

УДК 620.9

СЦЕНАРИИ УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

© 2024 г. А. В. Шигина*, А. В. Кейко**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт энергетических исследований РАН, Москва, Россия*

e-mail: shigina_av@mail.ru**e-mail: a.keiko@eriras.ru*

Поступила в редакцию 23.11.2023 г.

После доработки 19.07.2024 г.

Принята к публикации 22.07.2024 г.

Обновленная Климатическая доктрина подтвердила намерение по достижению углеродной нейтральности российской экономики, сохранив неопределенность в выборе траектории ее достижения. Необходимых изменений в структуре технологий генерации и потребления энергии можно добиться с помощью различных инструментов углеродного регулирования, выбор которых определит темпы и стоимость низкоуглеродного перехода. Возникла насущная необходимость сопоставить эффективность различных мер углеродного регулирования для условий России. В частности, следует выбрать оптимальное сочетание мер, одновременно обеспечивающее целевое снижение выбросов парниковых газов и доступность энергии и топлива для потребителей. В статье сформулированы несколько сценариев углеродного регулирования, сочетающих административные, фискальные и(или) внутриэкономические меры и разработанных на основании сравнительного анализа мирового опыта, проведенных ранее исследований и существующих правовых заделов в области климатической политики. Обсуждены возможные способы описания отдельных мер в рамках системных технологических моделей (СТМ) для рассмотрения предложенных сценариев и их влияния на структуру энергетических технологий. Показано, что слабым местом и источником неопределенности в исследовании сценариев углеродного регулирования может стать прогноз влияния растущих климатических затрат в энергетике и топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) на объем и структуру энергопотребления в отраслях экономики.

Ключевые слова: углеродное регулирование, низкоуглеродное развитие, системное моделирование, декарбонизация

DOI: 10.31857/S0002331024030083

ВВЕДЕНИЕ

Ревизия климатической политики естественным образом произошла в России в связи с усложнением мировой экономико-политической ситуации. Стало очевидно,

что меры по борьбе с изменением климата в краткосрочной перспективе представляют чуть ли не большую угрозу, чем сами климатические изменения, особенно для предприятий ТЭК [1]. В энергетике к традиционным вопросам удельной стоимости топлива и энергии, надежности систем и экологии добавились новые — смена географии поставок, импортозамещение, доступность ресурсов для ряда критических материалов. Число независимых факторов и ограничений, влияющих на выбор состава климатических мер в энергетике, не поддается умозрительному анализу. Поэтому планирование системы мер углеродного регулирования, обеспечивающей гармоничное социально-экономическое развитие, возможно лишь на основании результатов системного моделирования [2], позволяющего анализировать возможные последствия такого регулирования с экономических, социальных, технологических и других позиций.

За время, прошедшее с момента принятия в 1992 г. Рамочной конвенции ООН по изменению климата (UNFCCC), в мире предложено более 20 разновидностей административных, фискальных, экономических механизмов, направленных на стимулирование сокращения выбросов парниковых газов (ПГ) [3]. Среди наиболее распространенных и апробированных из них — углеродные налоги и системы торговли квотами на выбросы ПГ (СТВ). Для электроэнергетики важны также сертификаты происхождения энергии.

Углеродное налогообложение применяется более чем в 30 странах мира, а его объектом могут быть как выбросы ПГ, так и поступающий в экономику углерод. В последнем случае, базу налогообложения составляет количество углерода при добыче или импорте энергоресурсов. Ставка налога может быть единой для всего ископаемого топлива (Канада, Словения) или дифференцированной для его отдельных видов, например, таких как моторное топливо на транспорте (Финляндия, Ирландия) или фторсодержащие ПГ (Исландия, Дания).

Крупнейшие в мире СТВ действуют в Европейском союзе (с 2005 г.) и Китае (с 2021 г.). Обе охватывают предприятия электроэнергетики, при этом в Китае квоты предоставляются бесплатно, а в ЕС они имеют цену первичного размещения, величину которой регулярно критикуют с обеих сторон. Пересмотр количества и распределения квот служит регулированию скорости энергетического перехода, стимулируя либо ускоренную декарбонизацию, либо экономический рост. Например, в ЕС считают, что ежегодное сокращение количества квот на 4,3–4,4% до 2030 г. позволит Евросоюзу достичь промежуточной цели по сокращению выбросов ПГ на не менее чем 55% на пути к полной углеродной нейтральности в 2050 г.

Сертификаты, выдаваемые по факту производства низкоуглеродной электроэнергии, являются механизмом софинансирования при создании безуглеродной генерации. По данным агентства IRENA, не менее 50% возобновляемой энергии, вырабатываемой в США и ЕС, поддержано по программе зеленых сертификатов. Покупка сертификатов может быть как добровольной, так и вынужденной (Великобритания, Италия, Швеция, Бельгия), если государство обязывает производителей, импортеров, поставщиков или потребителей энергии использовать их.

Становление углеродного регулирования в России протекает пока несколько хаотично и тяготеет к экономическим (рыночным) инструментам, создающим для эмитентов более мягкие условия сокращения выбросов ПГ, чем административные и фискальные меры. Запущен национальный добровольный рынок углеродных единиц, проводятся эксперименты по созданию региональных СТВ, участниками

которых являются избранные регулируемые организации, намечено укрупнить СТВ до межрегионального уровня. Поправками в Федеральный закон “Об электроэнергетике” создана правовая основа для системы сертификации низкоуглеродных источников энергии, включая АЭС, ГЭС и ВИЭ, и добровольного рынка зеленых сертификатов. Пропорции в применении разных механизмов регулирования, а также достигаемые темпы снижения выбросов пока не оценивали.

Единого подхода к построению сценариев национального низкоуглеродного развития в настоящий момент не существует, что затрудняет глобальный диалог. Основные противоречия связаны с (а) оценкой достаточности мероприятий по сокращению выбросов отдельными странами для достижения глобальных климатических целей, (б) влиянием низкоуглеродной трансформации на экономическое развитие и (в) международным распределением бремени климатических мер. Попытки систематизировать национальный опыт низкоуглеродного развития предприняты в ряде международных проектов, например, CD-LINKS [4], COMMIT [5], DDPP [6]. Весьма взвешенный подход демонстрирует международная научная организация The Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC), объединяющая 67 ведущих мировых центров и лабораторий из 38 стран, которая моделирует низкоуглеродное развитие и разрабатывает подходы к комплексной оценке его результатов.

На международном уровне широко развиваются добровольные углеродные рынки углеродных единиц как верифицированных результатов реализации климатических проектов. Помимо признанных “классиков”, таких как The Gold Standard и Verra, основанных в середине 2000-х, за последние 10 лет появилось множество добровольных программ сокращения выбросов ПГ, принимающих климатические проекты безотносительно территориальной принадлежности. К их числу относятся, например, Global Carbon Council (2016), Cercarbono (2016), The International Carbon Registry (2021), а также программы, допускающие регистрацию только природных климатических проектов, среди которых Regen Network (2018) и SocialCarbon (2022). Кроме того, в 2023 году анонсировано создание Africa Voluntary Carbon Credits Market (AVCCM), а также объявлена готовность к перезапуску China Voluntary GHG Program (CCER) после 6-летнего простоя, связанного с первоначальным несовершенством ключевых регуляторных правил.

Варианты декарбонизации экономики России были предметом исследования в НИУ ВШЭ [7, 8], УрФУ [9], ИНП РАН [10], ИСЭМ СО РАН [11], ИНЭИ РАН [12], ЦЭНЭФ-XXI [13, 14], АНО “Центр энергетических систем будущего “Энерджинет” [15], Центре устойчивого развития Школы управления Сколково [16, 17]. Приоритизация секторов и отдельных технологий рассматривалась также в [18, 19]. В этих работах определены некоторые важные границы в области низкоуглеродного развития. Вместе с тем в их задачи не входило исследование сочетаний мер углеродного регулирования, их эффективности и влияния на технологическую структуру отрасли. Это обусловлено использованием преимущественно макроэкономических подходов, которым свойственно очень общее описание углеродного регулирования (чаще всего, в виде платы за углерод) без разделения на конкретные инструменты.

Углеродное регулирование изменяет расклад сил на энергетических рынках, связывая конкурентоспособность энергетических ресурсов с их углеродоёмкостью, а технологий — с их углеродной интенсивностью. По данным Всемирного банка [20], в более чем половине стран действует две и более обязательные меры, стимулирующие сокращение выбросов ПГ, не считая международных добровольных углеродных рынков. Моделирование всех возможных сочетаний мер углеродного регулирования

нецелесообразно ввиду большого числа вариантов (более 70), а учет в расчетах лишь платы за углерод далек от реальности. В свете всего сказанного выше, для российского ТЭК важно как можно раньше определить оптимальный состав мер углеродного регулирования, способный обеспечить баланс между эффективностью сокращения выбросов и приемлемыми темпами экономического развития.

Цель настоящей работы состоит в обосновании счетного числа сценариев углеродного регулирования, реализация которых окажет прямое воздействие на ТЭК России. Для достижения поставленной цели необходимо сузить множество существующих внутриэкономических мер, привести их обобщенное описание, а также сформулировать варианты национальной системы углеродного регулирования с учетом особенностей энергетики России и климатических амбиций.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сопоставление сценариев углеродного регулирования предполагает использование СТМ (в составе МИК SCANNER [21]) для многокритериальной оптимизации технологического развития энергетики. Отличительные особенности СТМ относительно других типов системных энергетических моделей охарактеризованы в [22]. Исходные данные, необходимые для анализа влияния углеродного регулирования на структуру технологий, включают статистические сведения о ресурсах и нагрузках для инерционного сценария развития экономики России. Сведения о современных и перспективных свойствах макротехнологий производства и преобразования энергоносителей получены в ИНЭИ РАН экстраполяцией консервативных ретроспективных рядов. Адаптация механизмов углеродного регулирования к условиям России заключается в выборе множества подпадающих под регулирование эмитентов и варьировании ставок углеродных платежей в реалистичном для России диапазоне. По данным Всемирного банка, фактический разброс стоимости тонны CO_2 в мире (от менее 1\$ до более 150\$) кратно больше достаточно широкого коридора, рекомендованного для достижения целей Парижского соглашения и составляющего около 69–122 долл./т CO_2 к 2030 году (в пересчете на долл. США 2023 г.) [23]. При этом в российских сценариях декарбонизации встречаются величины платы за углерод от 0 до 59 долл./т CO_2 в 2030 году с ежегодным ростом в диапазоне 0–5 долл./т CO_2 . Принципы учета основных механизмов углеродного регулирования при моделировании развития энергетики представлены в [24] и позволяют органически включить в СТМ удельный показатель углеродоемкости производства электрической и(или) тепловой энергии как фактор конкурентоспособности технологий.

В свою очередь, структура технологий, полученная в результате оптимизации по экономическим критериям с учетом ограниченности объемов вводов, должна быть критически оценена с позиций диверсификации энергобаланса, локализации производства энергетического оборудования, материалоемкости и потребности в критическом сырье, а также системных издержек. Эти оценки относятся к замодельной постобработке результатов.

Принятая методика не лишена недостатков, в частности, она учитывает только внутриэкономические меры углеродного регулирования и не учитывает международные. Ограничения в использовании доступной мировой статистики обусловлены различиями в охвате экономических секторов, применяемых методах распределения выбросов ПГ по отраслям, возможностях компенсации (offsetting), а также наличия исключений и особых регламентов для избранных эмитентов. Сужение

количества усредняемых данных за счет выборки стран с сырьевой экономикой, наиболее близких между собой по параметрам углеродного регулирования и, в некотором приближении, схожих с Россией по макроэкономическим показателям, не позволяет разрешить это ограничение ввиду географической уникальности и сопутствующих особенностей экономики нашей страны (например, холодного климата, высокой стоимости кредита и низкой стоимости ископаемых энергоресурсов), а также изменчивого характера внешнеэкономических отношений. Вместе с тем в условиях отсутствия оценок влияния различных сочетаний мер на структуру технологий в российской энергетике наиболее оправдано начинать с малого. К традиционным трудностям моделирования технологической структуры добавились новые “санкционные”. Они выражаются в нарушении свободного международного обмена технологиями, влекущими искажение данных об удельной стоимости установленной мощности для условий России.

Функционирование добровольного углеродного рынка в России пока не устоялось, отчасти ввиду незавершенности переговоров о его международном признании и взаимной интеграции с иностранными рынками. Кроме того, при составлении сценариев углеродного регулирования изначально следует учитывать ограничения линейного программирования, присущие СТМ, в частности, невозможность учесть рыночное поведение участников оборота углеродных единиц. Как следствие, добровольный углеродный рынок в составе возможных сценариев не рассматривается.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате исследования сформированы шесть сценариев углеродного регулирования, предназначенных для формализации средствами СТМ. Перечень разработанных сценариев представлен в табл. 1. Распространенный подход предполагает начинать исследование совокупности факторов с рассмотрения крайних точек, т.е. для вариантов введения каждой из рассматриваемых мер углеродного регулирования по отдельности. Этот шаг не нуждается в подробном объяснении. Выбор сочетаний для мер углеродного регулирования, напротив, следует обсудить:

Сценарий 1 представляет собой введение углеродного налогообложения выбросов ПГ, чье администрирование может опираться на действующую в России обязательную углеродную отчетность, дополненную прямым количественным ограничением выбросов отрасли в виде установки абсолютного предела выбросов в тоннах CO_2 -эквивалента (CO_{2e}). В таком случае регулированием будут охвачены предприятия по добыче, переработке, транспортировке, хранению угля, нефти и природного газа, а также энергетические предприятия, на которых осуществляется стационарное сжигание ископаемого топлива. Такое сочетание должно позволить создать устойчивый ценовой сигнал и определить фиксированный уровень издержек на декарбонизацию и при этом обеспечить целевые показатели по сокращению выбросов в соответствии с национальными обязательствами.

Сценарий 2 также включает в себя углеродное налогообложение, но неопределенность будущего уровня выбросов снижается за счет ограничения на углеродную интенсивность производства электрической и/или тепловой энергии, что обеспечивает некоторую прозрачность в управлении воздействием на структуру энергетических технологий. Предельные величины углеродной интенсивности должны быть согласованы со значениями, приведенными в критериях Таксономии

зеленых проектов, например, для газовой генерации $0.03 \text{ тСО}_2\text{е/МВт}\cdot\text{ч}$ при производстве тепла и $0.1 \text{ тСО}_2\text{е/МВт}\cdot\text{ч}$ при производстве электроэнергии.

Сценарий 3 является единственным сценарием, предполагающим одновременное применение только одной меры – СТВ, с которой часто начинается углеродное регулирование на национальном уровне. Этот рыночный инструмент количественного регулирования обеспечивает заданное совокупное снижение антропогенной эмиссии с наименьшими издержками и при постоянном снижении общего количества квот может являться самодостаточной мерой. С одной стороны, СТВ сложнее и дороже в администрировании, чем налогообложение, а с другой – позволяет использовать рыночные силы в качестве стимулирующей мотивации к ускорению сокращения эмиссии на корпоративном уровне выше заданных темпов.

Сценарий 4 должен позволить своевременно обеспечить национальные климатические цели по снижению выбросов ПГ за счет прямого количественного ограничения и при этом обеспечить финансовую поддержку безуглеродной генерации с минимальными затратами со стороны государственного бюджета за счет работы добровольного рынка сертификатов происхождения энергии. Эффективность такой поддержки, а значит, и глубина декарбонизации структуры производства энергии будет напрямую зависеть от цены на сертификат, которую пока планируется ограничить регулятором “снизу” на уровне 100 рублей/МВт·ч.

Сценарий 5 заключается в более детальном регулировании выбросов ПГ ТЭК благодаря действию налогообложения в секторе добычи и первичной переработки энергоресурсов и технологическому ограничению в секторе генерации электроэнергии и тепла. В нем также предусмотрена дополнительная поддержка низкоуглеродной генерации в виде льготных кредитных ставок для смягчения финансовой нагрузки на предприятия отрасли в условиях декарбонизации, что особенно актуально в периоды экономической нестабильности.

Сценарий 6 предполагает прямое регулирующее воздействие на эмитентов с обоих концов производственно-сбытовой цепи, а именно арретивную финансовую мотивацию в виде ограничения финансирования добычи углеродоемких энергоресурсов и налогообложение выбросов ПГ. Крайним случаем является полный запрет на финансирование, например, угольной отрасли, который возник в рекомендациях Международного энергетического агентства (МЭА), однако более оправданным из радикальных видится запрет строительства новых угольных электростанций без применения технологий улавливания и хранения углерода.

ОБСУЖДЕНИЕ

Целесообразно сравнить разработанные сценарии с результатами исследований в сфере углеродного регулирования, проведенных в России и за рубежом.

Систематизировав мировой опыт введения цены на углерод, И.А. Степанов приходит к выводу, что экономический подход к регулированию выбросов ПГ не может служить единственным инструментом достижения национальных климатических целей и должен сочетаться как с административными инструментами, так и с мерами информационной и технологической политики [8]. При этом исследование Й. ван ден Берга и др. [25], посвященное оценке эффективности различных сочетаний механизмов углеродного регулирования на основании анализа литературных источников, показывает, что объединение административных

инструментов и СТВ дает эффект обратный синергическому. В свою очередь, при наличии действующих технических стандартов в области энергоэффективности, а также бюджетной поддержки внедрения низкоуглеродных технологий только введение углеродного налогообложения будет усиливать национальную

Таблица 1. Сценарии углеродного регулирования в энергетике России

Название меры	Краткое описание	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5	Сценарий 6
Прямое количественное ограничение выбросов парниковых газов	Установка предела выбросов, превышение которого не допустимо вне зависимости от стоимости сокращения выбросов ПГ, необходимого для его достижения	V			V		
Технологическое ограничение	Установка ограничения на углеродную интенсивность технологий генерации электроэнергии и/или тепла		V			V	
Система торговли квотами на выбросы	Установка предела выбросов для регулируемых организаций в виде квот ($\text{тCO}_2\text{e}$), распределяемых между эмитентами бесплатно или с учетом цены квоты (т.е. аукционно), превышение которых штрафует. Создание углеродного рынка для балансирования единиц выполнения квоты между эмитентами.			V			
Углеродное налогообложение	Налогообложение углеродоемких энергоресурсов (ставка пропорциональна содержанию углерода, долл./тС)					V	
	Налогообложение выбросов парниковых газов (ставка пропорциональна удельным выбросам ПГ углерод-интенсивных технологий, долл./ $\text{тCO}_2\text{e}$).	V	V				V

Таблица 1. Окончание

Название меры	Краткое описание	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4	Сценарий 5	Сценарий 6
Зеленые финансовые инструменты	Ограничение на объем финансирования отдельных наиболее углеродоемких энергетических отраслей						V
	Льготные кредитные ставки для финансирования объектов низкоуглеродной генерации					V	
Сертификаты происхождения энергии	Система обращения электронных документов, выдаваемых по факту производства электрической энергии с низким уровнем выбросов ПГ и добровольно приобретаемых потребителями				V		

климатическую политику. Данные положения согласуются со Сценариями 1 и 2, предложенными в настоящей работе.

И.А. Башмаков, анализируя зарубежный опыт регулирования выбросов ПГ как для СТВ [26], так и для углеродного налогообложения [27], отмечает значимость наличия предусмотренных способов защиты конкурентоспособности углеродоемких отраслей. Предположим, что для энергетики к таким способам можно отнести льготное финансирование и систему обращения зеленых сертификатов. В свою очередь, И.В. Савин [9] показал, что при неполном охвате регулированием всех экономических агентов введение углеродного налогообложения, СТВ или прямого квотирования в секторе добычи (или импорта) ископаемых ресурсов более выгодно, чем в секторе их потребления (сжигания), непосредственно сопровождающегося выбросами ПГ ввиду роста цен на углеродоемкие энергоресурсы. Вышеуказанные особенности охватываются системой мер углеродного регулирования, составляющей Сценарий 5.

С.Л. Ситников сформулировал “золотое сечение” для российской системы углеродного регулирования как “квотирование выбросов ПГ, стимулирование реализации климатических проектов частными лицами, а также внедрение налогового и иного административного стимулирования” [28, с. 16]. По сути, такой вариант является сочетанием всех возможных типов мер углеродного регулирования и может быть рассмотрен как сценарий предельной зарегулированности в случае, если остальные сценарии по результатам модельных расчетов покажут свою несостоятельность в вопросе достижения климатических целей, однако на данном

этапе он кажется чрезмерным по нагрузке на эмитентов в условиях санкционного давления.

Сценарии низкоуглеродного развития ЕС и США были составлены исходя из амбиций по достижению углеродной нейтральности к 2050 г. В исследовании [29], проведенном в интересах европейского бизнес-сообщества, смоделированы шесть основных инструментов углеродного регулирования по отдельности и в виде пяти различных комбинаций, две из которых содержат только внутриэкономические меры, а именно: (1) введение льготных тарифов для товаров с низким содержанием углерода, высвобождающегося в процессе их конечного использования, вместе с сокращением субсидий для ископаемого топлива и промышленности, (2) то же, дополненное налогом на потребление товаров, содержащих углерод в качестве меры по борьбе с т.н. утечкой углерода. В другом исследовании, ориентированном на трансформацию энергетики ЕС [30], целевые пределы выбросов ПГ по отдельным отраслям были дополнены показателями увеличения энергоэффективности и роста доли ВИЭ в структуре конечного потребления энергии. В рамках проекта “Углеродно-нейтральная Америка” [31] сценарии были сформированы на основании различных темпов электрификации и развития возобновляемой, атомной и биоэнергетики, а также с учетом ограничений использования ископаемого топлива и подземных хранилищ CO₂. Указанные зарубежные подходы включают изменение действующей энергетической и экономической политики, а также прямое регулирование конечного потребления, которое в СТМ задается экзогенно, поэтому их не получается рассматривать только в рамках сценариев углеродного регулирования.

Стоит отметить, что неопределенность состава национальной системы мер углеродного регулирования связана не только с регуляторным инструментом, но и с рядом дополнительных влияющих факторов, учет которых не входит в задачи настоящего исследования. А. Марку [32] рассматривал в качестве таких факторов географический масштаб действия принимаемых мер, их распространение на внешне- и внутриэкономическую деятельности, взаимосвязь с международными нормами и иностранными мерами углеродного регулирования, целевое использование финансовых поступлений, широту охвата различных отраслей и уровней выбросов и способ определения предельно допустимых выбросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Национальную климатическую политику важно выстроить так, чтобы меры углеродного регулирования имели единое целеполагание с экономическим развитием, особенно в области энергетики. При этом сохранение высокого уровня надежности и безопасности энергоснабжения, а также доступности энергии для потребителей должно оставаться приоритетным направлением развития энергетики и ТЭК. Что касается взаимной балансировки мер углеродного регулирования в рамках единой системы, следует констатировать следующее:

1) В рамках системы углеродного регулирования следует сочетать меры с различными зонами определенности, например, административные и фискальные, нивелируя органические недостатки отдельных мер. В таком случае, потенциально возможно обеспечить гибкое управление будущим уровнем выбросов ПГ, а также зафиксировать уровень издержек на декарбонизацию, допустимый с учетом роста экономики.

2) Способ поддержки низкоуглеродных технологий, заданный государством, определяет как темпы декарбонизации энергетики, так и то, какие конечные потребители и насколько сильно будут ощущать форсированную трансформацию энергетики. В случае добровольной системы обращения зеленых сертификатов нагрузка приходится, в основном, на углеродинтенсивную промышленность, тогда как для льготного финансирования характерно ее более равномерное распределение через финансовые институты.

3) При введении углеродного регулирования на различных этапах производственно-сбытовой цепи, например, в секторе добычи и первичной переработки энергоресурсов или в секторе генерации электроэнергии и тепла, необходимо учитывать не только эффективность системы в обеспечении целевого снижения выбросов, но и величину затрат на ее администрирование и возможность обеспечения прозрачности и достоверности данных.

Разработанные сценарии углеродного регулирования представляют собой совместный набор наиболее вероятных мер, которые имеет смысл рассматривать в условиях России. Сопоставление сценариев с использованием СТМ позволит определить оптимальную структуру технологий в энергетике России, обеспечивающую целевое снижение отраслевых выбросов ПГ, состав мер углеродного регулирования, в наилучшей степени стимулирующий это снижение, а также объем совокупных затрат, необходимых для изменения структуры технологий.

Исследование выполнено в Институте энергетических исследований РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FFGW-2022-0002 “Эффективные способы адаптации и средства управления развитием энергетики России в условиях глобального энергетического перехода”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балашов, М.М.* Влияние механизмов углеродного регулирования на развитие промышленности Российской Федерации / М. М. Балашов // Стратегические решения и риск-менеджмент, 2020. Т. 11, № 4. С. 354–365.
DOI 10.17747/2618-947X-2020-4-354-365.
2. *Филиппов С.П., Дильман М.Д.* Системные исследования приоритетов научно-технологического развития энергетики: методологические аспекты // Системные исследования в энергетике: методология и результаты / Под ред. А.А.Макарова и Н.И. Воропая. М.: ИНЭИ РАН, 2018. С. 63–86.
3. *Keiko A.V.* The carbon regulation and its accounting in system energy models // AIP Conference Proceedings 2552, 080002, 2023.
DOI: 10.1063/5.0112807.
4. Comparing transformation pathways across major economies/ Schaefer, R. [et al.] // Climatic Change 162, 1787–1803 (2020).
DOI: 10.1007/s10584-020-02837-9.
5. Energy system transitions and low-carbon pathways in Australia, Brazil, Canada, China, EU-28, India, Indonesia, Japan, Republic of Korea, Russia and the United States/ Fragkos, P. [et al.]. // Energy 216, 119385 (2021).
DOI: 10.1016/j.energy.2020.119385

6. *Waisman H. et al.* A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies. *Nat. Clim. Change* 9, 261–268 (2019) DOI:10.1038/s41558-019-0442-8.
7. *Russia and Global Green Transition: Risks and Opportunities* / I. Makarov, D. Besley, H. Dudu [et al.] // Washington: World Bank Group, 2021. p. 110.
8. *Степанов И.А.* Цена на углерод: теория и практика регулирования выбросов парниковых газов / И.А. Степанов, К.З. Галимова // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика, 2021. № 4. с. 95–116.
9. Regulation at the source? Comparing upstream and downstream climate policies. / J. Foramitti, I. Savin, J. van den Bergh // *Technological Forecasting and Social Change*, 2021. 172 (121060). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121060> (дата обращения: 22.11.2023).
10. *Порфирьев Б.Н.* Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России / Б.Н. Порфирьев, А.А. Широ, А.Ю. Колпаков // *Мировая экономика и международные отношения*, 2020. Т. 64. № 9. с. 15–25. DOI 10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25.
11. *Кононов Ю.Д.* Возможное влияние введения платы за выбросы парниковых газов на стоимость электроэнергии / Ю.Д. Кононов, Д.Ю. Кононов // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 2021. Т. 17. № 9 (402). С. 1612–1624. DOI: 10.24891/ni.17.9.1612.
12. Исследование путей и темпов развития низкоуглеродной энергетики в России / А.А. Макаров, А.В. Кейко, В.А. Малахов и др.; под ред. А.А. Макарова. М.: ИНЭИ РАН, 2022. 138 с.
13. *Bashmakov I.* Russia's carbon neutrality: pathways to 2060/ Bashmakov I., Bashmakov V., Borisov K. // *CENef – XXI*, 2022. p. 152.
14. *Башмаков И.А.* Низкоуглеродные технологии в России. Нынешний статус и перспективы/ И. Башмаков, В. Башмаков, К. Борисов [и др.] // Центр энергоэффективности – XXI век, июнь 2023. 173 с. URL: https://cenef-xxi.ru/uploads/Tehnologicheskij_razryv_1c905a5aa1.pdf (дата обращения: 22.11.2023).
15. *Холкин Д.В.* Маятник энергоперехода: информационно-аналитический обзор/ Д.В. Холкин, И.С. Чаусов, К.А. Ермолаев// АНО “Центр энергетических систем будущего “Энерджинет”, 2022. 74 с.
16. *Гайда И.* Сценарии декарбонизации в России / И. Гайда, Е. Грушевенко// Центр устойчивого развития Школы управления Сколково, 2022. 19 с.
17. *Доброславский Н.* Декарбонизация в условиях неопределенности: пути и решения/ Н. Доброславский, Д. Сесицкий; под ред. Е. Дубовицкой // Центр устойчивого развития Школы управления Сколково, 2022. 117 с.
18. *Ляшик Ю.* Свежий взгляд на межтопливную конкуренцию / Ю. Ляшик, И. Гайда, Е. Грушевенко // *Skoltech*, 2023. 35 с.
19. *Клименко А.В.* Перспективы России в снижении выбросов парниковых газов / А.В. Клименко, А.Г. Терешин, О.В. Прун // *Изв. РАН. Энергетика*, 2023. № 2. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0002331023020036.
20. World Bank Group. State and Trends of Carbon Pricing 2023/ World Bank Group. Washington, DC, 2023. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/39796> (дата обращения: 22.11.2023).
21. *SCANNER: Super Complex for Active Navigation in Energy Research* / Веселов Ф.В., Елисеева О.А., Кулагин В.А. и др. / Под ред. А.А. Макарова. – М.: ИНЭИ РАН, 2011. 72 с.

22. Кейко А.В. Системные модели в исследованиях энергетики // Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России. Сборник докладов Школы молодых ученых. М.: ИНЭИ РАН, 2023. С. 6–32.
23. Шигина А.В. Описание механизмов углеродного регулирования при моделировании развития энергетики России // Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России. Сборник докладов Школы молодых ученых. М.: ИНЭИ РАН, 2023. С. 95–103.
24. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices/ Stiglitz J., Stern N., Duan M., et al. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/318284315_Report_of_the_High-Level_Commission_on_Carbon_Prices (дата обращения: 22.11.2023).
25. Designing an effective climate-policy mix: accounting for instrument synergy / J. van den Bergh, J. Castro, S. Drews [et al.]. DOI: 10.1080/14693062.2021.1907276 // Climate Policy, 2021. 21(6). p. 745–764. URL: <https://science.urfu.ru/en/publications/designing-an-effective-climate-policy-mix-accounting-for-instrume> (дата обращения: 22.11.2023).
26. Башмаков И.А. Эффективность европейской системы торговли квотами на выбросы ПГ и ее эволюция / И. А. Башмаков // Экологический вестник России, 2018. № 4. С. 32–41.
27. Башмаков И.А. Налог на углерод в системе налогов на энергию и экологических налогов / И. А. Башмаков // Экологический вестник России, 2018. № 3. С. 1–13.
28. Ситников С.Л. Углеродное регулирование в России: истоки и особенности / С.Л. Ситников // Вестник евразийской науки, 2022. Т. 14. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/44ECVN622.pdf> (дата обращения: 28.10.2023)
29. Trade & Climate Change: Quantitative Assessment of the Best Policy Tools to Achieve Climate Neutrality and Competitiveness / AFEP Final Rep. Paris, 2020. 172 p. URL: afep.com/wp-content/uploads/2021/01/Trade-and-Climate-Change-Quantitative-Assessment-of-the-Best-Policy-Tools.pdf (дата обращения: 11.11.2023).
30. Energy system impacts and policy implications of the European Intended Nationally Determined Contribution and low-carbon pathway to 2050 / L. Paroussos, N. Tasios, P. Fragkos et al. // Energy Policy, 2017. 100(1). p. 216–226.
31. Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts: Final report / E. Larson, C. Greig, J. Jenkins [et al.]. NJ, 2021. URL: <https://acee.princeton.edu/rapidswitch/projects/net-zero-america-project/> (дата обращения: 02.11.2023).
32. Border Carbon Adjustments in the EU: Issues and Options / Marcu A., Mehling M., Cosbey, A. – Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/344446685_Border_Carbon_Adjustments_in_the_EU_Issues_and_Options (дата обращения: 22.11.2023).