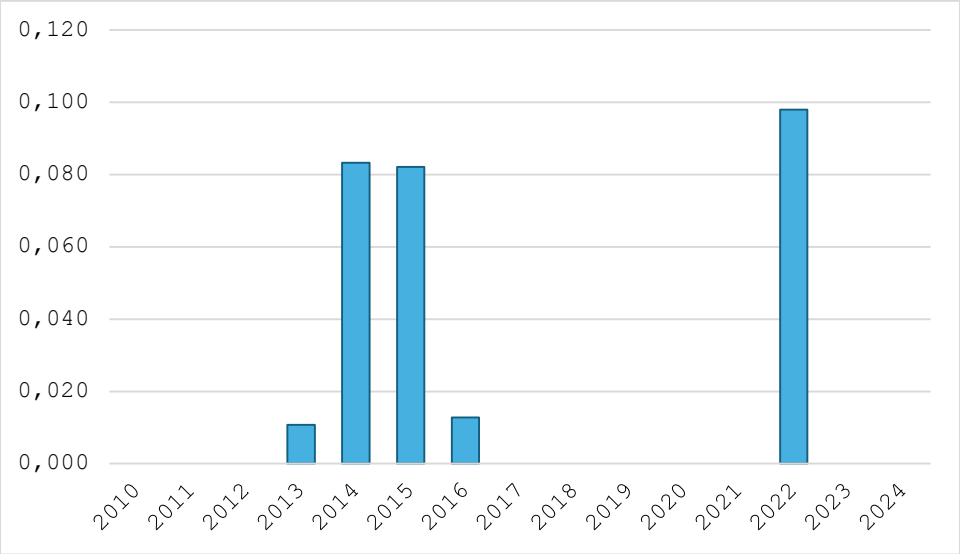

Рисунок 6. Динамика показателя, характеризующего сокращение потребления энергоресурсов в Республике Беларусь в 2010-2023 гг.

Как видно из рисунка 6, сокращение потребления энергоресурсов в Республике Беларусь характеризуется положительной динамикой в 2013-2016 гг. и в 2022 г. Максимального значения данный показатель достиг в 2022 г. и составил 0,098.

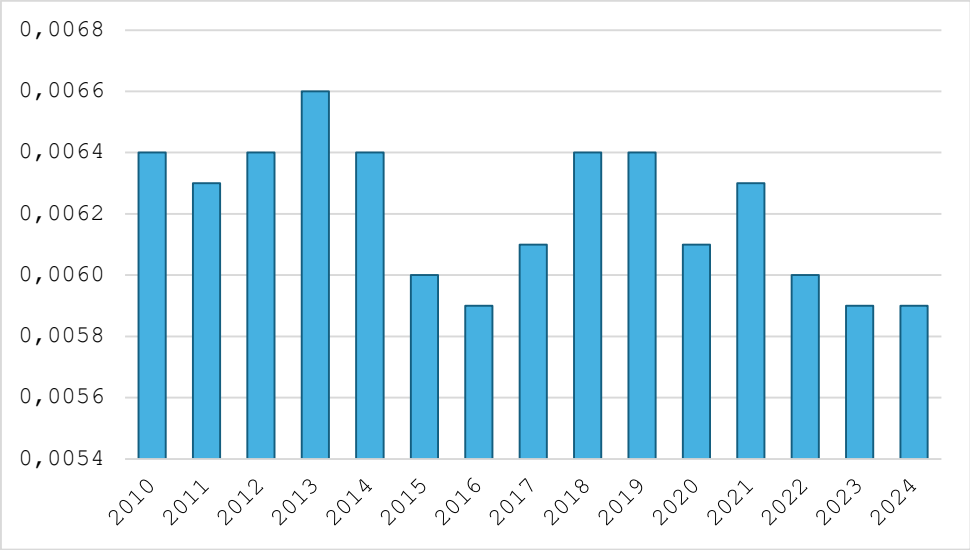

Рисунок 7. Динамика показателя, характеризующего уровень выбросов CO_2 от потребления энергии на душу населения в Республике Беларусь в 2010-2024 гг.

Как видно из рисунка 7, уровень выбросов CO_2 от потребления энергии на душу населения в Республике Беларусь в 2010-2024 гг. не имеет устойчивой тенденции. Максимального значения данный показатель достиг в 2013 г. (0,0066), а минимального – в 2016, 2023, 2024 гг. (0,0059). В целом за исследуемый период уровень выбросов CO_2 от потребления энергии на душу населения в Республике Беларусь сократился на 7,8 %.

В целом групповой индекс, характеризующий экологические факторы устойчивого энергетического развития Республики Беларусь за 2010-2024 гг., характеризуется средним уровнем.

Заключение

Республика Беларусь осуществляет стратегический переход к новой энергетической парадигме «зеленое энергопотребление», ключевой целью которой является обеспечение энергетического суверенитета и экологической устойчивости. Этот комплексный подход предполагает планомерный отказ от импортных углеводородов (нефти и природного газа) и их замещение диверсифицированным портфелем низкоуглеродных источников энергии.

Формирование новой архитектуры энергорынка уже демонстрирует положительную динамику. Запуск Белорусской АЭС, выступающей в роли нового базового источника генерации, в тандеме с растущим вкладом возобновляемой энергетики (солнечной, ветровой, биогазовой) и внедрением интеллектуальных систем накопления энергии, позволил существенно сократить дефицит мощностей и снизить критическую зависимость от внешних поставок.

Основными направлениями увеличения зеленого энергопотребления в Республике Беларусь являются:

1. Электрификация транспорта.
2. Электрификация реального сектора.
3. Создание дата-центров и майнинг криптовалюты.
4. Электрификация зданий.
5. Распределенная генерация.

Таким образом, энергетическая политика Беларуси трансформируется из задачи обеспечения текущих потребностей в стратегию опережающего развития. Успех данной трансформации будет определяться способностью страны интегрировать новые технологии (Smart Grid, накопление энергии, распределенная генерация), стимулировать инвестиции и продолжать курс на замену ископаемого топлива электроэнергией во всех секторах экономики. Это не только укрепит национальную безопасность, но и выведет Беларусь на траекторию устойчивого, технологически развитого и экологически ответственного будущего.

Список использованных источников

1. Зорина, Т.Г. Устойчивое энергетическое развитие: сущность, предпосылки, критерии, принципы и методика оценки / Т.Г. Зорина // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 2. – С. 95-102.

2. Зорина, Т.Г. Устойчивое энергетическое развитие Республики Беларусь: анализ динамики развития в 1995-2018 гг. / Т.Г. Зорина // Устойчивое развитие энергетики Республики Беларусь: состояние и перспективы: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 1-2 октября 2020 г.) / под ред. Т. Г. Зориной. – Минск : Беларус. навука, 2020. – С. 18-33.

3. Зорина, Т. Г. Сравнительный анализ устойчивого энергетического развития России, Беларуси, Украины, Латвии, Польши / Т. Г. Зорина // Современная экономика: проблемы и решения. – 2016. – № 3(75). – С. 65-77.

4. Официальный сайт European Environment Agency. Energy and climate change – [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change/ – Дата доступа 20.08.2025.

5. Официальный сайт ГПО «Белэнерго» – [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyaemaya-energetika/ – Дата доступа 20.08.2025.

6. Официальный сайт Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь – [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/news/news-2024/20240129_news3 – Дата доступа 20.08.2025.

УДК 504.75

Гребеньков А.Ж.
кандидат технических наук
Институт энергетики НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

Особенности разработки определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в Парижское соглашение *(Гребеньков А.Ж.)*

Аннотация. Представлена и анализируется информация, включающая прошлые, текущие и прогнозируемые до 2050 года объемы выбросов и стоков парниковых газов в экономике Республики Беларусь. Анализируются недостатки предыдущих версий такого показателя, как определяемый на национальном уровне вклад в достижение коллективной цели с оценкой принятых количественных обязательств сокращения выбросов, которая сравнивается с результатами их реализации.

Ключевые слова: энергетика, выбросы парниковых газов, устойчивое развитие, углеродоемкость.

Введение

Республика Беларусь, являясь Стороной РКИК ООН и Парижского соглашения, периодически предоставляет Сторонам необходимую отчетность, включая Двухгодичный доклад по вопросам транспарентности согласно статье 13 Парижского соглашения [1]. Кроме того, разделяя общую ответственность за сохранение климата, Республика Беларусь принимает и периодически обновляет в сторону усиления свои количественные обязательства и планы действий по сокращению выбросов парниковых газов и адаптации к изменениям климата. В соответствующем документе, который согласно пункту 9 статьи 4 Парижского соглашения представляет собой Определяемый на национальном уровне вклад в достижение коллективной цели (далее – ОНУВ), Республика Беларусь устанавливает справедливые и амбициозные климатические цели, дает оценку скоординированным мерам и ресурсам по их достижению, учитывающую потенциал и особенности развития национальной экономики и каждой отрасли, интересы молодежи и гендерные аспекты.

В предполагаемом (первом) национально-определяемом вкладе ОНУВ-1.0 [2] Республика Беларусь взяла обязательство сократить к 2030 году выбросы парниковых газов не менее чем на 28% от уровня выбросов 1990 года без учета сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (далее – ЗИЗЛХ) и каких-либо дополнительных условий.

В обновленном ОНУВ-2.0 [3] Республика Беларусь выразила намерение внести более амбициозный вклад в глобальные усилия по смягчению глобальных климатических изменений и определила общеэкономическую безусловную цель –

снизить к 2030 году выбросы парниковых газов не менее чем на 35% от уровня выбросов 1990 года с учетом сектора ЗИЗЛХ, а также условную цель – снизить выбросы парниковых газов не менее чем на 40% в случае предоставления международной финансовой помощи.

В соответствии с решениями, принятыми на Конференции Сторон в Париже, Республика Беларусь обязана каждые пять лет подготавливать и сообщать Сторонам обновленный ОНУВ. С целью разработки проекта ОНУВ-3.0 национальными и международными экспертами в рамках общесистемной инициативы ООН [4] был выполнен анализ результатов реализации политики и мер, направленных на снижение антропогенного воздействия на климатические процессы и адаптацию экономики и окружающей среды к надвигающемуся глобальному потеплению, другим критическим явлениям, связанным с меняющимся климатом. С учетом данных этого анализа были проведены оценки ожидаемых выбросов парниковых газов на прогнозном горизонте 2025-2050 годы. Результаты работы могут лечь в основу предложений для органов государственного управления и реального сектора Республики Беларусь о пересмотре национальных целей сокращения выбросов парниковых газов в сторону повышения амбиций, в частности при подготовке целевых показателей в ОНУВ-3.0, будущих обязательств.

Мировые тенденции низкоуглеродного развития

Причиной заметного изменения приоритетов развития большинства стран мира стало усиление антропогенных изменений климата и растущая необходимость адаптации к последующим нарушениям природной среды обитания. В этих условиях следование принципам устойчивого развития с одновременным сокращением выбросов парниковых газов, ответный быстрый рост числа технологических инноваций, включая искусственный интеллект, переход к принципам циркулярной экономики, меняющим структуру спроса на энергию и другие важные ресурсы, формирование на этих принципах актуального и будущего законодательства становится магистральным направлением глобальной экономической трансформации.

Основные решения и мероприятия, которые формируют переход к низкоуглеродному развитию, включают в себя, по крайней мере, следующее:

достижение нулевого баланса (углеродная или климатическая нейтральность) между выбросами и стоками парниковых газов, вырабатываемых в результате деятельности человека, к 2050-2060 годам, что стало целью для многих ведущих экономик мира;

постепенный (но справедливый и равноправный) отказ от ископаемого углеводородного топлива, широкое развитие и внедрение ВИЭ, других низкоуглеродных источников энергии совместно с накопителями энергии, интеллектуальными цифровыми системами их совместного использования с другими централизованными и децентрализованными энергоисточниками по наиболее рациональному и оптимальному графику;

рост инвестиций в энергоэффективные инженерные решения, энергосберегающие технологии, циркулярную экономику, улавливание, использование и хранение углерода, развитие электротранспорта с инфраструктурой зарядных станций;

углеродное ценообразование в рамках статьи 6 Парижского соглашения, которое обеспечивает ускоренный рост конкурентоспособности низкоуглеродной продукции и повышает мотивацию государств и бизнес-сообщества в сокращении выбросов и усилении стоков парниковых газов;

рост социально осознанного потребления, включая повышение спроса со стороны потребителей на низкоуглеродные товары, продукты и услуги, разработка и широкое освоение стандартов, развитие информационных средств для оценки и обеспечения прозрачности углеродного следа продукции.

Масштаб и динамику перехода к низкоуглеродному развитию иллюстрируют данные Национального статистического комитета Республики Беларусь, Международного валютного фонда и Всемирного банка (таблица 1), из которых становится очевидной общемировая тенденция к сокращению углеродоемкости экономики.

Таблица 1 – Углеродоемкость экономики мира и некоторых стран (кг CO_2экв на международный доллар 2021 года)

Объект	Годы							
	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Страны всего мира	0,316	0,307	0,294	0,265	0,240	0,238	0,230	0,226
Республика Беларусь	0,504	0,375	0,290	0,245	0,232	0,228	0,232	0,212
Российская Федерация	0,570	0,438	0,370	0,341	0,340	0,344	0,361	0,355
Китайская Народная Республика	0,714	0,763	0,652	0,526	0,443	0,429	0,413	0,414
Соединенные Штаты Америки	0,382	0,334	0,299	0,248	0,200	0,201	0,197	0,187
Европейский союз	0,207	0,195	0,171	0,146	0,121	0,122	0,115	0,104

Динамика движения к климатической нейтральности мировой экономики отражается в значительных изменениях в структуре энергетики – отрасли с наибольшими коэффициентами выбросов парниковых газов. Здесь почти в два раза выросли инвестиции в низкоуглеродную энергетику, достигнув 2 триллиона долларов США (две трети суммарных инвестиций в энергетику).

Анализ также показывает, что существенный объем инвестиций в развитие первичных энергетических ресурсов с минимальной углеродоемкостью демонстрируют страны и регионы, которые имеют достаточно развитый экономический потенциал, но страдают от нехватки собственного ископаемого топлива, например, страны Европейского союза. Наоборот, страны Евразийского экономического союза, находясь на стадии ускорения экономического развития и

пользуясь своими доступными ресурсами ископаемого топлива, оказывают наименьшую инвестиционную поддержку в развитие низкоуглеродной энергетики. К подобным странам, которые в большей степени инвестируют в традиционные углеродные энергоносители, относятся также страны Среднего Востока.

Многие страны с развивающейся экономикой, находясь на этапе индустриализации, продолжают пользоваться ископаемыми видами первичных ТЭР, однако уже начали переориентировать свои инвестиционные ресурсы в пользу низкоуглеродных источников. В список лучших исполнителей политики энергетического перехода этой группы стран входит Китай, суммарный объем инвестиций которого в энергетику к настоящему времени превысил 210 миллиардов долларов, а также страны Южной Америки (Бразилия и Чили).

Тенденции выбросов парниковых газов в Республике Беларусь

Анализ результатов инвентаризации парниковых газов в Республике Беларусь [5] позволяет сформулировать следующие выводы в отношении углеродного следа пяти основных секторов экономики:

− нетто-выбросы по сравнению с 1990 годом сократились на 62,9%, при этом наибольшие сокращения произошли в секторе «Энергетика» – на 49,0%, в секторе «Сельское хозяйство» выбросы сократились на 30,5%, практически не сократились в секторе «ППиИП» и выросли на 40,2% в секторе «Отходы», а объемы поглощений парниковых газов в секторе «ЗИЗЛХ» возросли на 85,3%;

− сектор «Энергетика» является основным источником выбросов парниковых газов с их долей в общем объеме, равной 61,8%, но который, тем не менее, характеризуется устойчивым сокращением выбросов со средними темпами 0,7% в год;

− сектор «ППиИП» является источником с долей в общем объеме выбросов 6,4%, в условиях функционирования которого наблюдалось два периода – рост выбросов парниковых газов до 2014 года со средними темпами 3,4% в год, стабилизация и прекращение роста с последующим сокращением выбросов со среднегодовыми темпами 0,9%;

− сектор «Сельское хозяйство» является вторым источником по количеству выбросов с их долей в общем объеме, равной 23,9% со средними темпами сокращения 0,1% в год;

− сектор «Отходы» является третьим по количеству выбросов источником с их долей в общем объеме выбросов, равной 7,9% с постоянным ее наращиванием, который характеризуется среднегодовыми темпами роста выбросов 1,6%;

− сектор «ЗИЗЛХ» является нетто-стоком парниковых газов, который увеличивает их поглощение со средними темпами 2,2% в год.

Анализ данных кадастра [5], а также Национального статистического комитета за рассматриваемый период указывают на продолжающееся сокращение углеродоемкости национальной экономики, однако среднегодовые темпы этих

изменений за последние 25 лет значительно сократились – с минус 8 процентов до минус 3 процентов.

Описанные выше показатели текущих трендов антропогенных выбросов и стоков парниковых газов в Республике Беларусь, положения государственных нормативных правовых актов, регулирующих социально-экономическое развитие страны в условиях необходимости предотвращения опасных климатических изменений и адаптации к ним, результаты анализа национальных стратегических планов низкоуглеродного развития, других нормативных правовых актов и программ, включающих элементы климатической политики, должны быть положены в структуру и основные положения ОНУВ-3.0. Следует учесть также тот факт, что в стадии разработки находятся новые государственные, национальные и отраслевые программные документы на следующий 5-летний цикл (2026-2030 годы). Подготовлена и в настоящее время обсуждается концепция Экологического кодекса Республики Беларусь, которая содержит ряд важных положений для развития национального законодательства в направлении урегулирования общественных отношений в области изменения климата с учетом международных обязательств Республики Беларусь по выполнению положений Парижского соглашения к РКИК ООН, смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.

Предварительные оценки выбросов парниковых газов на прогнозном горизонте 2025-2050 годы

Анализ предыдущих разработок ОНУВ [2, 3] показал, что обязательства Республики Беларусь по сокращению выбросов парниковых газов отвечали общей тенденции, находясь в диапазоне значений, заявленных другими Сторонами Приложения I РКИК ООН (от минус 20% до минус 70% от выбросов 1990 года). С другой стороны, как следует из данных, представленных на рисунке 1, объемы сокращений, фактически достигнутые Республикой Беларусь, превосходили обязательства страны, что указывает на недостаточную оценку того потенциала, которым располагает Беларусь в сокращении выбросов парниковых газов.

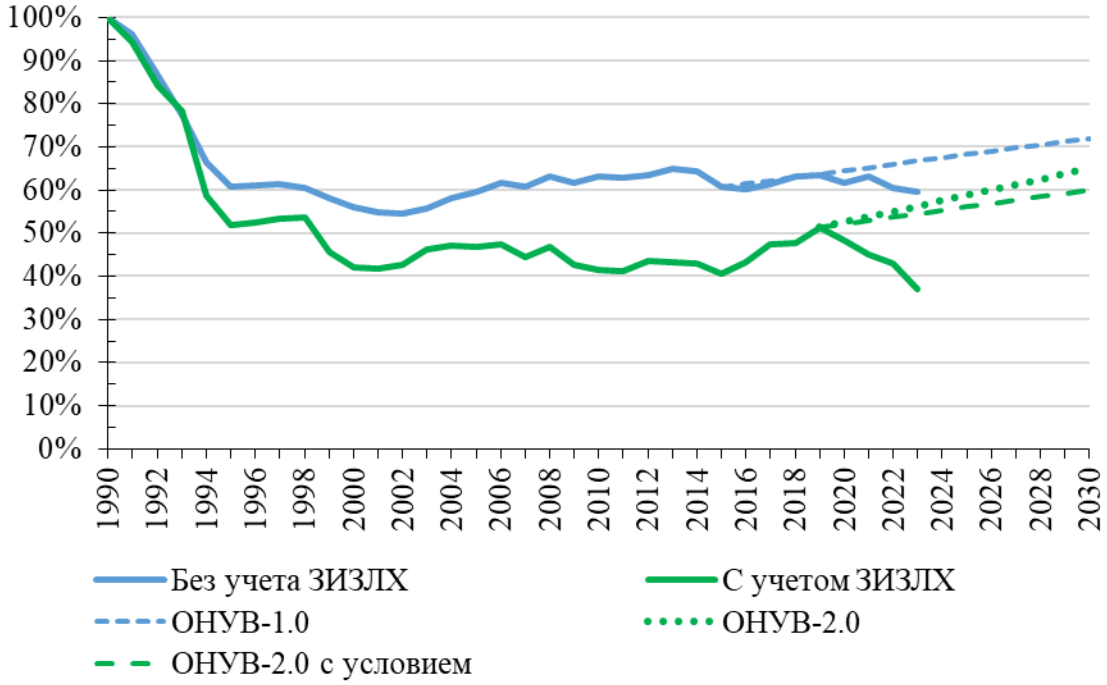

Рисунок 1 – Выбросы парниковых газов в Республике Беларусь.
Данные за 1990-2023 годы приведены по результатам инвентаризации [5].

Чтобы подготовить исходные данные для разработки ОНУВ-3.0 были выполнены предварительные прогнозы выбросов парниковых газов с прогнозным горизонтом 2025-2050 годы, которые предусматривали два сценария декарбонизации в пяти обозначенных выше секторах:

инерционный сценарий предполагает реализацию мер, которые были приняты, действуют или заявлены до сентября 2025 года в рамках законодательных и нормативных правовых актов, государственных и отраслевых программ и ведут к сокращению нетто-выбросов парниковых газов в каждом из рассматриваемых секторов, причем дополнительные меры, которые могут быть приняты в указанном прогнозном горизонте, этим сценарием не рассматриваются;

целевой сценарий ориентирован на отсутствие структурных изменений в экономике до 2050 года, учитывает высокую степень корреляции между ВВП и нетто-выбросами парниковых газов по секторам, сравнительно одинаковые темпы изменения добавленной стоимости по секторам и ВВП, практически неизменную в долгосрочном периоде эластичность выбросов парниковых газов к ВВП и основан на корреляционно-регрессионном анализе оценок по каждому из рассматриваемых секторов, причем рассматриваются также дополнительные меры, которые могут быть запланированы и реализованы в рассматриваемом горизонте прогнозирования.

В обеих сценариях использовались также данные Первого двухгодичного доклада Республики Беларусь по вопросам транспарентности [1] и последних таблиц Кадастра [5], учитывались материалы уже одобренных, разрабатываемых и готовящихся к утверждению стратегических и программных документов, например:

− Стратегия долгосрочного развития с низким уровнем выбросов парниковых газов на период до 2050 года;

− Стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами, а также по обращению с отходами производства и потребления;

− Стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 года;

− НСУР-2035 и проект НСУР-2040;

− Сценарий прогноза социально-экономического развития на 2026–2030 годы;

− Проект комплексного прогноза научно-технического прогресса до 2045 года.

Исходной основой формирования обеих сценариев является прогноз экономического развития Республики Беларусь. В долгосрочной перспективе до 2050 года прогнозируется дальнейшее снижение темпов роста мировой экономики до 2-2,5 процента в год по мере исчерпания потенциала развития стран с формирующимися рынками при одновременном росте их доли в мировой экономике. Эти прогнозы коррелируют с оценками изменения ВВП Республики Беларусь, выполненными Научно-исследовательским экономическим институтом Министерства экономики Республики Беларусь по параметрам базового сценария развития и приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Прогнозные показатели среднегодового прироста ВВП

Период, годы	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
Прирост ВВП, проценты к предыдущему году	1,72	2,98	3,24	3,29	2,50	2,37

На рисунке 2 приведены результаты оценок суммарного нетто-количества парниковых газов, выбрасываемых и поглощаемых источниками и поглотителями рассматриваемых секторов, согласно обозначенным сценариям и прогнозным показателям прироста ВВП в период 2025-2050 годы.

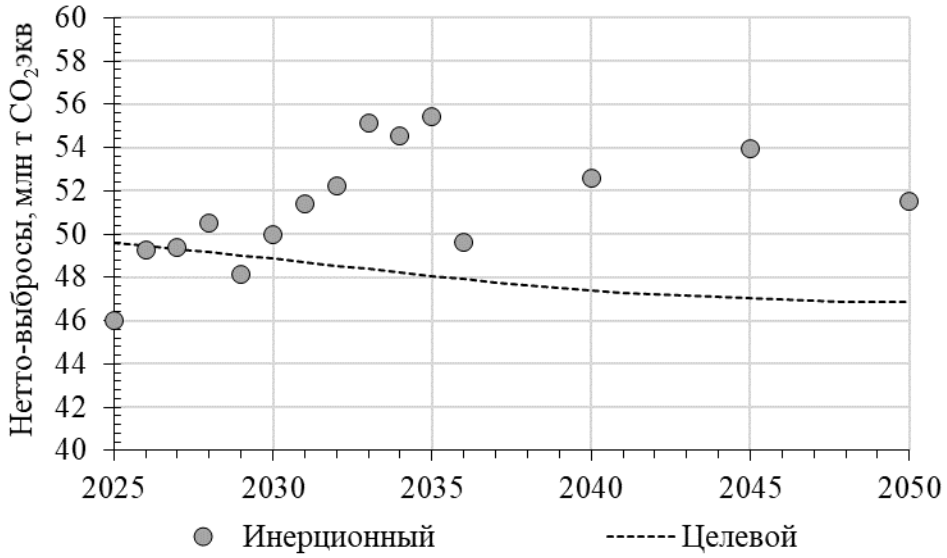

Рисунок 2 – Оценки суммарных выбросов по прогнозным сценариям

Заключение

В рамках инерционного сценария прогнозные значения выбросов в 2050 году по сравнению с выбросами 1990 года сократятся в секторах «Энергетика» и «Сельское хозяйство» на 43,8 и 15,6 процента, соответственно, возрастут в секторах «ППиИП» и «Отходы» на 48,1 и 65,0 процента, соответственно, а в секторе «ЗИЗЛХ» ожидается рост поглощения на 64,4 процента.

В рамках целевого сценария прогнозные значения выбросов в секторах «Энергетика» и «Сельское хозяйство» в 2050 году указывают на еще большее их снижение по сравнению с выбросами 1990 года, которое составит 62,6 и 24,0 процента, соответственно. Рост выбросов по сравнению с 1990 годом в секторах «ППиИП» и «Отходы» сохранится, но составит 12,7 и 53,4 процента, соответственно. В секторе «ЗИЗЛХ» ожидается увеличенный рост поглощения по сравнению с 1990 годом, который составит 74,9 процента.

В целом, суммарное сокращение нетто-выбросов в 2050 году по сравнению с 1990 годом составит 50,4 процента по инерционному сценарию и 74,9 процента по целевому сценарию.

Список использованных источников

7. Первый Двухгодичный доклад Республики Беларусь по вопросам транспарентности / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск. 2024. – 122 стр. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BTR_Belarus_2024.pdf.

8. Указ Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 г. №461 «О проекте международного договора».

9. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 сентября 2021 г. №553 «Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года».

10. Climate Promise 2025. https://climatepromise.undp.org/what-we-do/flagship-initiatives/climate-promise-2025.

11. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2022 гг. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология». – Минск, 2023. – 282 стр.

Партнер семинара - 1AK-GROUP

1AK-GROUP – многопрофильный холдинг, стратегическое направление деятельности которого – инжиниринг, производство и дистрибуция аккумуляторных батарей. Предприятия 1AK-GROUP внесли весомый вклад в формирование аккумуляторной отрасли Республики Беларусь:

- создан полный цикл производства и дистрибуции свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. В структуру 1AK-GROUP входят два аккумуляторных завода (ООО “Аккумуляторный Альянс”, ООО “Зубр Энерджи”), 2 завода по производству свинца и сплавов (ООО “Белинвестторг-Сплав”, ООО “Фрегат”).
- создан центр научно-технических компетенций 1AK-GROUP, объединяющий производителей, разработчиков химических источников тока и технических решений для систем накопления энергии. Центр НТК 1AK-GROUP решает задачи методического обеспечения внедрения СНЭ в промышленности, ЖКХ, сельском хозяйстве, а также вопросы инноваций в диагностике и интеллектуальном управлении работой СНЭ.
- в 2024 году создан Научно-производственный центр систем накопления энергии на основе Li-Ion аккумуляторов

Высококвалифицированный персонал и накопленный опыт позволяют адаптировать новые технологии, полученные в результате взаимодействия с отечественными научными организациями:

- осваивается производство современных видов свинцово-кислотных аккумуляторов (по технологиям AGM, GEL) широкого спектра применения: стартерные, стационарные, тяговые
- ведутся разработки по увеличению эксплуатационного ресурса батареи: модификация электродных материалов, оптимизация конструкции ячеек
- экспертиза в области Li-Ion АКБ: более 1500 разработанных конструктивов
- применение новых технических решений и ноу-хау в производстве систем накопления энергии (конструкции токопроводов, обеспечение тепловых режимов и др)

Холдинг 1AK-GROUP включен в кластер “Электротранспорт”. В рамках кластера 1AK-GROUP решает задачу оптимизации стоимостных и технических характеристик батарей для электромобилей.

1AK-GROUP в цифрах

25+ компаний

2500+ сотрудников

30 лет на аккумуляторном рынке

3 700 000 производство стартерных АКБ в год

100 000 кВтч в год мощность производства Li-Ion батарей

Холдинг 1AK-GROUP — белорусский производитель аккумуляторных батарей и центр научно-технический компетенций в области хранения и накопления энергии.

Сайт компании https://1ak-group.com/

Декарбонизация энергетического сектора. Сокращение выбросов парниковых газов

Сборник трудов семинара

(Минск, 15-16 октября 2025 г.)

Сборник трудов семинара публикуется в авторской редакции

Сетевое издание

Под общей редакцией – В.Е. Пинаев, Т.Г. Зорина

Ответственный за выпуск – Н.К. Алимова

Научное издание

Системные требования:
операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.
Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 3 Мб

Принято к публикации «26» ноября 2025 года

Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/72MNNPK25.pdf свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

https://izd-mn.com/

ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ