

УДК 338.22.021.1

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА ПУТЁМ РАЗВИТИЯ
ТОРГОВЛИ КВОТАМИ НА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
ДЛЯ УСПЕШНОГО ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ ПО БОРЬБЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ
КЛИМАТА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯМИ ДО 2050 ГОДА**



**ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES
IN THE MINERAL RESOURCE COMPLEX THROUGH
THE DEVELOPMENT OF TRADING IN GREENHOUSE GAS EMISSIONS
TO SUCCESSFULLY ACHIEVE THE GOAL OF COMBATING CLIMATE
CHANGE AND ITS CONSEQUENCES UNTIL 2050**

Масалова Ангелина Алексеевна
студентка,
Санкт-Петербургский горный университет
masalovaangel@mail.ru

Савенок Ольга Вадимовна
доктор технических наук,
профессор кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Санкт-Петербургский горный университет
Savenok_OV@pers.spmi.ru

Аннотация. Изменение климата воздействует на экосистемы и негативно влияет на 15 из 17 целей устойчивого развития (ЦУР), а также на состояние экономики в долгосрочной перспективе. Система торговли выбросами (СТВ) была разработана для достижения ЦУР 13. Однако в научном сообществе наблюдается тенденция осуждения СТВ. В статье оценены актуальные проблемы СТВ для устойчивого развития предприятий минерально-сырьевого комплекса, условия эффективности системы, передовые модели управления процессом торговли и перспективные технологии улучшения, основываясь на анализе зарубежных и отечественных публикаций. Для эффективного использования СТВ необходимо соблюдение ряда условий, которые сложно или невозможно создать из-за неоднородности рынков и политик стран. У системы можно выделить проблемы сложности расчёта углеродного баланса, коррумпированности, сложности распределения кредитов и другие. Для создания устойчивой цепочки поставок необходима гармонизация законодательства и СТВ на глобальном уровне. Технология блокчейн может создать экосистему безусловного доверия и решить большинство принципиальных проблем СТВ, а также организовать устойчивую низкоуглеродную цепочку поставок с помощью отслеживания углеродного следа и других характерных свойств.

Ключевые слова: система торговли выбросами; цели устойчивого развития; опыт и тенденции использования

Masalova Angelina Alekseevna
Student,
Saint Petersburg mining university
masalovaangel@mail.ru

Savenok Olga Vadimovna
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the department
of development and operation
of oil and gas fields,
Saint Petersburg mining university
Savenok_OV@pers.spmi.ru

Annotation. Climate change impacts ecosystems and negatively impacts 15 of the 17 sustainable development goals as well as long-term economic health. The emissions trading scheme was developed to achieve sustainable development goals 13. However, there is a trend in the scientific community to condemn of emissions trading scheme. The article assesses current problems of emissions trading scheme for the sustainable development of mineral resource complex enterprises, the conditions for the effectiveness of the system, advanced models for managing the trade process and promising improvement technologies were evaluated, based on the analysis of foreign and domestic publications. For the effective use of emissions trading scheme, a number of conditions must be met, which are difficult or impossible to create due to the heterogeneity of markets and policies of countries. The system can highlight the problems of the complexity of calculating the carbon balance, corruption, the complexity of the distribution of loans, and others. To create a sustainable supply chain, it is necessary to harmonize legislation and emissions trading scheme at the global level. Blockchain technology can create an ecosystem of unconditional trust and solve most of the fundamental problems of emissions trading scheme, as well as establish a sustainable low-carbon supply chain through carbon footprint tracking and other characteristic features.

Keywords: emissions trading system; sustainable development goals; experience and trends in the use of the emis-

системы торговли выбросами; принцип работы системы торговли выбросами; условия эффективного использования системы торговли выбросами; проблемы эффективного использования системы торговли выбросами; создание низкоуглеродной цепочки поставок; технология блокчейн как средство решения проблем эффективного использования системы торговли выбросами.

sions trading system; how the emissions trading system works; conditions for effective use of the emissions trading system; problems of efficient use of the emissions trading system; building a low-carbon supply chain; blockchain technology as a means of solving the problems of efficient use of the emissions trading system.

Введение

Изменение климата – это серьёзная проблема с тяжёлыми последствиями для окружающей среды. Чрезмерные выбросы токсичных газов вызывают серьёзную озабоченность экологов всего мира, поскольку они повышают температуру планеты и способствуют так называемому глобальному потеплению. Одной из основных причин изменения климата является выброс вредных газов, в частности, CO₂. Киотский протокол был подписан в 1997 году, и 192 страны создали системы монетизации своих выбросов CO₂ с целью их ограничения [19]. Согласно Киотскому протоколу, каждая страна должна установить лимит на количество выбросов CO₂, допустимое для её собственных заводов и компаний. Кроме того, был создан механизм торговли для компенсации квот на выбросы.

Однако эта торговая схема имела ряд проблем и не достигла целей, ради которых она была создана. Исследователи предложили ряд решений, используя различные методы и технологии, но ни одно из них не оказалось достаточно эффективным, чтобы решить проблемы, подрывающие углеродный рынок.

Целью статьи является изучить научные достижения, выявить нерешённые проблемы и определить перспективные предложения, касающиеся системы торговли выбросами (СТВ) для успешного достижения цели по борьбе с изменением климата и его последствиями до 2050 года.

В отчёте «Изменение климата в 2022 году: воздействие, адаптация и уязвимость. Вклад рабочей группы II в шестой оценочный отчёт Межправительственной группы экспертов по изменению климата» Раме и другие подтверждают тесное взаимодействие природных, социальных и климатических систем, а также то, что антропогенное изменение климата привело к широкомасштабным неблагоприятным воздействиям на природу и людей.

Очевидно, что во всех секторах и регионах наиболее уязвимые люди и системы страдают непропорционально сильно, а экстремальные климатические явления приводят к необратимым последствиям [30]. Оценка подчеркивает важность ограничения глобального потепления 1,5 °C, если мы хотим построить справедливый, равноправный и устойчивый мир. Наблюдаемые глобальные и региональные воздействия на экосистемы и антропогенные системы, связанные с изменением климата, представлены на рисунке 1.

В публикации «Экономические последствия изменения климата» Ричард оценивает воздействие изменения климата на экономику и благосостояние людей. Он утверждает, что, в краткосрочной и среднесрочной перспективе изменение климата вполне может принести пользу, особенно тем, кто зависит от неорошаемого земледелия (поскольку удобрение двуокисью углерода делает растения более устойчивыми к засухе) и тем, кто тратит значительные средства на отопление (поскольку потепление происходит быстрее зимой) [32]. Однако в долгосрочной перспективе негативные последствия изменения климата, вероятно, перевесят позитивные (рис. 2).

Влияние климата и изменения климата на экономический рост и развитие изучено недостаточно, и различные исследования пришли к противоположным выводам [38]. Новые данные, предпочтительно более длинные временные ряды, и применение новейших эконометрических методов должны пролить новый, возможно решающий, свет на эти вопросы. Рекомендации по климатической политике направляются через оценки социальных издержек углерода, которые очень чувствительны к ставке дисконтирования [32].

17 целей ООН в области устойчивого развития (ЦУР) направлены на улучшение жизни людей, повышение благосостояния и защиту планеты. Однако стратегии стран часто не сбалансированы между социальными и экологическими приоритетами [35].

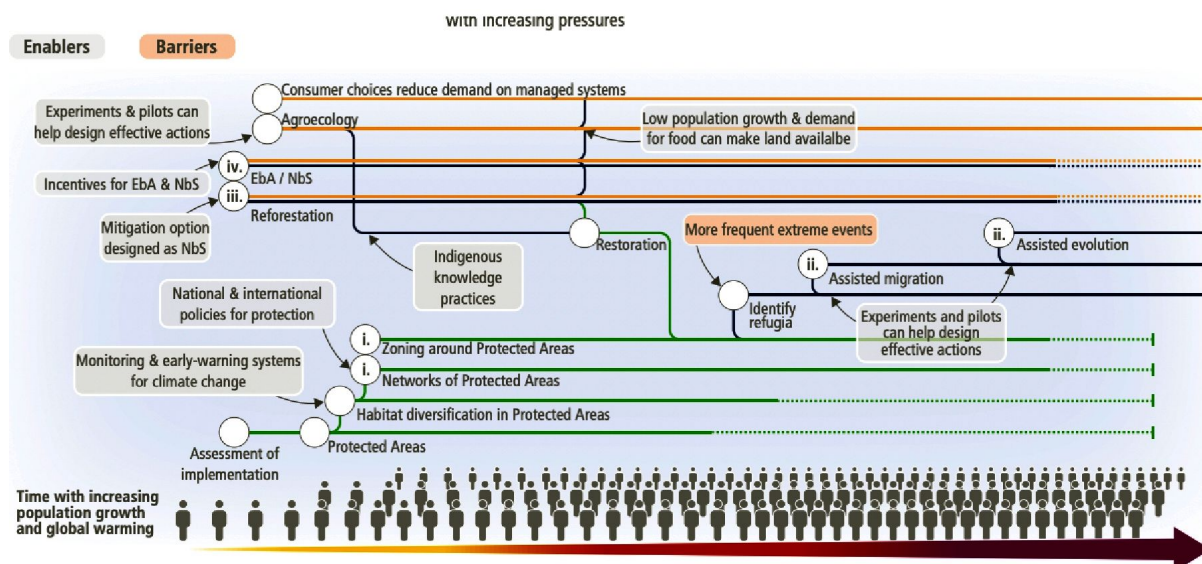


Рисунок 1 – Глобальные и региональные воздействия на экосистемы и антропогенные системы, связанные с изменением климата [30]

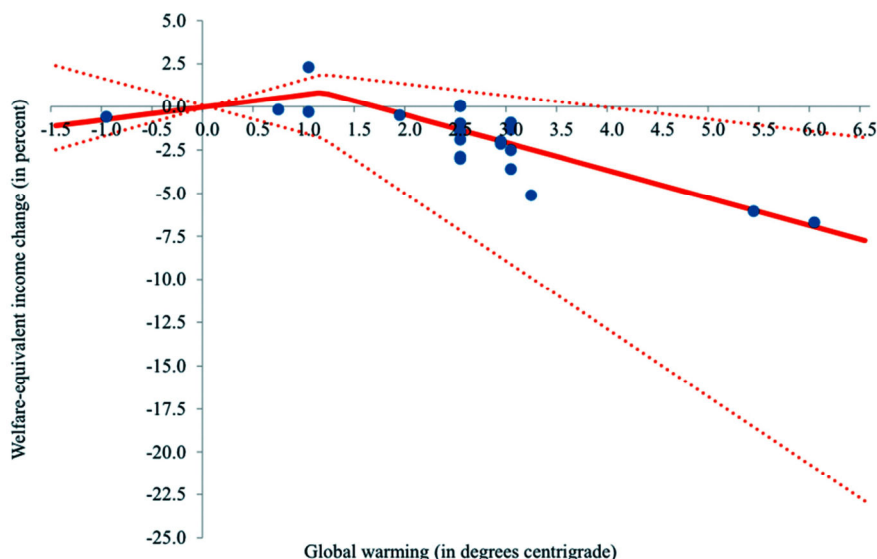


Рисунок 2 – Глобальное суммарное годовое воздействие изменения климата [32]

Иокабута и другие в публикации «Переход к низкоуглеродной экономике в соответствии с Повесткой дня на период до 2030 года: сведение к минимуму компромиссов и усиление сопутствующих выгод от действий по борьбе с изменением климата для достижения ЦУР» разработали структуру, которая оценивает воздействие действий по борьбе с изменением климата на все задачи целей устойчивого развития (ЦУР) на основе направленности (т.е. компромиссов или сопутствующих выгод) и вероятности возникновения (т.е. по четырём ключевым параметрам контекста – географическому, управленческому, временному горизонту и ограниченным природным ресурсам). Они также обнаружили, что меры по смягчению последствий изменения климата напрямую влияют на большинство ЦУР и их задач, в основном за счёт сопутствующих выгод. Повышение энергоэффективности, снижение спроса на энергетические услуги и переход на возобновляемые источники энергии обеспечивают наибольшие сопутствующие выгоды.

Необходимы значительные усилия на всех уровнях политики для достижения ЦУР на период до 2030 года и обеспечения того, чтобы глобальное повышение температуры не превышало 2 °C [37]. Хотя эти цели были поставлены независимо друг от друга, прочная взаимосвязь между климатом и развитием предполагает, что их следует решать в комплексе, а не в отдельности, связанных с изменением климата или развитием. Смягчение последствий изменения климата напрямую влияет на 15 из 17 ЦУР

(рис. 3). Это свидетельствует о высоком потенциальном успехе, когда вопросы климата и развития решаются одновременно [18]. Доля воздействия на ЦУР каждой меры по смягчению последствий изменения климата, подпадающей под четыре конкретных аспекта контекста – местный, управленческий, временной горизонт и природные ресурсы. Доля воздействий определяется как общая доля воздействий конкретной меры по смягчению последствий изменения климата по всем задачам ЦУР, которые имеют отношение к контекстному измерению, по отношению к общему количеству воздействий этой конкретной меры по смягчению последствий изменения климата [19].

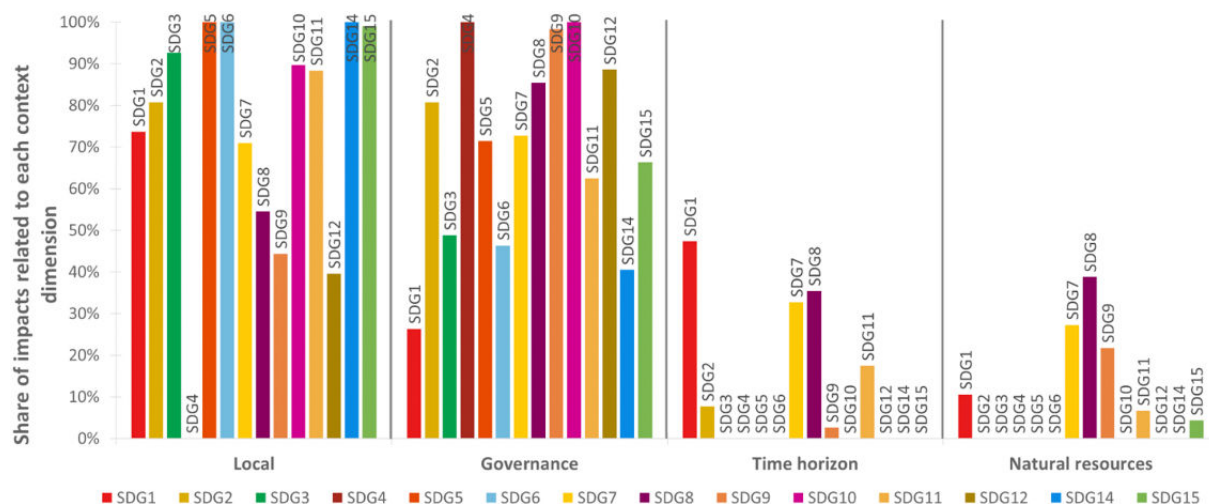


Рисунок 3 – Влияние смягчение последствий изменения климата на другие ЦУР [18]

Для достижения конечной цели выбросов парниковых газов во всех секторах необходимо сократить выбросы парниковых газов. Заблаговременные действия ограничивают эффекты потери и потери гибкости, а также предотвращают социальные и экологические нарушения, связанные с ископаемым топливом [18].

Ресурсы и экологические проблемы стали главными препятствиями для глобального устойчивого развития. В последние годы выделяются глобальное потепление и пароксизмальные экологические проблемы, вызванные потреблением ископаемой энергии (рис. 4). Будучи страной с большим потреблением энергии и выбросами углерода, Китай попытался создать и внедрить механизм торговли выбросами углерода, чтобы скорректировать модели экономического развития, оптимизировать энергетическую структуру и достичь целей по выбросам [22]. И, как результат, сегодня показатели Китая по выбросам лучше, однако, как и у других стран BRICKS (Brazil, Russia, India, China and South Africa), в числе которых и Россия, возникают сложности перехода на новый концепт управления выбросами. Тем не менее, Россия занимает достойное 46 место в 2022 году по достижению ЦУР, что показывает правильный вектор развития страны (рис. 5).

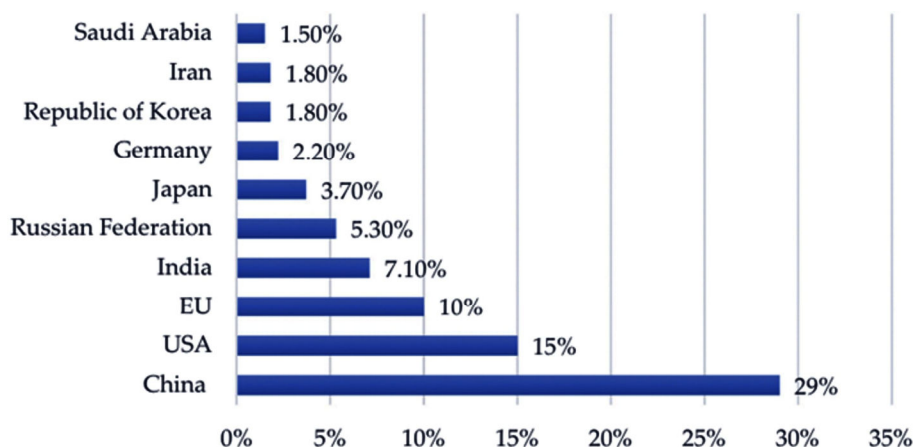


Рисунок 4 – Десять крупнейших источников выбросов в мире (2018 г.) [22]

▼ OVERALL PERFORMANCE

COUNTRY RANKING

Russian Federation

46/165

COUNTRY SCORE



REGIONAL AVERAGE: 71.4

STATISTICAL PERFORMANCE INDEX
0 (WORST) TO 100 (BEST)



▼ AVERAGE PERFORMANCE BY SDG



▼ SDG DASHBOARDS AND TRENDS



Рисунок 5 – Показатели эффективности РФ в достижении ЦУР [34]

Концепция устойчивого развития прошла различные этапы развития с момента своего появления. Различные организации и учреждения участвовали в историческом развитии концепции и сейчас интенсивно работают над реализацией её принципов и целей. Устойчивое развитие должно обеспечивать решения с точки зрения удовлетворения основных потребностей человека, интеграции развития и охраны окружающей среды, достижения равенства, обеспечения социального самоопределения и культурного разнообразия, а также сохранения экологической целостности. Многочисленные международные организации участвуют в реализации концепции, которая активно применяется на региональном уровне, но ещё не достигла значительных результатов в глобальном масштабе. Этот факт показывает, что спустя 30 лет после введения концепции экологические проблемы всё ещё сохраняются [41].

В публикации «Отчёт об устойчивом развитии за 2021 год» авторы исследуют эффективность стран в достижении ЦУР для 193 стран, используя широкий набор показателей, и рассчитывают будущие траектории, представляя ряд передовых практик для достижения исторической Повестки дня на период до 2030 года [34].

Можно выделить несколько рынков СТВ, которые имеют разные модели и принципы работы. В публикации «Количественные модели в исследованиях систем торговли квотами на выбросы: обзор литературы» Танг анализирует вклад стран в создание оптимальной модели торговли выбросами (рис. 6). В результате было получено, что все 29 рынков СТВ по всему миру были изучены с использованием количественных моделей.

Рынки СТВ в ЕС и в Китае были объектами исследований, которые изучались в 268 и 220 публикациях [39].

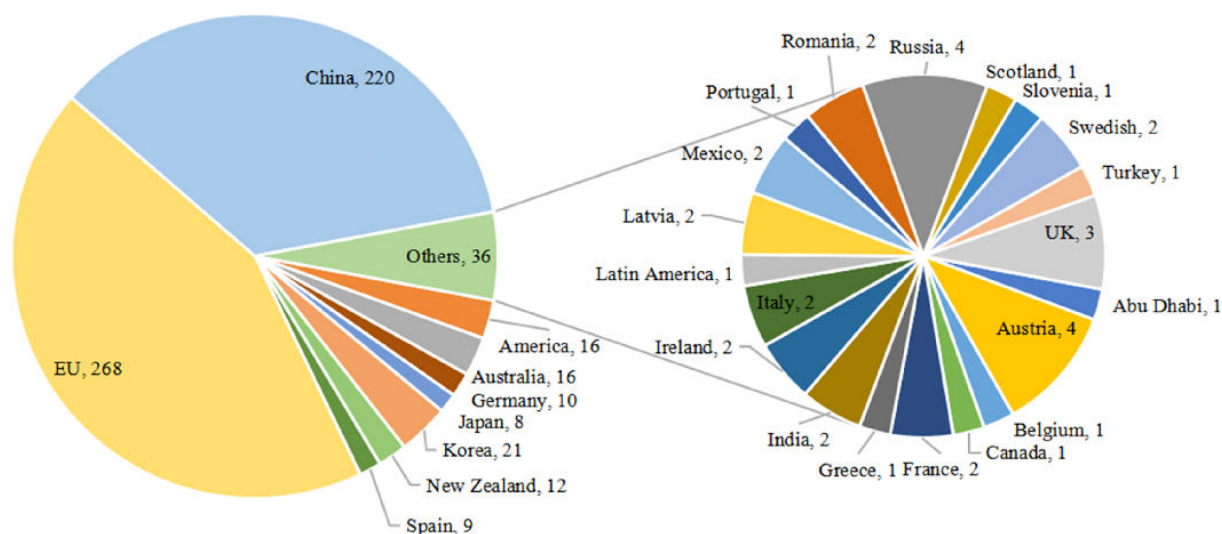


Рисунок 6 – Региональное распределение изучаемых рынков СТВ [39]

Цифры относятся к общему количеству статей с использованием количественных моделей для изучения СТВ в соответствующих странах или регионах.

Научные достижения, опыт и тенденции использования системы торговли выбросами

Изменение климата – это нарушение рынка «в масштабах, с которыми мир ещё никогда не сталкивался», и неудивительно, что СТВ, разработанная для решения этой проблемы, в конечном итоге рассматривается как приватизация величайшего природного актива мира [30].

Схемы торговли квотами на выбросы (СТВ) в Великобритании и ЕС предусматривают ограничение общих выбросов от закрытых установок, которое снижается каждый год. В пределах этого лимита компании могут покупать и продавать квоты на выбросы по мере необходимости. Этот подход «торговли квотами» даёт компаниям гибкость, необходимую им для сокращения выбросов наиболее экономичным способом [26].

Россия, четвёртый в мире по величине потребитель первичной энергии и четвёртый в мире по объёму выбросов углекислого газа, придерживается стратегии «бизнес как обычно», основанной на ископаемом топливе. До декарбонизации энергетического сектора ещё далеко, а скептицизм в отношении глобального изменения климата широко распространён среди заинтересованных сторон.

Несмотря на эту глобальную тенденцию, вопросы изменения климата и стремление к декарбонизации ещё не стали ключевым элементом энергетической стратегии Российской Федерации. Российская Федерация подписала Парижское соглашение, которое, в частности, предусматривает, что к 2020 году должна быть разработана стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [27].

Принцип работы системы торговли выбросами (СТВ)

Принцип работы СТВ

Торговля квотами на выбросы между предприятиями предназначена для достижения целей по сокращению выбросов. Котировки на покупку/продажу электроэнергии и выбросов для отдельных предприятий рассчитываются и передаются центральному брокеру. Брокер определяет график обмена мощностью и выбросами, который максимизирует системную экономию для всех участвующих предприятий. Формулировка включает торговлю выбросами между предприятиями для достижения целевых показателей выбросов экономически эффективным способом. Центральный брокер получает заявки на покупку и продажу электроэнергии, а также выбросы от всех предприятий [7].

Транзакции настроены так, чтобы максимизировать системную экономию как от торговли электроэнергией, так и от торговли выбросами, с учётом ряда ограничений.

Три гибких механизма Киотского протокола – торговля выбросами, механизм чистого развития (МЧР) и совместное осуществление всегда вызывали споры. Сторонники рассматривали эти механизмы как умные инструменты для достижения экологических результатов при минимально возможных затратах. Они утверждали, что снижение затрат на соблюдение требований сделает более жёсткие экологические цели возможными и политически выполнимыми. Противники утверждали, что такая гибкость приведёт к коммерциализации атмосферы Земли и что сомнительные проекты и обмен горячим воздухом заменят серьёзные усилия по борьбе с изменением климата.

В публикации «Торговля выбросами углерода: обзор киотских механизмов. Ежегодный обзор окружающей среды и ресурсов» Хербурн утверждает, что нынешний углеродный рынок очень мал и после устранения явных и серьёзных недостатков существующей системы, одной из наиболее актуальных задач климатической политики следующего десятилетия станет расширение торговли выбросами, чтобы охватить больше стран, больше секторов и более длительные периоды времени [15].

Выводы от использования МЧР:

- углеродный рынок быстро расширяется;
- торговля выбросами углерода направляет поток денег на самые дешёвые сокращения выбросов;
- торговля выбросами углерода создала лобби для более строгих целей и чёткой долгосрочной политики;
- текущий процесс распределения является регрессивным и несправедливым, и в будущем на аукционах должно быть продано больше квот;
- МЧР не достиг своей цели устойчивого развития, и поток средств сконцентрирован в относительно небольшом количестве секторов и стран;
- МЧР может быть эффективным в краткосрочной перспективе, но неэффективным в долгосрочной перспективе.

Будущие проблемы развития:

- 1) расширение торговли выбросами углерода в новые страны и сектора создаст проблемы в отношении разработки схем;
- 2) возникнут важные вопросы, касающиеся аукционов, поскольку разрешения будут всё чаще распределяться через аукционы;
- 3) политические риски, связанные с торговлей квотами на выбросы углерода, постепенно перейдут от частного к государственному сектору;
- 4) добровольный углеродный рынок быстро растёт, но может сократиться, если существующие стандарты не будут широко приняты.

Неоднозначность роли концепта

Стоит отметить, что в качестве основной политики в области климата схема торговли квотами на выбросы (СТВ) оказывает значительное влияние на выбросы двуокси углерода (CO_2) и сокращение потребления энергии во всём мире. Тем не менее, существующие исследования были сосредоточены в основном на смоделированных воздействиях СТВ, и лишь немногие исследования уделяли особое внимание фактическим воздействиям и их динамическим изменениям, что может привести к неоднозначному пониманию эффективности СТВ.

Зханг в публикации «Оценка воздействия схемы торговли выбросами на низкоуглеродное развитие» утверждает, что политика СТВ может эффективно сократить выбросы CO_2 и потребление энергии, а также снизить углеродоёмкость и потребление энергии в пилотных регионах, чтобы принести больше экологических дивидендов [49]. Более того, политика СТВ оказывает наибольшее влияние на углеродоёмкость и наименьшее влияние на потребление энергии. Это воздействие будет увеличиваться с течением времени по мере увеличения секторов и областей, охваченных СТВ.

Международные углеродные рынки являются привлекательным и всё более популярным инструментом регулирования выбросов углерода. Они устанавливают цену на выбросы углерода. Однако рыночные цены на углерод часто считаются слишком низкими по сравнению с социальной стоимостью углерода. Несмотря на низкие цены, углеродные рынки утверждают, что помогают сократить выбросы.

Опыт стран БРИКС в достижении ЦУР 13

Опыт России

Благодаря относительно низким ценам на энергоносители и высоким капитальным затратам, энергоёмкость ВВП остается высокой. Вызовом для России в ближайшие годы станет разработка новой стратегии для энергетического сектора, который вступает в очень беспокойную полосу из-за усиливающейся глобальной конкуренции, растущей технологической изоляции и финансовых ограничений, даже без учёта влияния мер по борьбе с изменением климата. Отношение России к энергетическому переходу довольно противоречиво. Она пытается внедрить некоторые компоненты этой тенденции традиционным, централизованным способом [13].

Переход к низкоуглеродной экономике – одна из главных задач 21 века. Страны разрабатывают дорожные карты для перехода к низкоуглеродной, чистой, зелёной экономике замкнутого цикла. В России разрабатывается национальная стратегия низкоуглеродного развития. Министерство экономического развития (МЭР) координирует этот процесс, а Министерство промышленности и торговли (МПТ) участвует в подготовке стратегии, которая устанавливает достижимые цели для промышленного сектора. В то же время реализуется несколько национальных проектов в соответствии с Указом Президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [27]. Государственный проект «Окружающая среда» решает такие вопросы, как минимизация негативного воздействия на окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов (ресурсоэффективность), а система регулирования на основе НДТ считается одним из механизмов достижения целей этого проекта.

Для достижения синергии между технологическим развитием (поддерживаемым различными механизмами), охраной окружающей среды, предотвращением загрязнения, эффективностью использования ресурсов (регулируется законами и нормативными актами, основанными на экологической и промышленной политике) и низкоуглеродного развития (стратегия, разрабатываемая в настоящее время в России), необходимо определить возможности для улучшения и, исходя из международного и национального опыта, разработать новые нормативы.

Две известные конструкции регулирования – технологическое регулирование на основе наилучших доступных технологий (НДТ) и регулирование выбросов парниковых газов (ПГ) – направлены на очистку и экологизацию промышленного производства. Нормативные конструкции, связанные с НДТ, касаются «обычных» загрязнителей и, в первую очередь, требуют, чтобы установки КПКЗ применяли методы предотвращения и (или) контроля загрязнения, достигали высокой ресурсо- и энергоэффективности (ЭЭ), избегали (или сводили к минимуму) использование опасных веществ и учитывали рециркуляция в ходе действующих производственных процессов [11].

Большая часть документов разработана по инициативе Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПРиЭ) и МИТ. Во-первых, экологические нормы, основанные на параметрах наилучших доступных технологий (НДТ), уделяют пристальное внимание обеспечению ресурсо- и энергоэффективности, но не преследуют цели регулирования выбросов ПГ. Однако применение НДТ-решений на промышленных объектах позволяет не только снизить негативное воздействие традиционных загрязнителей на окружающую среду, но и значительно повысить эффективность использования производственных ресурсов и существенно сократить выбросы парниковых газов.

В своей публикации «Наилучшие доступные технологии, повышение энергоэффективности и сокращение выбросов углерода» Гусеева рассматривает режимы регулирования: Регулирование на основе НДТ (техническое) с годами непрерывно совершенствовалось как в России, так и за рубежом: принципы комплексной охраны окружающей среды, начатые в 1996 году в Директиве ЕС о промышленных выбросах Integrated Environmental Permits (IED), а требование о том, чтобы предприятия работали в рамках технических параметров, основанных на НДТ, были успешно применены в государствах-членах ЕС и других странах. Этот принцип реализуется в основном путём выдачи ИЭП крупнейшим компаниям основных отраслей промышленности, потребляющих большое количество ресурсов (в том числе энергии и воды) и оказывающих зна-

чительное негативное воздействие на окружающую среду. Европейское агентство по комплексному контролю и управлению загрязнением (Агентство IPPC) готовит справочные документы по НДТ (BREF) для всех отраслей, перечисленных в IED [11].

На сегодняшний день более 52000 объектов в ЕС подчиняются требованиям НДТ, получают IEP (обновляемые по мере необходимости) и готовят отчёты о выбросах (выбросы в атмосферу, сбросы, управление отходами, физические факторы и т.д.). Российские нормативы по НДТ охватывают около 7000 предприятий категории I, а первые ИЭП будут выданы в 2019-2022 гг. для опытных объектов ТЭК, металлургических и химических заводов, предприятий по очистке городских сточных вод [27].

Эффективное использование энергии и отделение энергопотребления от роста являются ключевой целью политики устойчивого развития. Энергия считается ресурсом первостепенной важности и должна использоваться эффективно; на промышленных предприятиях энергия должна использоваться для производства товаров или услуг. Концепция НДТ предусматривает замену первичных видов топлива вторичными видами топлива или возобновляемыми источниками энергии, но в первую очередь она фокусируется на повышении энергоэффективности.

Исходя из анализа потенциала энергосбережения России и опыта реализации политики энергоэффективности на современном этапе представленного в публикации Матраева «Совершенствование российской стратегии энергоэффективности в рамках концепции «зеленой экономики» (на основе анализа опыта зарубежных стран» показывает, что отечественная экономика обладает значительным потенциалом энергосбережения, однако его реализация требует повышения активности государства в этой области, особенно в части преодоления причин низкой эффективности национальной экономики [26]. Анализ энергоэффективности на глобальном уровне и на уровне национальных экономик показывает положительную тенденцию к снижению энергоёмкости. Однако в разных странах эти показатели существенно различаются. Анализ показывает, что рост советской экономики и быстрое повышение энергоэффективности за рубежом в период индустриализации из-за безразличия к расточительному и нерациональному потреблению энергии привели к значительной разнице в энергоёмкости со многими другими странами мира. Вопрос энергоэффективности имеет большое значение для российской экономики, а отход от ресурсо-ориентированной модели является приоритетом для устойчивого роста и устойчивого развития.

Анализ потенциала энергосбережения России показывает, что национальная экономика обладает значительным потенциалом энергосбережения и что к 2025 году можно сократить потребление энергии на 195 млн тонн (в топливном эквиваленте), что эквивалентно 20 % энергопотребления России (рис. 7).

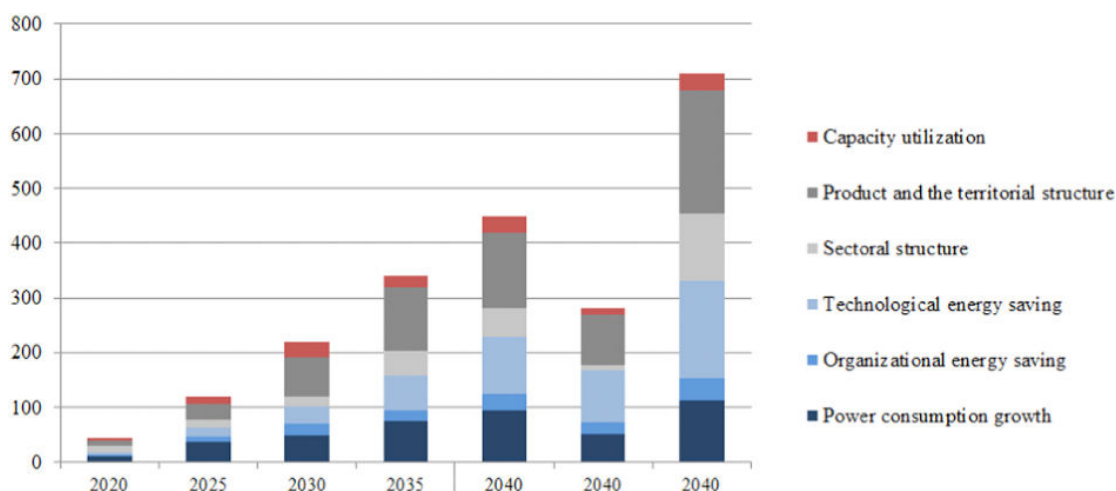


Рисунок 7 – Факторы потенциала энергосбережения в трёх сценариях развития, РФ [26]

Для реализации выявленного потенциала повышения энергоэффективности отечественной экономики необходимо преодолеть выявленные причины низкой энергоэффективности в Российской Федерации путём усиления государственной политики

в этой области, а также необходимо технологическое развитие и использование имеющегося технологического потенциала должны стать основой для повышения энергоэффективности [26].

Несмотря на эту глобальную тенденцию, вопросы изменения климата и стремление к декарбонизации ещё не стали ключевым элементом энергетической стратегии РФ. Российская Федерация подписала Парижское соглашение, которое, в частности, предусматривает, что к 2020 году должна быть разработана стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [27].

Реализация данного соглашения требует взвешенного подхода к принятию ряда дополнительных мер регулирования в области борьбы с изменением климата с целью минимизации возможных негативных последствий для российского топливно-энергетического комплекса.

Опыт БРИКС

Технологическое развитие и потребление возобновляемой энергии в странах БРИКС могут статистически значительно снизить выбросы CO₂, поэтому лица, принимающие решения, должны рассматривать эти два фактора как ключевые движущие силы перехода к экологически чистой энергии в этих странах. Авторы этой работы обнаружили, что по мере роста доходов и экономической активности происходит увеличение загрязнения окружающей среды. Чтобы компенсировать это, политики могут принять ряд мер и правил.

Страны БРИКС привержены продвижению устойчивого развития на сбалансированной и всеобъемлющей основе в трех измерениях: экономическом, социальном и экологическом [31]. Страны БРИКС имеют разные природные ресурсы, разные промышленные структуры и разные модели развития. Они имеют определённую взаимодополняемость и большое пространство для развития торгово-экономического сотрудничества.

Россия, Бразилия и Южная Африка могут предложить богатые энергетические и минеральные ресурсы [14].

Гасанов в публикации «Теоретические основы влияния выбросов углерода на технологический прогресс и потребление возобновляемой энергии», что технический прогресс, потребление возобновляемой энергии и размер экспорта способствуют сокращению выбросов CO₂, в то время как валовой внутренний продукт (ВВП) и масштабы импорта, по оценкам, увеличивают загрязнение в долгосрочной и краткосрочной перспективе [13].

Кроме того, Россия заявляет, что отмена субсидий является политически сложной задачей, и рекомендует использовать политику в области выбросов, связанную с международной торговлей в странах БРИКС, которая может стимулировать экспорт товаров и услуг, содержащих больше CO₂, и препятствовать их импорту [13].

В работе «Тест Bootstrap ARDL на взаимосвязь между торговлей, ПИИ и выбросами CO₂: на основе опыта стран БРИКС», используют метод модель ARDL для проверки взаимосвязи между торговлей, прямыми иностранными инвестициями (ПИИ) и выбросами CO₂ в странах БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай и Южная Африка). Установлено, что выбросы CO₂ и ПИИ имеют ковариационную зависимость в Бразилии. Для России и Индии выбросы CO₂ и торговля также имеют ковариационную связь с ПИИ. Тем самым доказывая, что, подписывая двусторонние и многосторонние торговые соглашения, страны БРИКС стимулируют международную торговлю между своими членами, повышают уровень торгово-экономического сотрудничества между сторонами и добиваются общего подъёма стран БРИКС [14].

Опыт Китая

Путём расчёта и анализа значений Coupling Coordination Degree (CCD) для пилотных городов по торговле выбросами углерода исследование Хуанга в публикации «Торговля квотами на выбросы углерода и устойчивое развитие в Китае: эмпирический анализ на основе модели сопряжённой степени координации» показало, что среднее значение CCD для пилотных городов увеличилось с «некоторой координации» до «первичной координации» после реализации политики, что указывает на увеличение уровня устойчивого развития. В промышленно развитых районах (определяемых по общей стоимости промышленной продукции) загрязнение окружающей среды было относительно серьёзным; например, в провинции Гуандун, где значение промышленного производства намного выше, чем в других пилотных регионах и провинциях (рис. 8),

было больше городов с отрицательным темпом роста CCD, что указывает на то, что будет сложнее координировать экономическую и экологическое развитие.

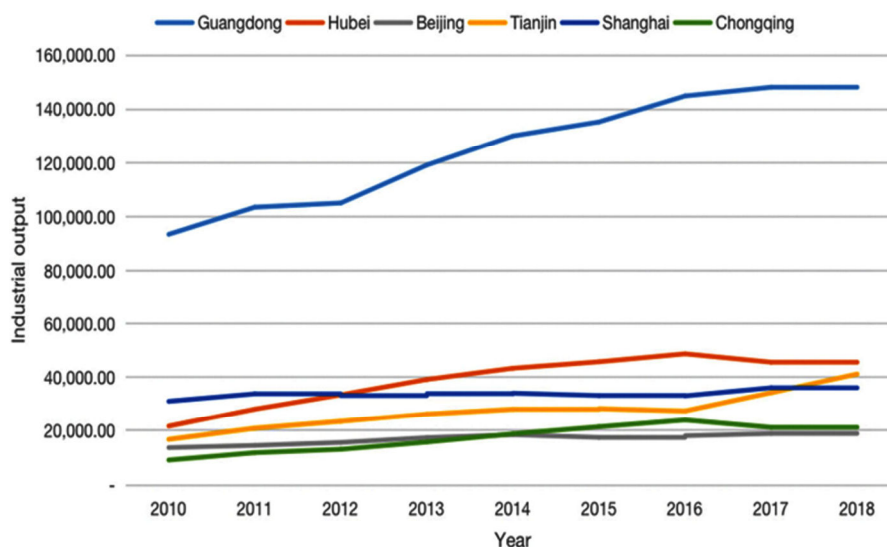


Рисунок 8 – Объём промышленного производства пилотных регионов и областей за 2010–2018 гг. [17]

Как вывод, Хуанг утверждает, что чем лучше экономическое и социальное развитие региона, тем выше уровень устойчивого развития. Лица, определяющие политику, должны проводить дифференцированную разработку политики, исходя из ситуации с развитием в регионах, где реализуется политика, при этом эффективность реализации политики должна обеспечиваться и повышаться за счёт инновации существующего подхода к СТВ [17]. В тоже время в публикации «Устойчивое развитие системы «экономика – энергия – окружающая среда» (ЗЕ) в рамках механизма торговли выбросами углерода (СТВ): пример Китая» утверждает, что сокращение общей суммы квоты, уменьшение бесплатной квоты и повышение цены могут эффективно способствовать сокращению выбросов углерода, тем самым способствуя устойчивому развитию системы [50].

Условия эффективного использования системы торговли выбросами

Создание правильной инфраструктуры

В публикации «Торговля квотами на регулируемых рынках электроэнергии. Климатическая политика» Асвофк подмечает, что СТВ наиболее эффективна при реализации на либерализованном и конкурентном рынке электроэнергии, но её также можно внедрить в условиях регулируемого рынка электроэнергии, хотя и с некоторой потерей эффективности. Некоторые потери эффективности потенциально могут быть компенсированы за счёт новаторских разработок политики торговли квотами на выбросы, которые преодолевают барьеры смягчения последствий, создаваемые регулированием энергетического сектора [1]. По инфраструктуре страны можно судить о её энергоэффективности.

Инфраструктура – это система, лежащая в основе всех обществ, обеспечивающая такие важнейшие услуги, как энергоснабжение, утилизация отходов, транспорт и связь. Инфраструктура также может оказывать пагубное социальное и экологическое воздействие [35]. По мере того, как инвестиции в инфраструктуру по всему миру достигают рекордных уровней, всё больше и больше решений принимается с целью зафиксировать модели развития для будущих поколений. Хотя большинство этих инвестиций мотивировано стремлением повысить экономическую производительность и занятость, инфраструктура прямо или косвенно влияет на все Цели устойчивого развития (ЦУР), из которых на 72 % задач [40].

Такер в публикации «Инфраструктура для устойчивого развития» утверждает, что планирование устойчивой инфраструктуры должно быть представлено как поэтапная последовательность политических мер и инвестиций с адаптационными стратегиями для решения изменяющихся будущих условий [40]. Постоянное внедрение процессов, включая обновление данных, решений и знаний, подлежащих интеграции, будет способствовать развитию инфраструктуры, которая адаптируется к изменяющимся условиям и соответствует своему назначению до необходимого уровня (рис. 9).

Регулирование по гипотезе Портера

Основная суть гипотезы Портера заключается в том, что разумные и строгие экологические нормы будут стимулировать компании к инновациям и достижению выигрыша для экономики и окружающей среды. Как крупнейший в мире потребитель энергии и эмиттер углерода, выбор Китая связан не только с его собственной моделью экономического роста, но и с развитием глобальной низкоуглеродной экономики.

Эмпирические результаты в публикации Ванга «Может ли система торговли выбросами углерода способствовать трансформации низкоуглеродной экономики в рамках гипотезы Портера? – Эмпирический анализ на основе метода PSM-DID» показывают, что существует определённая положительная корреляция между китайской системой торговли квотами на выбросы углерода и развитием низкоуглеродной экономики в условиях существующих ресурсных и экологических ограничений [42].

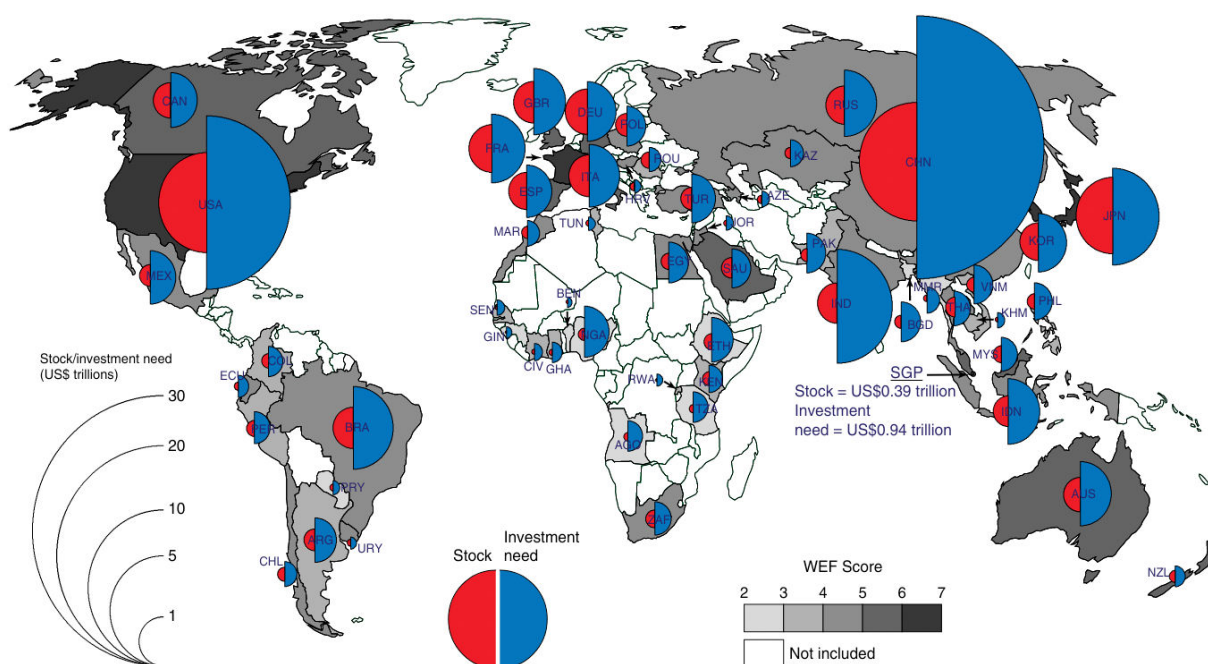


Рисунок 9 – Текущий запас инфраструктуры и прогноз будущих потребностей до 2040 года [40]

На основе гипотезы Портера количественно продемонстрирован и проверен механизм взаимодействия между схемами торговли углеродными квотами и низкоуглеродной экономикой, и результаты показывают, что повышение интенсивности экологического регулирования, содействие трансформации энергетической отрасли и рациональное распределение промышленной структуры значительно способствуют развитию низкоуглеродной экономики, и что экологическое регулирование способно были отмечены улучшения, отражающие беспроигрышный эффект [42].

Правильная оценка климатического состояния

Немало важным условием в достижении цели устойчивого развития № 13 является правильная интерпретация текущего состояния климата, а также точное прогнозирование погодных явлений. Как известно, прогнозирование экстремальных погодных явлений затруднено из-за большого количества переменных. В своей публикации «Влияние изменения климата на энергетическую систему: обзор тенденций и пробелов» Кроинг описывает модель IAM, которая способна одновременно учитывать множественные воздействия изменения климата на спрос и предложение для улучшения всестороннего изучения затрат, осуществимости и оптимальных сроков путей декарбонизации энергетической системы [8].

В публикации «Механизм эволюции региональных выбросов углерода и подход к его прогнозированию, основанный на торговле квотами на выбросы углерода – тематическое исследование Пекина» Лиу с помощью модели системно-динамического анализа ключевые факторы и схемы эволюции, влияющие на механизм выбросов углерода

да, были определены с точки зрения общества, энергетики, экономики и окружающей среды. Факторы были дополнительно выбраны с помощью расширенной модели STIRPAT и модели регрессии хребта, чтобы построить модель прогнозирования выбросов углерода с помощью нейронной сети. В качестве результата исследований Лиу утверждает, что к региональной политике торговли выбросами углерода следует подходить по-разному в зависимости от местных условий [22]. На нынешнем национальном рынке торговли квотами на выбросы углерода в Китае по-прежнему доминирует китайское правительство [48]. Процесс торговли выбросами углерода требует общей суммы распределения, распределения квот, сертификации, регистрации, торговли, штрафов и других соответствующих процессов [45].

Активное участие правительства

Также немало важным условием эффективного использования СТВ является заинтересованность и правильность руководства и мониторинга генкомпаний. В рыночной среде генкомпания производит электроэнергию с учётом ряда факторов, в том числе физических и экологических ограничений, а также торговых стратегий на рынке электроэнергии (РЭ), рынке топлива (ФМ) и рынке углерода (УМ), чтобы максимизировать свою прибыль от РЭ, ФМ и УМ.

Рациональный компромисс между получением прибыли и сокращением выбросов был продемонстрирован GENCO с использованием предложенной модели, что указывает на хорошее соответствие намеченной цели введения схемы торговли квотами на выбросы (СТВ) [49].

Представленная Ли модель в публикации «Многорыночная структура принятия решений для GENCO с учётом схемы торговли квотами на выбросы» учитывает механизмы торговли квотами на выбросы путём включения ограничений на выбросы, а также торговлю квотами на выбросы [21]. Всестороннее тематическое исследование проводится для анализа операционных решений генкомпаний с учётом ограничений различных рынков.

С точки зрения планирования РЭ GENCO предпочтительно будет производить энергию, используя как можно больше энергии ветра, и сокращать часть своего производства энергии от установок с высоким уровнем выбросов. Модель принятия решений представляет собой четырёхуровневую иерархическую структуру. На каждом уровне планирования ожидаемый объём производства генкомпаний прогнозируется на основе соответствующих исторических данных, а затем объём производства более высокого уровня равномерно распределяется на каждый временной интервал его подуровня (называемый средней диспетчеризацией). В результате может быть получена информация о подуровне, включая расход топлива и выбросы, тем самым можно использовать данную информацию для максимизации прибыли (рис. 10).

Оценка спроса

Также одним из условий является расчёт оптимального спроса на продукцию. Лиу в публикации «Оптимальная диспетчеризация виртуальной электростанции с учётом реагирования на спрос и торговли выбросами углерода» утверждает, что внедрение реагирования на спрос может способствовать значительным экономическим выгодам, одновременно повышая безопасность соответствующей энергосистемы. Хорошо продуманный механизм торговли выбросами углерода обеспечивает эффективный способ достижения целей по сокращению выбросов [24].

Лиу в публикации «Оптимальная диспетчеризация виртуальной электростанции с учётом реагирования на спрос и торговли выбросами углерода» представляет схема диспетчеризации ВЭС (виртуальная электростанция) (рис. 11). На основе прогнозируемых результатов выработки возобновляемой энергии и потребности в нагрузке, предоставленной на сутки вперед информации о электромобилях и ценах на электроэнергию и торговлю квотами, ВЭС определяет генерацию мощность газовых турбин в каждый период времени следующего дня, графики зарядки/разрядки электромобилей, графики аварийного восстановления и результаты торговли выбросами углерода [24]. ВЭС может получать экономическую прибыль за счёт передачи избыточной энергии в распределительную сеть и покупки/продажи выбросов углерода.

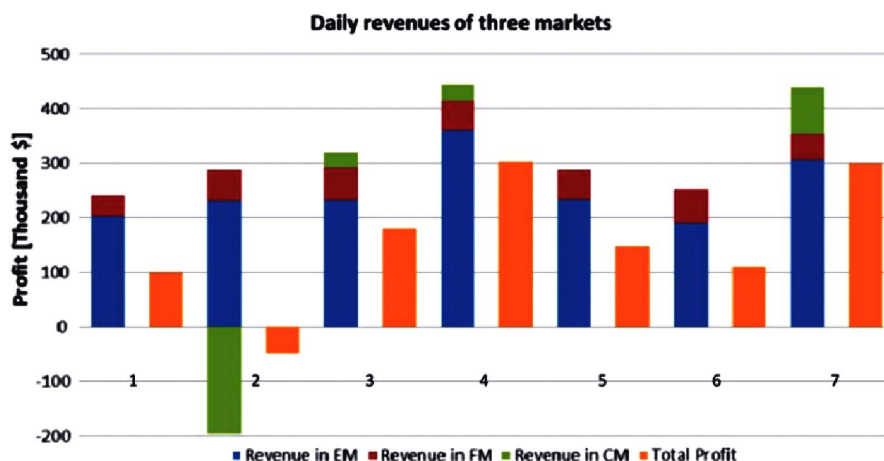


Рисунок 10 – Ежедневные доходы и общая прибыль GENCO [21]

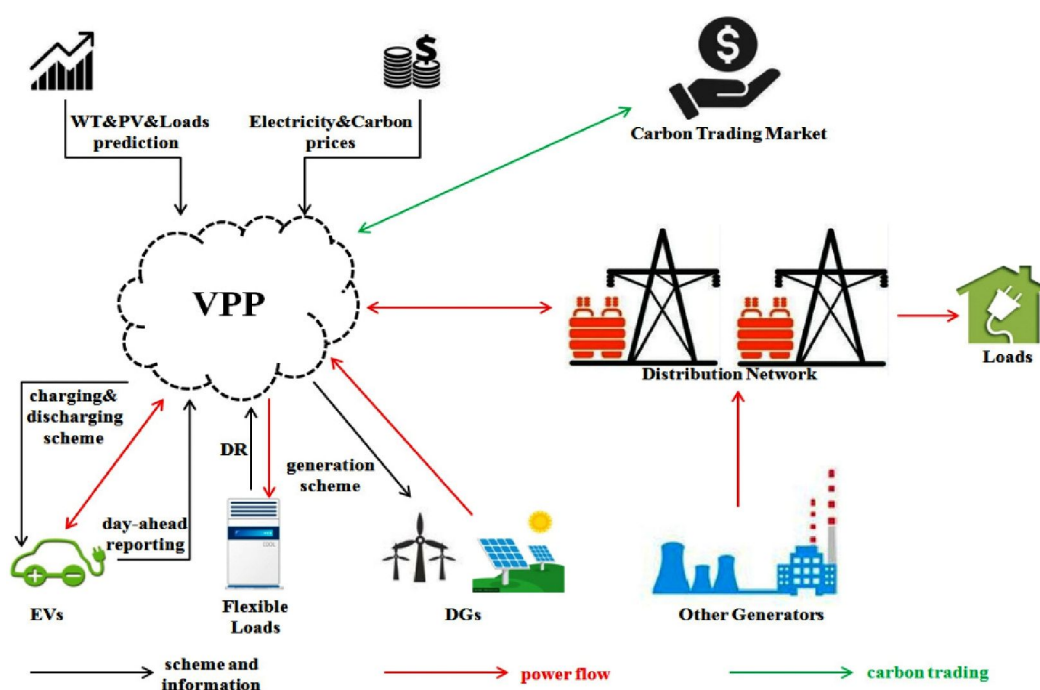


Рисунок 11 – Принцип работы ВЭС [24]

Проблемы эффективного использования системы торговли выбросами

В целом можно выделить следующие актуальные проблемы эффективного использования СТВ:

1. Расчёт углеродного баланса сложен, а его базовая линия рассматривается как прогноз, что делает его предметом игр и манипуляций и уязвимым для искусственных добавлений.

2. Рынки торговли углеродом характеризуются коррупцией и отсутствием прозрачности. Фирмы не контролируются и не имеют доступа к своим системам и решениям.

3. Процедура распределения углеродных кредитов сложна. Она включает в себя установление квот на выбросы, целевых показателей сокращения выбросов и механизма распределения квот. Распределение углеродных квот осуществляется через аукционы или свободное распределение – сложный процесс, который зависит от многих факторов, включая пороговые значения, установленные центральными органами, исторические уровни активности и уровень утечки углерода. Кроме того, этими квотами легко манипулировать, поскольку они распределяются через центральный орган.

4. Торговля углеродом позволяет приобретать больше углеродных кредитов, позволяя более сильным или богатым странам загрязнять больше. Власть богатых стран и богатых корпораций позволяет им покупать и продавать углеродные кредиты в

обмен на собственную прибыль, не обращая внимания на более широкие негативные последствия.

5. Торговля углеродными квотами характеризуется отсутствием стандартизированных инструментов измерения и невозможностью отслеживать выбросы. Это приводит к путанице и неопределённости. Система торговли квотами на выбросы углерода должна использовать единый контроль выбросов, который может регулировать торговлю выбросами.

6. Единого рынка для торговли углеродом не существует. Рынки торговли квотами на выбросы углерода разрознены, имеют различную политику и недостаточную координацию и согласованность между ними, что приводит к неэффективности рынка торговли квотами на выбросы углерода.

7. Рынки торговли углеродом очень сложны и требуют высоких транзакционных издержек, что может привести к уменьшению числа участников.

Касаемо данных проблем, было проведено ряд исследований, по результатам которых можно сделать вывод, что данные проблемы могут быть решены или частично, или вовсе не решены долгое время.

Предвзятое регулирование цен

Например, большим вопросом сегодня является правильное регулирования цен на квоты. Используя слишком высокие цены, правительства будут стремиться продать их в первую очередь, а слишком низкие не будут достаточно стимулировать участников к торговле. Данное поле открывает возможность для манипулирования рынками CO₂, используя статистические модели и данные о выбросах по секторам, ЕС СТВ, Байер и Аклин в публикации «Система торговли выбросами Европейского союза сократила выбросы CO₂, несмотря на низкие цены» обнаружили, что в 2015 году можно было бы сэкономить более 1 миллиарда тонн CO₂ (рис. 12) [4].

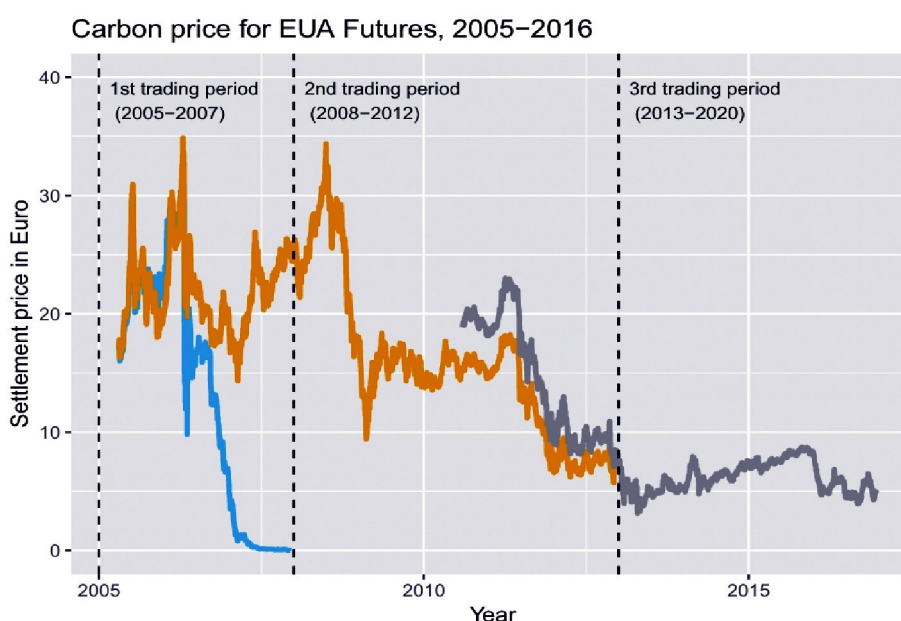


Рисунок 12 – Цена CO₂ (2005–2016 гг.) [4]

Изменение нормативной базы

Также большой проблемой остается частое изменение нормативной базы, что влияет на бизнес многих компаний и политики правительств касаясь СТВ.

Нормативная база ЕС СТВ претерпела ряд изменений. Основными недавними изменениями являются увеличение линейного понижающего коэффициента (LRF), введение Резерва стабильности рынка (MSR) и возможность отмены доплат из MSR, известная как Механизм отмены (CM).

Боклет утверждает в работе «Реформированная ЕТС ЕС – межвременная торговля выбросами с ограниченным банкингом», что ЕТС ЕС фундаментально измени-

лась с увеличением коэффициента линейного сокращения и введением механизма отмены. Исследование смоделировало ЕС СТВ, разложив эффекты отдельных поправок и оценив их экономическую эффективность. В результате авторы отмечают, что банковские поправки к ЕС СТВ оказывают негативное влияние в долгосрочной перспективе: MSR переносит выбросы из настоящего в будущее [5]. Это не повлияет на общую квоту на выбросы, но ограничит на банковские переводы (рис. 13). Если компании воспримут реформу как сигнал об увеличении дефицита квот на выбросы в будущем, они будут покупать больше квот на выбросы уже сегодня, усиливая рост цен в результате реформы и оказывая сильное влияние на международные рынки.

Устойчивое развитие имеет широкую привлекательность и мало конкретики, но во многих попытках его описания обнаруживается некоторая комбинация развития и окружающей среды, а также справедливости [29]. Однако сторонники устойчивого развития различаются в своих акцентах на том, что следует поддерживать, что следует развивать, как связать окружающую среду и развитие и как долго.

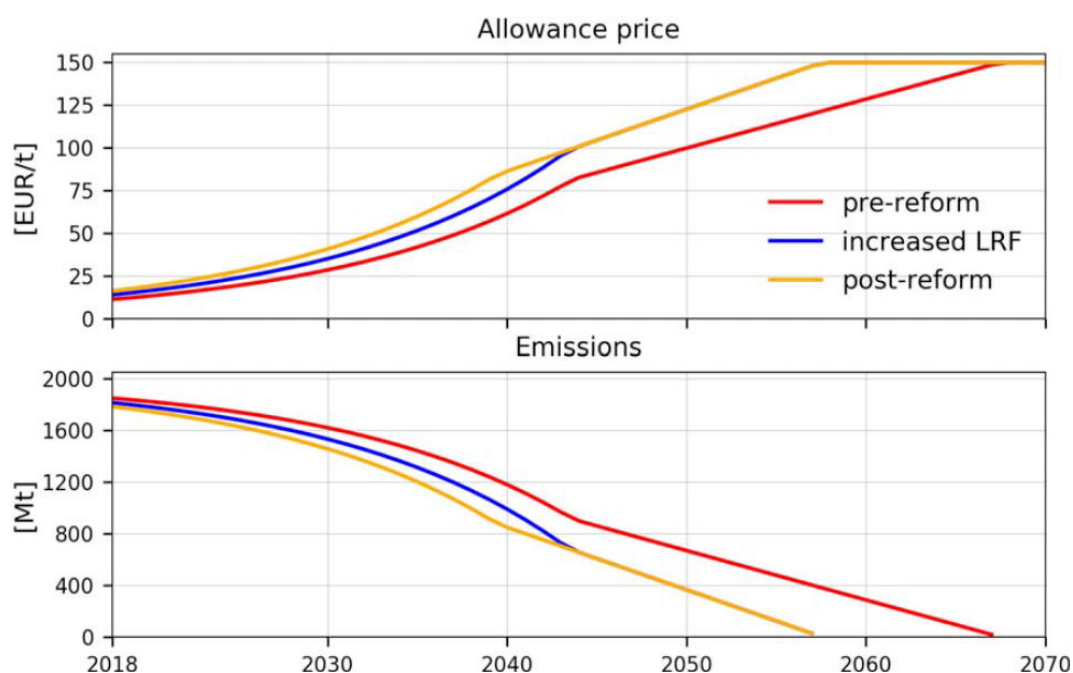


Рисунок 13 – Эффект изменения в результате реформ [5]

Путаница в терминологии

По сей день, не существует общепризнанных наборов показателей, подкреплённых убедительной теорией, тщательным сбором и анализом данных и оказывающих влияние на политику. Это происходит из-за неоднозначности устойчивого развития, множественности целей в характеристике и измерении устойчивого развития, а также путаницы в терминологии, данных и методах измерения. Важным шагом в уменьшении такой путаницы было бы принятие различий в терминологии, данных и методах.

В публикации «Основа для оценки эффективности систем ограничения и торговли квотами: выводы из системы торговли квотами на выбросы Европейского Союза» Фус на основе простой межвременной схемы торговли квотами на выбросы и обзора литературы показывает, что разные концепции и понятия эффективности приводят как к разным оценкам эффективности, так и к разным рекомендуемым стратегиям повышения эффективности. В частности, если системы квот и торговли квотами обладают временной гибкостью (т.е. они включают в себя банковские операции и заимствование разрешений на выбросы), то основывать экономическую оценку на краткосрочной эффективности может ввести в заблуждение. А именно, автор осуждает внедрение ценового воротника, подчеркивая, что политическая стабильность и доверие к ограничениям ЕС СТВ и любому механизму стабилизации цен (MSR) будут зависеть от политической экономии поддержки уровня политических амбиций.

Проблема доверия

MSR устраняет большинство обсуждаемых искажений, проблема обеспечения достоверности остается, поскольку минимальную (и максимальную) цену можно (и, возможно, потребуются) изменить. Предложения по решению этой проблемы включают делегирование корректировок независимому органу. Однако решение проблемы доверия путём делегирования полномочий требует решения ключевых политических проблем. MSR была легко принята, возможно, именно потому, что соответствующим игрокам было ясно, что она не повысит уровень амбиций ЕС СТВ. Учитывая трудности (и вытекающую из этого неопределённость как с точки зрения рентабельности, так и с точки зрения динамической эффективности) обеспечения приверженности правительства ценовому воротнику, необходимы дополнительные исследования для определения оптимальной конструкции этого инструмента [46].

Автор также утверждает, что без определённой политической приверженности ЕС СТВ – или любая другая система ограничения и торговли выбросами парниковых газов – не сможет эффективно способствовать долгосрочной климатической политике [10].

Проблема разных рынков

Система торговли квотами на выбросы Европейского союза (ЕС СТВ) является основным элементом европейской энергетической политики по сокращению выбросов парниковых газов [25]. Однако, как сообщается, повсеместное мошенничество на этом рынке ограничивает полезную роль ЕС СТВ.

Полностью либерализованные рынки электроэнергии встречаются редко, и на практике различные формы регулирования электроэнергетического сектора взаимодействуют с ИТС таким образом, что препятствуют или изменяют реакцию участников на сигналы о распределении цен. Типичный пример – Туркменистан, где государственная компания «Туркменэнерго» контролирует всю систему электроснабжения и поставляет электроэнергию конечным потребителям по сильно заниженным ценам. Конкуренция на рынке электроэнергии существует на самом базовом уровне благодаря присутствию независимых производителей электроэнергии в дополнение к вертикально интегрированным энергетическим компаниям (например, Индонезия, Таиланд). На частично реформированных (или «гибридных») рынках регулирующие органы ограничивают цены на электроэнергию с различными политическими целями и устанавливают требования к объёму, инвестициям и технологиям производственной деятельности компаний (например, Китай, Россия, Казахстан) [1].

Гармонизация государственной поддержки использования низкоуглеродистой энергии с целью создания единого рынка экологически чистой энергии ЕС, возможна при условии выполнения четырёх политических действий для всех стран ЕС: углубленный анализ эффективности, интеграция с протоколами, совместимые руководящие принципы устойчивого развития и оценки воздействия на местном уровне [3].

Перспективные предложения для решения выявленных научных проблем

Проектирование сетей цепей поставок призвано определить оптимальную конфигурацию, которая позволит организации максимизировать свои долгосрочные экономические показатели. Однако, к сожалению, стремление к краткосрочной прибыльности всё ещё признаётся основным фактором при принятии бизнес-решений, что, помимо прочих факторов, привело к нынешней глобальной рецессии. Сегодня ограниченность невозобновляемых ресурсов заставляет компании пересматривать свои стратегии для обеспечения устойчивости своей деятельности.

Блокчейн, полностью совместимый с Индустрией 4.0, обеспечивает характеристики децентрализации, прозрачности, автоматизации и неизменности структуры СТВ. Усовершенствованная система СТВ включает в себя не только органы власти, аудиторов, фирмы, но и отдельных лиц. При поддержке блокчейна и интеллектуальных измерительных устройств выбросы углерода можно было бы легко измерить и записать с меньшими затратами человеческого труда.

Создание низкоуглеродной цепочки поставок

Сбор и переработка использованной продукции (рециклинг, утилизация, сжигание и т.д.) не только увеличивает эксплуатационные расходы, но и приводит к увеличению вы-

бросов парниковых газов (ПГ), что может подорвать долгосрочную устойчивость. Устойчивое развитие признает взаимозависимость трёх аспектов экономической, экологической и социальной деятельности организации [47]. Разработка устойчивых цепочек поставок с помощью схем торговли выбросами представляет собой формальную модель принятия решений, которая учитывает ключевые аспекты устойчивости на протяжении всего жизненного цикла цепочки поставок. В своей публикации «Разработка устойчивых цепочек поставок по схеме торговли квотами на выбросы» Чабане представляет модель, основанную на смешанном целочисленном линейном программировании [6]. Модель используется для оценки компромиссов между экономическими и экологическими целями при различных затратных и операционных стратегиях в алюминиевой промышленности. Результаты показывают, что для реализации значимых экологических стратегий необходимо усилить и гармонизировать действующее законодательство и схемы торговли квотами на выбросы (СТВ) на глобальном уровне.

Включение концепции анализа жизненного цикла на этапе проектирования цепочки поставок позволит максимизировать долгосрочную устойчивость (рис. 14).

Более низкоуглеродные продукты помогают бороться с изменением климата и экологическими проблемами. Правительства рассматривают возможность поощрения инициативы производителей по выпуску продукции с низким содержанием углерода путём предоставления субсидий [44]. Однако когда производитель продаёт продукцию с низким содержанием углерода через платформу электронной коммерции, возникают сомнения в справедливости из-за разницы в прибыли [36].

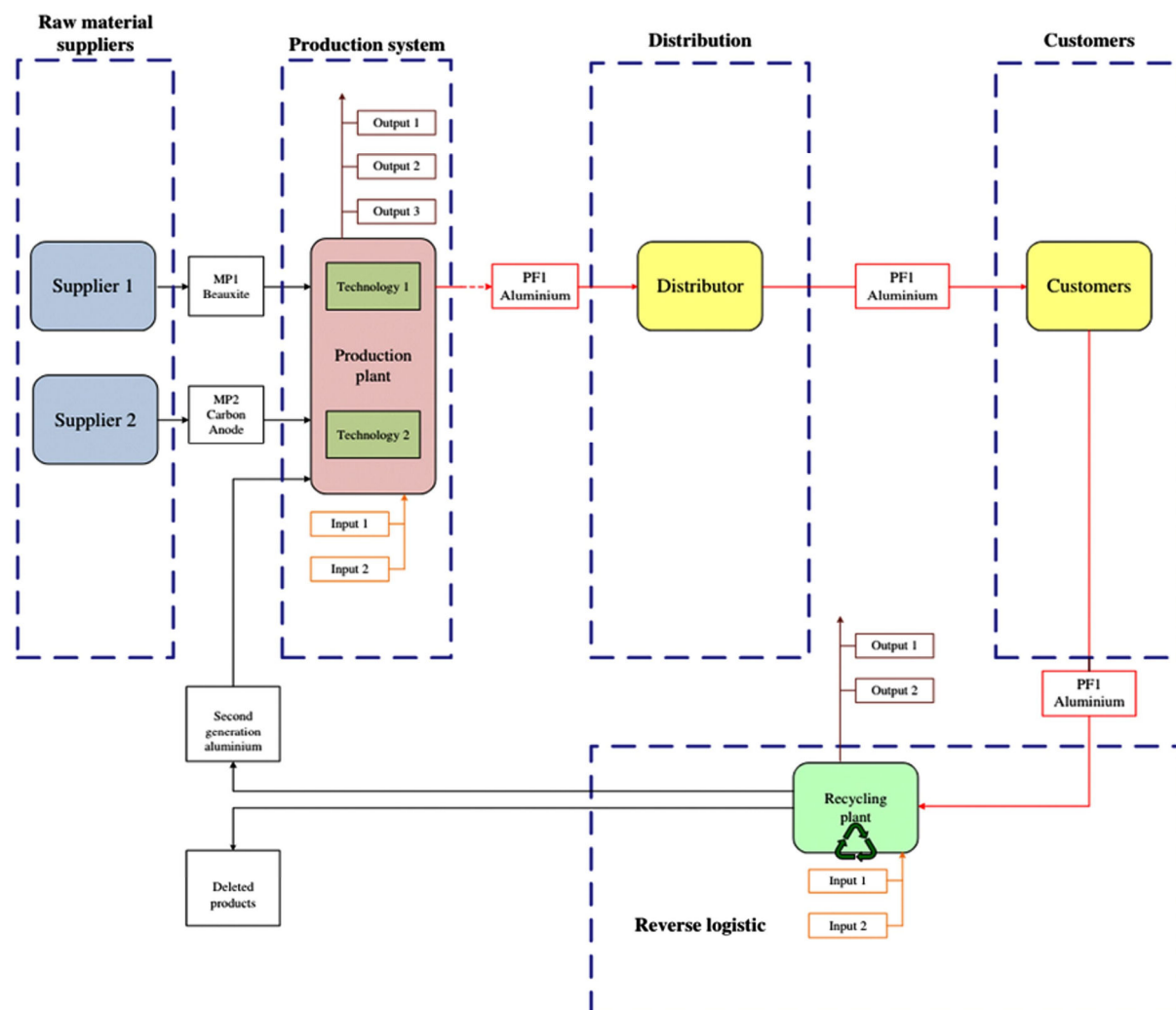


Рисунок 14 – Модель цепочки поставок, основанная на концепции анализа жизненного цикла [6]

В своей публикации «Решение и координация цепочки поставок низкоуглеродной электронной коммерции с государственными углеродными субсидиями и соображениями справедливости» Хан и другие пришли к выводу, что с одной стороны, сокраще-

ние выбросов углерода помогает защитить окружающую среду. С другой стороны, предпочтение потребителями низкоуглеродных продуктов будет способствовать функционированию цепочки поставок низкоуглеродной электронной коммерции [12].

Если потребители предпочитают продукты с низким содержанием углерода, уровень обслуживания, уровень сокращения выбросов углерода, цена продажи и прибыль цепочки поставок будут расти.

Производители могут использовать государственную поддержку углеродных субсидий как привлекательную черту для привлечения потребителей. В качестве хорошего результата можно значительно улучшить цену продукта и уровень сокращения выбросов углерода, что также может привести к тенденции зелёного потребления. Однако поскольку платформа не получает прямых субсидий, уровень её обслуживания не повысился. Тем не менее, повышение прибыли производителей от государственных субсидий может быть перенесено на платформу.

В публикации «Структура и анализ рисков для торговли выбросами в цепочке поставок» Ли помогает связать управление рисками цепочки поставок с управлением выбросами в цепочке поставок, классифицируя выявленные риски по группам рисков цепочки поставок, представляя ресурсы и опыт управления рисками цепочки поставок для содействия внедрению торговли квотами на выбросы в цепочке поставок. Тем самым он прокладывает путь для будущих исследований в области оценки и анализа рисков. Системы мониторинга, анализа и проверки (MRV) ИТС должны быть адаптированы и расширены с учётом масштабов торговли выбросами в цепочке поставок [20].

С постепенной популярностью онлайн-продаж и повышением осведомлённости потребителей о низкоуглеродных технологиях цепочка поставок низкоуглеродной электронной коммерции (LCECSC) быстро развивалась (рис. 15).

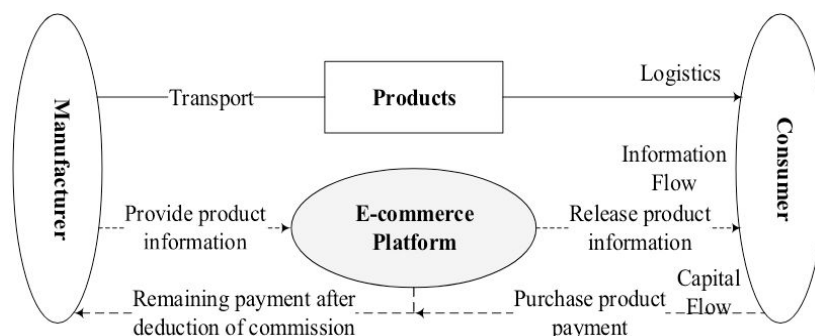


Рисунок 15 – Модельная структура цепочки поставок низкоуглеродной электронной коммерции (LCECSC) [20]

Сравнивая оптимальные решения Лиу в публикации «Альтруистические модели предпочтений цепочки поставок низкоуглеродной электронной коммерции» делает вывод, что хотя цены на продукцию выросли в результате повышения уровня низкоуглеродистой продукции, продажи продукции не снизились в результате повышения цен. Поэтому производителям необходимо продвигать экологически чистую низкоуглеродную продукцию и развивать рынок низкоуглеродного потребления по принципу «небольшая прибыль, но быстрый оборот». В долгосрочной перспективе первоначальные инвестиции производителей приведут к значительному улучшению экономических и экологических показателей [23].

Технология блокчейн как средство решения проблем эффективного использования СТВ

Блокчейн – одна из важных новых технологий в эпоху индустрии 4.0, которая предлагает множество потенциальных приложений для совместной работы и интеграции цепочки поставок [9].

В публикации «Платформа блокчейна для расширенной торговли выбросами в индустрии производства модной одежды» Фу представляет систему BSELF (рис. 16), которая предполагает систематическую и осуществимую оценку выбросов углерода. Выбросы углерода оцениваются по четырём аспектам: предложение, энергия, рабочая сила и отходы [9]. Автор указывает на необходимость функции оценки выбросов углерода для

различных поставок, энергии, отходов и труда должны быть тщательно получены и проанализированы. Нормы выбросов углерода должны устанавливаться беспристрастно.

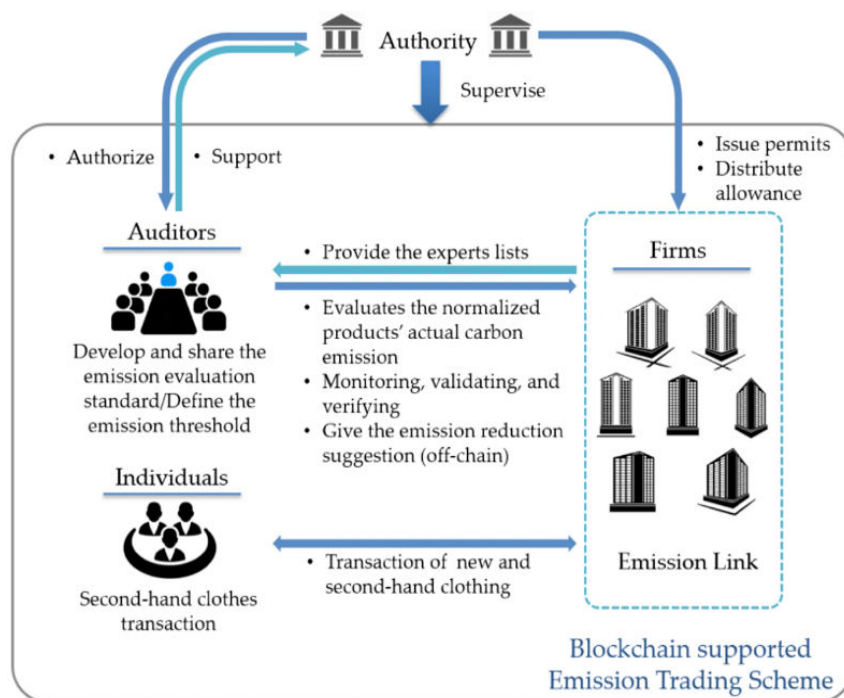


Рисунок 16 – Блокчейн с поддержкой СТВ [9]

Блокчейн обеспечивает автоматизацию, прозрачность и неизменность системы. Результаты также доказывают, что BCELF предлагает значительные улучшения по сравнению с обычной СТВ, особенно с точки зрения экологических характеристик и политической приемлемости.

В ряде исследований технология блокчейн предлагается в качестве важного решения проблем, с которыми сталкиваются схемы выбросов углекислого газа, таких как коррупция, неэффективность и отсутствие доверия. Действительно, по словам Аль Садави в публикации «Иерархическая блокчейн-сеть вещей для единой торговли выбросами углерода (НБУСТВ): концептуальная основа» блокчейн представлен в качестве сильного кандидата для исправления нынешнего рынка торговли углеродом благодаря своим характеристикам сохранения конфиденциальности, неизменяемости, безопасности и прозрачности [2]. Его работа заключается в предоставлении комплексного решения в виде трёхуровневой структуры, состоящей из двух типов блокчейнов (общедоступных и консорциумных). В НБУСТВ широко использовались алгоритмы и коды смарт-контрактов, чтобы обеспечить полную целостность автоматизированного торгового механизма. Результатом является надёжный, унифицированный, глобальный, эффективный и практичный рынок торговли выбросами углерода. Однако даже предложенная им схема имеет свои изъяны, с которыми сталкиваются существующие схемы.

В публикации «Платформа одноранговой торговли на основе блокчейна, объединяющая энергетический и углеродный рынки» Купе предлагает новую структуру одноранговой торговли на основе блокчейна для торговли квотами на энергию и выбросы углерода (рис. 17). Цены торгов/продажи просьюмеров могут напрямую стимулировать изменение поведения потребителей для достижения регионального энергетического баланса и сокращения выбросов углерода [16].

Внедряя технологию блокчейна, фирмы могут сотрудничать друг с другом, чтобы улучшить интеграцию цепочки поставок и одновременно сократить выбросы углерода в цепочке поставок.

В своих исследованиях, представленных в публикации «Технология блокчейн и её роль в расширении возможностей интеграции цепочки поставок и сокращении выбросов углерода: концептуальная основа» Ванг утверждает, что технологию блокчейн можно рассматривать как подход к стратегическому управлению для улучшения интеграции цепочки поставок и сокращения выбросов углерода [43]. Кроме того, его можно ис-

пользовать в качестве рабочего инструмента для отслеживания углеродного следа, оптимизации процессов и повышения эффективности управления выбросами углерода, чтобы минимизировать общие выбросы в цепочках поставок.

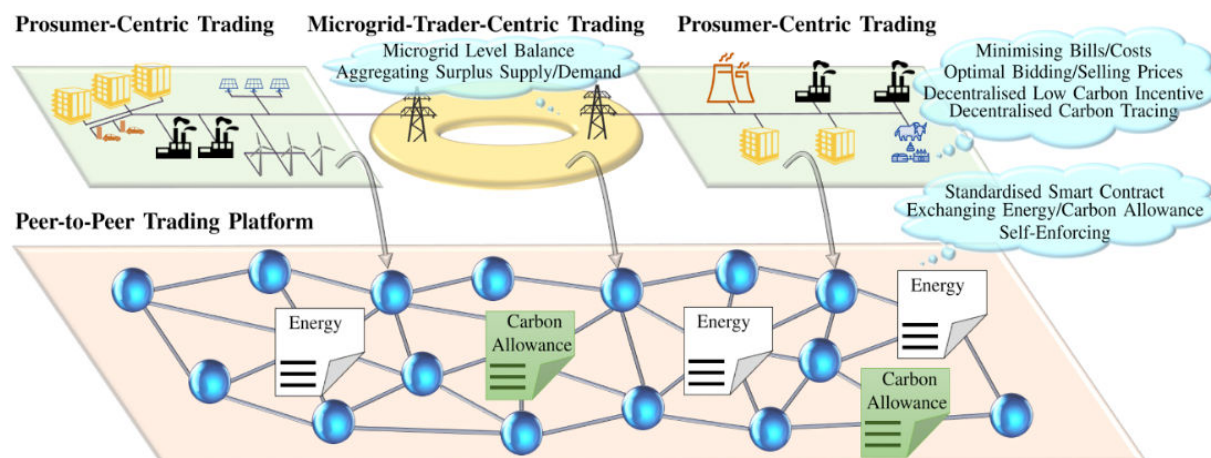


Рисунок 17 – Принцип работы одноранговой торговли на основе блокчейна для торговли квотами [16]

В публикации предлагаемая схема (рис. 18) пытается отразить механизмы, с помощью которых блокчейн влияет на интеграцию цепочки поставок и экологические показатели. Поскольку блокчейн является стратегическим инструментом для сокращения выбросов углекислого газа, эти усилия опосредованы интеграцией цепочки поставок. С другой стороны, в технических системах блокчейн может быть использован непосредственно как рабочий инструмент снижения выбросов углерода, управляя общими выбросами и приводя в конечном итоге к положительным или отрицательным результатам углеродной эффективности. Как упоминалось ранее, преимущества блокчейна заключаются в том, что он может улучшить организационную целостность благодаря неизменяемости данных, прозрачности и отслеживаемости. Экологические показатели определяются по фактическим выбросам углекислого газа.

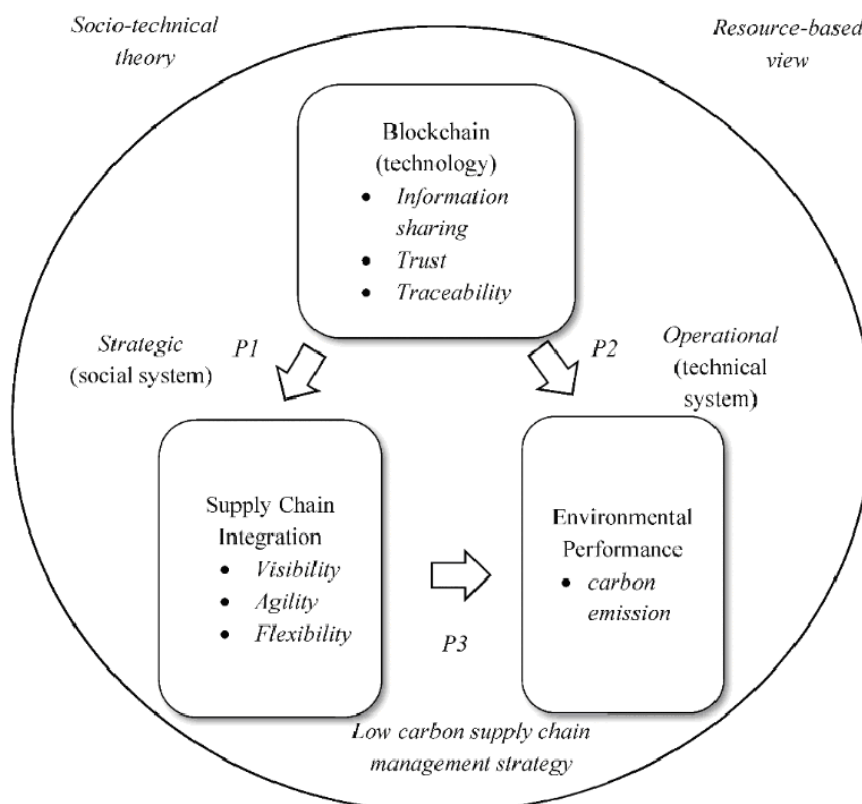


Рисунок 18 – Схема работы блокчейн для создания низкоуглеродной цепочки поставок [33]

Блокчейн используется для расширения возможностей интеграции цепочки поставок и технического прогресса для сокращения выбросов углерода в цепочках поставок. Это обеспечивает низкоуглеродные цепочки поставок. Выбросы углерода являются одним из основных факторов изменения климата. Фирмы должны тесно сотрудничать в цепочках поставок для достижения совместного сокращения выбросов углерода [33].

Сделки осуществляются в соответствии со стандартизированными, самодостаточными смарт-контрактами. Предложенные алгоритмы, ориентированные на потребителя, и микросети, ориентированные на трейдера, позволяют получить оптимальные цены поставок/продаж потребителям и решения о перераспределении энергии. Разработанный децентрализованный механизм стимулирования сокращения выбросов углерода представляет макрополитикам потенциальный план политики по сокращению выбросов углерода в энергетическом секторе. Выполнение смарт-контракта включает инициализацию, сопоставление заявок и предложений, проведение торгов, выбор победителя торгов и обмен правами собственности. Продавец инициализирует смарт-контракт, указывая условия предложения. Покупатель, удовлетворяющий условиям, делает наилучший выбор, размещает ставку на смарт-контракте и вносит её на аукцион. Покупатель с наивысшей ставкой выигрывает аукцион до его окончания. Другие покупатели могут забрать свои вклады из смарт-контракта. Интеллектуальный контракт напрямую связывается с интеллектуальным счётчиком, чтобы обеспечить поставку согласованной энергии и углеродных квот продавцом в согласованное время, и самая высокая ставка покупателя передается продавцу. Все транзакции хранятся, распространяются и проверяются полным узлом для подтверждения подлинности и точности. Проверенные транзакции структурируются в блоки, которые находятся в открытом доступе. Блоки располагаются в хронологической последовательности путём включения хэша предыдущего блока в текущий блок, образуя блокчейн. Проверка достигается коллективно всеми узлами путём достижения консенсуса на основе доказательства работы с использованием безопасного хэш-алгоритма SHA-256 для защиты всех блоков. Входными данными для SHA-256 являются номер блока, нетче, временная метка и хэш предыдущего блока, в то время как результатом SHA-256 является дайджест фиксированной длины в качестве уникального идентификатора блока. Этот уникальный идентификатор гарантируется специально добытым нонсом и коллективной проверкой всех узлов, что делает вычислительно чрезвычайно сложным для злонамеренного узла изменить один блок, который не проверен другим нонсом, или для злонамеренного узла изменить все блоки.

Результаты моделирования Кве показывают, что предлагаемая структура одноранговой торговли способна экспортировать 0,99 кВт·ч ежедневной энергии в основную сеть и экономить 1465,90 г ежедневных выбросов углерода за счёт квоты на выбросы углерода, превосходя по эффективности торговлю на основе агрегатора и централизованную торговлю (рис. 19) [16].

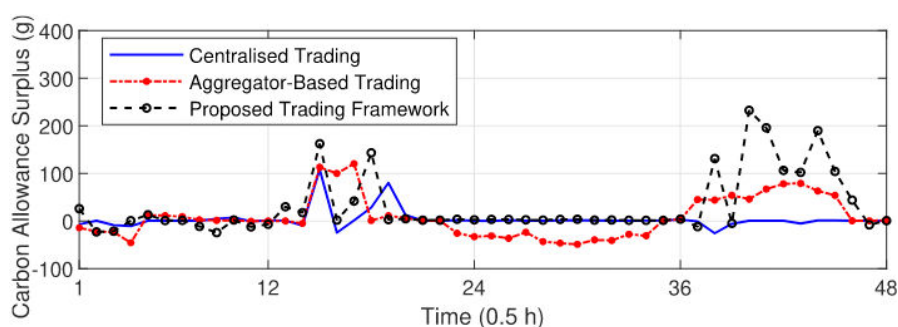


Рисунок 19 – Результаты моделирования одноранговой торговли [16]

Уровни одноранговой торговой платформы призваны обеспечить стандартизированные переговоры и саморегулирование, чтобы покупатели и продавцы могли приступить к торговле энергоресурсами и квотами на выбросы углекислого газа. Эти функции достигаются с помощью смарт-контрактов вида «когда происходит событие, получателю выплачивается сумма валюты на основе самоисполнения».

Также и Мандагоукс в публикации «Европейская система торговли квотами на выбросы, основанная на технологии распределённого реестра: структура оценки» утверждает, что оцифровка ЕС СТВ с помощью технологии распределённого реестра (DLT) позволит проверять подлинность и происхождение, подтверждать право собственности и отслеживать жизненный цикл углеродных сертификатов и активов [25].

В публикации «Применение блокчейна в торговле углеродом» Паном была предложена более безопасная, прозрачная и эффективная модель вкладов на основе блокчейна. Было предложена модель, в которой данные об индивидуальном низкоуглеродном поведении быстро адаптируются в углеродные монеты с помощью высокоинтеллектуальной методологии [28]. Общественность может использовать углеродные монеты для потребления или для финансовых инвестиций в углеродный сектор. В корпоративной торговле углеродом технология блокчейн способствует безопасной записи и передаче информационных потоков, прямым транзакциям между поставщиками и покупателями, «децентрализации» и снижению порога входа на рынок торговли углеродом.

В результате автор утверждает, что углеродный рынок достиг определённого уровня подготовки почвы для продвижения блокчейна. Однако технология и приложения энергетического блокчейна всё ещё находятся в зачаточном состоянии. С одной стороны, технология блокчейн недостаточно развита. Вычислительная мощность и время отклика являются узкими местами. С другой стороны, энергетическая система очень сложна и требует большого количества исследований, политической поддержки и соответствующих человеческих ресурсов. Реализация энергетических блокчейнов ещё очень далека [28].

Заключение

В данном литературном обзоре описаны принципы работы системы торговли выбросами (СТВ), различные модели анализа достижения ЦУР 13 и структуры управления системой, выявлены нерешенные проблемы эффективного использования СТВ и также представлены актуальные перспективные решения данных проблем, основываясь на зарубежных и отечественных публикациях в передовых журналах.

В результате проделанных исследований можно сделать следующие выводы:

- Проблемы изменения климата влияют на многие аспекты жизни людей, более того смягчение последствий изменения климата влияет на 15 из 17 ЦУР. Изменение климата воздействует на экосистемы и антропогенные системы, а также негативно влияет на состояние экономики в долгосрочной перспективе. Наибольший интерес к СТВ различных рынков проявляют страны ЕС и Китай.

- Россия вместе со странами БРИКС входит в десятку крупнейших загрязнителей мира. Однако Россия имеет высокие показатели эффективности достижения ЦУР. У России присутствует большой потенциал энергосбережения. Вопрос энергоэффективности имеет большое значение для российской экономики, а отход от ресурсоориентированной модели является приоритетом для устойчивого роста и устойчивого развития.

- Использование СТВ является эффективным инструментом стимулирования участников, однако не всегда работает эффективно. В научном сообществе также нет устоявшегося мнения о роли системы. Присутствует большой скептицизм относительно эффективности моделей и принципов работы технологии. Для эффективного использования СТВ необходимо выполнения ряда условий, таких как: создание правильной инфраструктуры, регулирование по гипотезе портера, активное участие правительства, правильная оценка климатического состояния, оценка спроса на электроэнергию. Согласно анализу, использование моделей и соблюдение принципов, представленных в работе, могут значительно упростить выполнение данных условий.

- Создание низкоуглеродной цепочки поставок помогает эффективно бороться с изменением климата и экологическими проблемами. Разработка устойчивых цепочек поставок с помощью схем торговли выбросами представляет собой формальную модель принятия решений, которая учитывает ключевые аспекты устойчивости на протяжении всего жизненного цикла цепочки поставок. Для создания подобной цепочки необходимо гармонизация законодательства и СТВ на глобальном уровне. В работе представлены модели подобных структур цепочек поставок.

- У СТВ есть ряд проблем, которые приводят к экономическим издержкам, таких как: предвзятое регулирование цен, изменение нормативной базы, путаница в терминологии, проблема доверия. Данные проблемы отражают разность рынков углеводородов и невозможность создание одного оптимального алгоритма для всех стран-участников из-за разных политических и социальных взглядов.
- Технология СТВ обладает рядом принципиальных проблем, которые усложняют процесс и тем самым делают технологию менее эффективной. К данным проблемам можно отнести: сложность расчёта углеродного баланса, коррумпированность рынков, сложность распределения углеродных кредитов, использование денежных средств для больших загрязнений, отсутствие стандартизированных инструментов измерения и невозможность отслеживать выбросы, отсутствие единого рынка, высокие транзакционные издержки.
- Наиболее перспективной технологии для улучшения СТВ сегодня является технология блокчейн. Блокчейн обеспечивает автоматизацию, прозрачность и неизменность системы, тем самым решая принципиальные проблемы СТВ, представленные выше. В научном сообществе представлены ряд уникальных схем принципов работы СТВ на основе данного децентрализованного реестра.
- Технология блокчейн также может помочь создать устойчивую низкоуглеродную цепочку поставок с помощью отслеживания углеродного следа, оптимизации процессов и повышения эффективности управления выбросами углерода, чтобы минимизировать общие выбросы в цепочках поставок. Однако технология и приложения энергетического блокчейна всё ещё находятся в зачаточном состоянии.

Литература / References

1. Emissions trading in regulated electricity market / W. Acworth [et al.] // *Climate Policy*. – 2020. – № 20(1). – P. 60–70. – URL : <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1682491>
2. A Hierarchical Blockchain of Things Network For Unified Carbon Emission Trading (HBUCTB): A Conceptual Framework / A. Al Sadawi [et al.] // *IEEE, Operations and Decisions (ICTMOD)*. – 2020. – № 1-7. – URL : <https://doi.org/10.1109/ICTMOD49425.2020.9380610>
3. Biomass for energy in the EC / M. Banja [et al.] // *The support framework. Energy Policy*. – 2019. – № 131. – P. 215–228. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.038>
4. Bayer P., Akin M. The European Union Emissions Trading System reduced CO₂ emissions despite low prices // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2020. – № 117(16). – P. 8804–8812. – URL : <https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117>
5. The reformed EC ETS – Intertemporal emission trading with restricted banking / J. Bocklet [et al.] // *Energy Economics*. – 2019. – № 84. – P. 104486. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104486>
6. Chaabane A., Ramudhin A., Paquet M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme // *International Journal of Production Economics*. – 2012. – № 135(1). – P. 37–49. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.025>
7. Chattopadhyay D. An energy brokerage system with emission trading and allocation of cost savings // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 1995. – № 10(4). – P. 1939–1945. – URL : <https://doi.org/10.1109/59.476061>
8. Cronin J., Anandarajah G., Dessens O. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps // *Climatic Change*. – 2018. – № 151(2). – P. 79–93. – URL : <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2265-4>
9. Fu B., Shu Z., Liu X. Blockchain Enhanced Emission Trading Framework in Fashion Apparel Manufacturing Industry // *Sustainability*. – 2018. – № 10(4). – P. 1105. – URL : <https://doi.org/10.3390/su10041105>
10. A Framework for Assessing the Performance of Cap-and-Trade Systems / S. Fuss [et al.] // *Review of Environmental Economics and Policy*. – 2018. – № 12(2). – P. 220–241. – URL : <https://doi.org/10.1093/reep/rey010>
11. Best Available Techniques, Energy Efficiency Enhancement and Carbon Emissions Reduction / T. Guseva [et al.] // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. – 2019. – № 19(5.1). – P. 63–70. – URL : <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1/S20.008>
12. Decision and Coordination of Low-Carbon E-Commerce Supply Chain with Government Carbon Subsidies and Fairness Concerns / Q. Han [et al.] // *Complexity*. – 2020. – e1974942. – URL : <https://doi.org/10.1155/2020/1974942>

13. Theoretical Framework for the Carbon Emissions Effects of Technological Progress and Renewable Energy Consumption / F.J. Hasanov [et al.] // *Sustainable Development*. – 2021. – № 29(5). – P. 810–822. – URL : <https://doi.org/10.1002/sd.2175>
14. Bootstrap ARDL Test on the Relationship among Trade, FDI, and CO2 Emissions: Based on the Experience of BRICS Countries / F. He [et al.] // *Sustainability*. – 2020. – № 12(3). – P. 1060. – URL : <https://doi.org/10.3390/su12031060>
15. Hepburn C. Carbon Trading: A Review of the Kyoto Mechanisms // *Annual Review of Environment and Resources*. – 2007. – № 32(1). – P. 375–393. – URL : <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.053006.141203>
16. A blockchain based peer-to-peer trading framework integrating energy and carbon markCTB / W. Hua [et al.] // *Applied Energy*. – 2020. № 279. – P. 115539. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115539>
17. Huang J., Shen J., Miao L. Carbon Emissions Trading and Sustainable Development in China: Empirical Analysis Based on the Coupling Coordination Degree Model // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – № 18(1). – P. 89. – URL : <https://doi.org/10.3390/ijerph18010089>
18. Transitioning to Low-Carbon Economies under the 2030 Agenda: Minimizing Trade-Offs and Enhancing Co-Benefits of Climate-Change Action for the SDGs / G.I. Iacobuță [et al.] // *Sustainability*. – 2021. – № 13(19). – P. 10774. – URL : <https://doi.org/10.3390/su131910774>
19. Sustainable development goals: Their impacts on forests and people / P. Katila [et al.] // *Sustainable Development Goals*. – 2019. – P. 617. – DOI: 10.1017/9781108765015
20. Leining C., Kerr S., Bruce-Brand B. The New Zealand Emissions Trading Scheme: critical review and future outlook for three design innovations // *Climate Policy*. – 2020. – № 20(2). – P. 246–264. – URL : <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1699773>
21. Li F., Schwarz L., Haasis H.D. A framework and risk analysis for supply chain emission trading // *Logistics Research*. – 2017. – № 9(1). – P. 10. – URL : <https://doi.org/10.1007/s12159-016-0135-x>
22. A Multimarket Decision-Making Framework for GENCO Considering Emission Trading Scheme / X.R. Li [et al.] // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2013. – № 28(4). – P. 4099–4108. – URL : <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2264329>
23. Liu J., Zhang X., Song X. Regional carbon emission evolution mechanism and its prediction approach driven by carbon trading – A case study of Beijing // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – № 172. – P. 2793–2810. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.133>
24. Liu J., Zhou L., Wang Y. Altruistic Preference Models of Low-Carbon E-Commerce Supply Chain // *Mathematics*. – 2021. – № 9(14). – P. 1682. – URL : <https://doi.org/10.3390/math9141682>
25. Optimal Dispatch of a Virtual Power Plant Considering Demand Response and Carbon Trading / Z. Liu [et al.] // *Energies*. – 2018. – № 11(6). – P. 1488. – URL : <https://doi.org/10.3390/en11061488>
26. Mandaroux R., Dong C., Li G. A European Emissions Trading System Powered by Distributed Ledger Technology: An Evaluation Framework // *Sustainability*. – 2021. – № 13(4). – P. 2106. – URL : <https://doi.org/10.3390/su13042106>
27. Improvement of Russian energy efficiency strategy within the framework of «green economy» concept (based on the analysis of experience of foreign countries) / L. Matraeva [et al.] // *Energy Policy*. – 2019. – № 125. – P. 478–486. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.049>
28. Mitrova T., Melnikov Y. Energy transition in Russia // *Energy Transitions*. – 2019. – № 3(1). – P. 73–80. – URL : <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
29. Application of Blockchain in Carbon Trading / Y. Pan [et al.] // *Energy Procedia*. – 2019. – № 158. – P. 4286–4291. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.509>
30. Parris T.M., Kates R.W. Characterizing and Measuring Sustainable Development // *Annual Review of Environment and Resources*. – 2003. – № 28(1). – P. 559–586. – URL : <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105551>
31. Climate Change 2022 / H.O. Rama [et al.] // *Impacts*. – 2022. – № 14. – P. 71–80. – URL : <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
32. Asymmetric inter-linkages between green technology innovation and consumption-based carbon emissions in BRICS countries using quantile-on-quantile framework / A. Razzaq [et al.] // *Technology in Society*. – 2021. – № 66. – P. 101656. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101656>
33. Richard S.J. The Economic Impacts of Climate Change // *Review of Environmental Economics and Policy*. – 2018. – № 12(1). – P. 4–25. – URL : <https://doi.org/10.1093/reep/rex027>
34. Sustainable Development Report 2021 / J. Sachs [et al.] // Cambridge University Press. – 2021. – URL : <https://doi.org/10.1017/9781009106559>

35. Trade-offs between social and environmental Sustainable Development Goals / L. Scherer [et al.] // *Environmental Science & Policy*. – 2018. – № 90. – P. 65–72. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.002>
36. Carbon Trading Mechanism, Low-Carbon E-Commerce Supply Chain and Sustainable Development / L. Shen [et al.] // *Mathematics*. – 2021. – № 9(15). – P. 1717. – URL : <https://doi.org/10.3390/math9151717>
37. Silvestre B.S., Țîrcă D.M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – № 208. – P. 325–332. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.244>
38. Solaun K., & Cerdá E. Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2019. – № 116. – P. 109415. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109415>
39. Quantitative models in emission trading system research: A literature review / L. Tang [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2020. – № 132. – P. 110052. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110052>
40. Infrastructure for sustainable development / S. Thacker [et al.] // *Nature Sustainability*. – 2019. – № 2(4). – P. 324–331. – URL : <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0256-8>
41. Tomislav K. The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues // *Zagreb International Review of Economics & Business*. – 2018. – № 21(1). – P. 67–94. – URL : <https://doi.org/10.2478/zireb-2018-0005>
42. Can a carbon trading system promote the transformation of a low-carbon economy under the framework of the porter hypothesis? Empirical analysis based on the PSM-DID method / H. Wang [et al.] // *Energy Policy*. – 2019. – № 129. – P. 930–938. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.007>
43. Wang M., Wang B., Abareshi A. Blockchain Technology and Its Role in Enhancing Supply Chain Integration Capability and Reducing Carbon Emission: A Conceptual Framework // *Sustainability*. – 2020. – № 12(24). – P. 10550. – URL : <https://doi.org/10.3390/su122410550>
44. Wang W., Wang S., Su J. Integrated Production and Transportation Scheduling in E-Commerce Supply Chain with Carbon Emission Constraints // *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. – 2021. – № 16(7). – P. 2554–2570. – URL : <https://doi.org/10.3390/jtaer16070140>
45. Wang Z., Zhao J., Li M. Analysis and optimization of carbon trading mechanism for renewable energy application in buildings // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – № 73. – P. 435–451. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.094>
46. Reduction Effect and Mechanism Analysis of Carbon Trading Policy on Carbon Emissions from Land Use / Q. Xia [et al.] // *Sustainability*. – 2021. – № 13(17). – P. 9558. – URL : <https://doi.org/10.3390/su13179558>
47. Zhang Y., Guo C., Wang L. Supply Chain Strategy Analysis of Low Carbon Subsidy Policies Based on Carbon Trading // *Sustainability*. – 2020. – № 12(9). – P. 3532. – URL : <https://doi.org/10.3390/su12093532>
48. The effect of emission trading policy on carbon emission reduction: Evidence from an integrated study of pilot regions in China / Y. Zhang [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – № 265. – P. 121843. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121843>
49. Zhang Y., Zhang J. Estimating the impacts of emissions trading scheme on low-carbon development // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – № 238. – P. 117913. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117913>
50. The Sustainable Development of the Economic-Energy-Environment (3E) System under the Carbon Trading (CT) Mechanism: A Chinese Case / X. Zhao [et al.] // *Sustainability*. – 2018. – № 10(1). – P. 98. – URL : <https://doi.org/10.3390/su10010098>