

В.П. КЛАВДИЕНКО

доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА КИТАЯ: ТЕНДЕНЦИИ, НОВАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В статье исследованы тенденции и особенности развития возобновляемой энергетики Китая в контексте современной трансформации глобального энергетического хозяйства. Определены факторы стремительного роста ключевых секторов «зеленой» энергетики. Раскрыты приоритетные направления НИОКР и инновационных технологических преобразований в сфере возобновляемой энергетики Китая, объем и структура их финансирования. Проведен сравнительный анализ КИУМ и приведенной стоимости электроэнергии различных технологий генерации в Китае и в ряде других стран. Рассмотрены перспективы и проблемы дальнейшего развития возобновляемой энергетики Китая на пути к углеродной нейтральности.

Ключевые слова: *возобновляемая энергетика, ископаемое топливо, энергетический переход, мировая экономика, Китай.*

УДК: 338, 339

EDN: MSKMFO

DOI: 10.52180/2073-6487_2023_4_134_156

Введение

Одним из основных императивов перехода экономики на траекторию устойчивого развития выступает снижение удельного объема выбросов парниковых газов в атмосферу (например, в расчете на единицу потребляемой энергии, созданного ВВП, километров пробега для транспортных средств и/или других видов хозяйственной деятельности). В масштабах мирового хозяйства главным эмитентом парниковых газов признается энергетический сектор, а главной страной загрязнителем – Китай, на долю которого приходится треть мирового объема выбросов двуокиси углерода – газа, вызывающего наибольший парниковый эффект.

Выбросы в атмосферу двуокиси углерода (CO₂) при сжигании топлива прямо пропорциональны содержанию в нем углерода. При этом содержание углерода в разных видах источников энергии

неодинаковое: в ископаемом топливе оно высокое, тогда как в ядерном топливе и в возобновляемых источниках энергии оно равно нулю. Следовательно, интенсивность выбросов CO_2 при производстве электроэнергии можно снизить путем структурных изменений в потреблении энергоресурсов и переориентации, например, на возобновляемые источники или на ядерное топливо.

В Китае 90% выбросов в атмосферу диоксида углерода связаны с энергетикой, основанной на ископаемом топливе, поэтому проблема снижения выбросов CO_2 является в этой стране одной из наиболее острых. Ключевым направлением разрешения этой проблемы стала трансформация энергетической системы Китая, осуществляемая за счет перехода к широкому использованию возобновляемых источников энергии. Эта политика поддерживается пакетом мер государственного стимулирования «зеленых» инвестиций, технологий и НИОКР.

Какими темпами идет развитие возобновляемой энергетики Китая? Какие факторы содействуют этому процессу, и что тормозит его? Почему, став мировым лидером по генерации «чистой» энергии, Китай остается главным виновником в повышении уровня диоксида углерода в атмосфере? — эти и другие вопросы рассматриваются в данной статье.

Лидер увеличивает отрыв от конкурентов

Бурный рост китайской экономики в начале XXI столетия сопровождался масштабным потреблением энергоресурсов (прежде всего ископаемого топлива) и возросшей эмиссией парниковых газов. Только в 2000–2010 гг. она возросла более чем в 2,5 раза. С 2007 г. Китай становится главным эмитентом CO_2 в атмосферу.

Вопросы, связанные с сокращением выбросов парниковых газов, начали занимать все более важное место в повестке дня руководства КНР. В 2005 г. правительство страны приняло Закон о возобновляемой энергетике, который стал триггером развития отрасли. В 2007 г. Китай первым из развивающихся стран принял Национальную программу мер по борьбе с изменениями климата. В 12-й пятилетний план социально-экономического развития страны (2011–2015 гг.) впервые включены задания по снижению эмиссии углекислого газа и оксидов азота в атмосферу [30]. В 2016 г. под эгидой Национальной комиссии по развитию и реформам на основе 13-го пятилетнего плана социально-экономического развития впервые был разработан пятилетний план развития возобновляемой энергетики (2016–2020 гг.), что существенно повысило статус отрасли не только в энергетическом хозяйстве страны, но в экономике и обществе в целом.

Развернувшийся в последние десятилетия общемировой процесс борьбы с климатическими изменениями и заявленные многими стра-

нами намерения отказаться или существенно сократить использование угля в пользу возобновляемых источников энергии стали серьезным вызовом для КНР, в которой уголь является значимым фактором обеспечения экономического роста и благосостояния населения.

Отвечая на глобальные вызовы XXI в., председатель КНР Си Цзиньпин на 75 сессии Генеральной Ассамблеи ООН в сентябре 2020 г. объявил о том, что КНР будет стремиться достичь пика выбросов углекислого газа до 2030 г. и углеродной нейтральности до 2060 г. [10, с. 127; 11; 12]. Ключевым направлением достижения этих стратегических целей признается дальнейшее развитие и повышение эффективности генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), широкого использования цифровых технологий, искусственного интеллекта и иных прорывных инновационных технологий [11; 18; 31; 35].

Китай располагает богатыми ресурсами возобновляемых источников энергии, однако использование этих ресурсов (исключая гидро-ресурсы) для генерации энергии в промышленных масштабах стало набирать обороты лишь в конце XX в. Суммарная выработка электричества на основе использования энергии ветра и солнечного излучения тогда составляла менее 3% общей выработки электроэнергии. В настоящее время Китай – общепризнанный мировой лидер во всех секторах возобновляемой энергетики по объему инвестиций, по установленной мощности, производству и потреблению чистой энергии.

Успехи Китая в освоении возобновляемых источников энергии неоспоримы. Менее чем за полтора десятилетия стране удалось создать мощную производственную и научно-техническую базу, развить сырьевую платформу новой инновационной отрасли. Суммарная установленная мощность в возобновляемой энергетике Китая в 2012–2022 гг. возросла в 3,5 раза, превысив 1160 ГВт. Сегодня она составляет треть глобальной установленной мощности в этой отрасли, превышая соответствующий показатель вместе взятых основных стран-конкурентов (см. табл. 1).

Наиболее высокими темпами в последнее десятилетие прирастали мощности в ветроэнергетике и солнечной энергетике. Общая установленная мощность в ветроэнергетике КНР увеличилась в 6 раз и к 2023 г. достигла 366 ГВт, что составляет 40% установленной мировой мощности в этом секторе (больше чем во всех странах ЕС и США вместе взятых). Еще быстрее нарастала установленная мощность в солнечной энергетике КНР. В 2012–2022 гг. она возросла в 46 раз и к 2023 г. составила 395 ГВт, превысив треть суммарной мировой мощности в этой отрасли.

Небезынтересна смена лидера в этом секторе зеленой энергетики. До 1997 г. с большим отрывом по объему установленной мощности и выработке электроэнергии лидировала солнечная энергетика США,

Таблица 1

Доля стран – лидеров в глобальной установленной мощности возобновляемой энергетики и ее секторах (%)

Сектор возобновляемой энергетики	Китай		ЕС (27 стран)		США	
	2012 г.	2022 г.	2012 г.	2022 г.	2012 г.	2022 г.
Общая установленная мощность в возобновляемой энергетике	20,9	34,4	22,1	16,9	11,4	10,4
Ветроэнергетика	28,4	40,7	36,4	22,7	22,1	15,7
Солнечная энергетика	6,4	37,3	68,5	22,3	8,3	10,7
Гидроэнергетика	22,9	29,7	13,3	11,0	11,1	7,4
Биоэнергетика	6,0	20,8	34,5	23,6	14,7	7,6

Рассчитано и составлено автором по: [19; 23; 24].

с 1997–2004 г. мировым лидером в отрасли становится Япония. В 2005 г. первенство в солнечной энергетике на десять лет переходит к Германии, а с 2015 г. неизменным мировым лидером по установленной мощности и объему генерации в солнечной энергетике является Китай. Доминирование Китая в мировой гелиоэнергетике не ограничивается масштабом установленной мощности. Важно и то, что на его долю приходится свыше $\frac{2}{3}$ мирового производства поликремния — основного сырья для изготовления солнечных панелей.

Высокая динамика роста мощностей была характерна также для биоэнергетики Китая. В последнее десятилетие общая установленная мощность в этой отрасли увеличилась в 5 раз. В 2022 г. Китай по этому показателю вдвое превосходил идущую следом за ним Бразилию и втрое США, расположившиеся на третьей позиции. Однако уровень утилизации отходов в Китае пока невысок. Ежегодно страна дает 900 млн т отходов сельхозпродукции и лесного хозяйства. Использование такого количества биомассы эквивалентно 400 млн т условного топлива, но только лишь 10% из этого объема отходов используется в качестве энергоносителей [35].

Из всех секторов возобновляемой энергетики наибольшей установленной мощностью располагает гидроэнергетика КНР – 413,5 ГВт (2022 г.), сохраняя в течение многих лет мировое лидерство по этому показателю. Однако в последнее десятилетие среднегодовой прирост мощностей в гидроэнергетике невысок (менее 3%). И хотя она по-прежнему вносит наибольший вклад от ВИЭ в общий объем генерации электроэнергии, вклад этот перманентно снижается в пользу ветро- и солнечной энергетики.

Характерной тенденцией возобновляемой энергетики Китая стало не только нарастание совокупной установленной мощности, но и неуклонное увеличение доли отрасли в общей выработке электроэнергии. Если в 2000 г. доля ВИЭ в общей генерации составляла 16,6%, в 2012 г. – 19,0%, то в 2022 г. она возросла до 29,7% с долями гидро-, ветро-, гелио- и биоэнергетики 16,0; 7,8; 3,9; 2,0% соответственно [24].

Стремительное развитие возобновляемой энергетики (особенно ветровой и солнечной) в Китае было обеспечено рядом факторов, важнейшими из которых стали: всесторонняя государственная поддержка, щедрые инвестиционные вложения, новые технологические решения и инновационные разработки в отрасли.

Государственная поддержка

Правительство КНР использовало разнообразные практики стимулирования развития возобновляемой энергетики, сочетающие административные меры, инструменты финансовой и фискальной политики. В январе 2006 г. вступил в силу принятый правительством КНР «Закон о возобновляемой энергетике», который заложил правовую основу для механизма государственной поддержки генерации и потребления энергии от возобновляемых источников, определил методы и формы взаимодействия государства и бизнеса в освоении нетрадиционных источников энергии. Предусматривалось широкое использование финансовых и фискальных инструментов для изменения соотношения цен в пользу возобновляемых источников энергии и соответствующих технологий.

Основным инструментом стимулирования освоения ВИЭ стали компенсации к тарифам на энергию, генерируемую на основе возобновляемых источников [20, с. 238]. Суть этого инструмента заключалась в том, что государство поддерживало закупочные цены на «чистую» энергию на уровне реальных издержек на ее производство, компенсируя производителям повышенные расходы в течение определенного периода времени (до 20 лет). При этом существенно снижались риски для инвесторов, поскольку уже на этапе планирования они получали долговременные гарантии на реализацию энергии от возобновляемых источников по фиксированным ценам.

Кроме гарантированной закупки «зеленой» энергии у производителей по льготным долгосрочным тарифам практическое применение получили такие формы государственной поддержки для предприятий ветровой и солнечной энергетики, как льготные кредиты, повышенные налоговые вычеты по расходам на НИОКР, ускоренная амортизация основных средств, льготные таможенные пошлины на импорт оборудования, налоговые каникулы. Так, вновь зарегистрированным

в налоговых органах предприятиям – производителям оборудования и комплектующих для ветро- и солнечной энергетики была предоставлена возможность получить налоговые каникулы сроком на 5 лет (2+3). Эта преференция дала предприятиям право на полное освобождение от налога в течение первых двух лет с момента получения прибыли и уплаты налогов по сниженной ставке (50% от основной) в последующие три года [4].

По мере повышения эффективности технологий генерации в ветро- и солнечной энергетике действовавший механизм их государственной поддержки, ядром которого являлось субсидирование в формате льготных тарифов и налоговые преференции, постепенно стал сворачиваться и замещаться элементами нового, более гибкого механизма взаимодействия государства и бизнеса.

В мае 2019 г. был запущен подготовленный Национальной комиссией по развитию и реформам, Национальным управлением по энергетике и Министерством финансов КНР пилотный проект без субсидиарной генерации солнечными и наземными ветроэнергетическими установками в районах, обеспеченных соответствующими возобновляемыми источниками энергии [10].

Эта новация была ориентирована на развитие рыночных отношений в энергетическом секторе страны, на формирование конкурентных условий для различных технологий генерации электроэнергии. Суть этой новации в том, что государство устанавливает для провинций минимальные квоты потребления электроэнергии от возобновляемых источников в общем объеме потребления электричества. При этом квоты состоят из двух частей: доля потребления электроэнергии от всех видов возобновляемых источников и доля «зеленой» энергии без учета гидрогенерации. Величина второй части квот рассматривается как главное обязательное задание и устанавливается в зависимости от обеспеченности провинции гидроресурсами. Чем эта обеспеченность лучше, тем более высокие обязательства по этой части квот накладываются на провинциальном уровне. Так, в 2021 г. для различных провинций она устанавливалась в диапазоне от 10 до 25% [35].

Наряду с квотами вводятся в оборот так называемые «зеленые» сертификаты, представляющие собой свидетельство и/или соответствующую запись в электронном регистре, подтверждающую факт потребления той или иной компанией определенного количества энергии на основе возобновляемых источников. Компании, не справившиеся с официально установленными квотами потребления «чистой» энергии, могут зачислять их выполнение путем покупки «зеленых» сертификатов у организаций, имеющих избыточную долю потребления электроэнергии от возобновляемых источников. В свою очередь компании, превысившие официально установленные квоты потребления

«чистой» энергии, могут продавать эти излишки по рыночным ценам. Логическим дополнением этой модели коммерциализации «чистой» энергии являются штрафные санкции, применяемые к компаниям, не выполняющим установленные квоты потребления электроэнергии, выработанной на основе возобновляемых источников. Таким образом, новая модель коммерциализации возобновляемой энергетики, сочетающая методы административного регулирования с механизмами рынка, позволяет регулятору трансформировать директивные индикаторы освоения ВИЭ в баланс производства и потребления электроэнергии хозяйствующих субъектов, обеспечивая при этом равные конкурентные условия для разных технологий генерации.

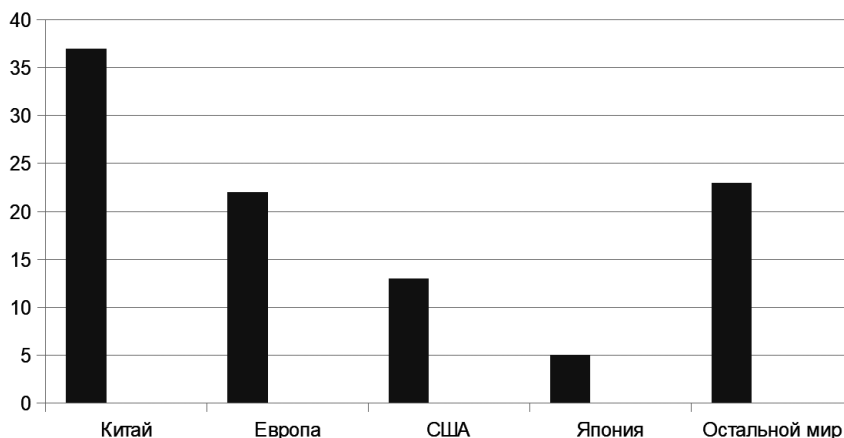
Мощным катализатором рыночных отношений в «зеленой» энергетике Китая стал запуск общенационального рынка торговли квотами на выбросы углекислого газа, официальное открытие которого состоялось в июле 2021 г. Число участников этого рынка неизменно растет. Первоначально в его работе участвовали главные эмитенты углекислого газа – предприятия энергетики. Сегодня его участниками являются более 2200 предприятий энергетической и металлургической, химической и нефтехимической, строительной и цементной промышленности [3; 6; 9; 10].

Внедрение элементов новой модели функционирования возобновляемой энергетики Китая происходит одновременно с постепенным свертыванием прежней компенсационной модели, основанной на долгосрочных контрактах и льготных тарифах на «чистую» энергию. В 2020–2021 гг. льготные тарифы приостановлены для новых наземных ветроэнергетических станций (ВЭС) и солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС), а в 2022 г. – для ряда офшорных ВЭС. Показательно, что в 2022 г. более половины генерируемой в стране «чистой» электроэнергии продавалось по рыночным ценам [27].

Щедрые инвестиции

Поощрительная политика правительства к освоению ВИЭ стимулировала инвестиционную активность и бурный приток капитала в возобновляемую энергетику. В последнее десятилетие годовой объем инвестиций в нее увеличился в 2,6 раза, а в 2021 г. он превысил 137 млрд долл. И здесь Китай уверенно лидирует. Доля Китая в глобальных вложениях в «зеленую» энергетику составляет 37%, США – 13%, Японии – 5%, всех стран Европы – 22% (см. рис. 1).

Наиболее привлекательными для инвесторов стали ветровая и солнечная энергетика, а в последние годы также и генерация на основе биомассы. В 2021–2022 гг. из общего объема инвестиций в возобновляемую энергетику Китая 68% было вложено в солнечную энергетику,



Составлено и рассчитано автором по: [33].

Рис. 1. Доля крупнейших инвесторов в мировом объеме инвестиций в возобновляемую энергетику, в %, 2021 г.

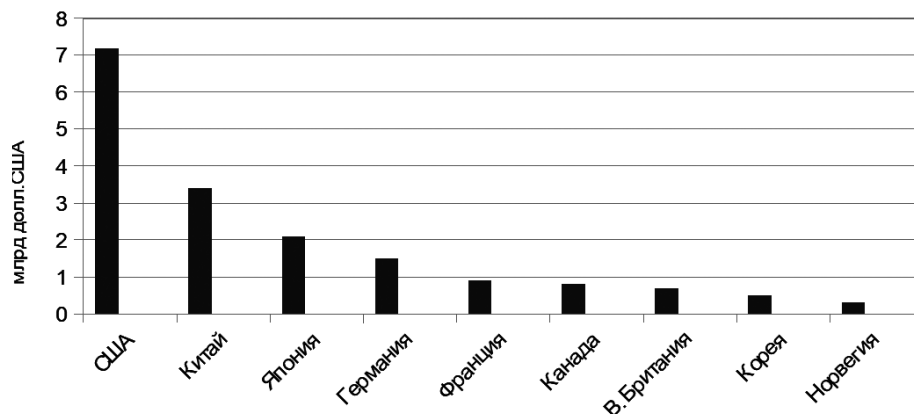
29% – в ветровую, 2% – в производство энергии на основе биомассы. Остальные средства были направлены на освоение энергии малых рек и геотермальных источников.

Бурное развитие возобновляемой энергетики во многом стало возможно благодаря созданию собственной базы производства оборудования и компонентов для объектов отрасли. Крупномасштабные инвестиции в отрасль позволили Китаю в короткие сроки создать мощную собственную научно-техническую и промышленную базу производства оборудования и различных компонентов для объектов «зеленой» генерации, стать ведущим игроком на мировом рынке «зеленого» бизнеса. Так, из 10 мировых лидеров в производстве ветроэнергетического оборудования 6 являются китайскими фирмами, из 10 крупнейших производителей солнечных фотоэлектрических панелей – 7 китайские компании, обеспечивающие 70% мирового производства солнечных панелей. Показательно, что более 90% установленных в КНР ветроэнергетических турбин местного производства [16].

Исследования и инновации

Наряду с крупномасштабными инвестициями в создание новых мощностей трудно переоценить роль щедрого финансирования НИОКР в подъеме отрасли. В 2020 г. затраты общественных средств (бюджетов всех уровней) на исследования и инновационные разработки, связанные с возобновляемой энергетикой, увеличились по сравнению с 2010 г. более чем вдвое и составили 3,4 млрд долл. В последние годы по объему финансирования из бюджетных средств

НИОКР для возобновляемой энергетики Китай уступает только США (см. рис. 2).



Рассчитано и составлено автором по: [18; 32].

Рис. 2. Финансирование НИОКР и инноваций для возобновляемой энергетики из бюджетных средств, 2020 г.

Замечу, однако, что доля НИОКР для возобновляемой энергетики в структуре правительственных расходов на все исследования и разработки по энергетике составляет 40%, на НИОКР в области ядерной энергетики приходится 9%, при этом приоритетным направлением по-прежнему остаются исследования и разработки в области ископаемого топлива (51%). Для сравнения: в США, Канаде, Великобритании, Норвегии, Японии, Корее доля ассигнований на исследования и разработки в области возобновляемой энергетики в правительственных расходах на НИОКР по энергетике составляет 70–80%.

Главным спонсором «зеленых» НИОКР выступает бизнес-сектор (компании и предприятия государственной, частной, смешанной форм собственности), доля которого в финансировании НИОКР, связанных с возобновляемой энергетикой, составляет 60–75%. В расходах бизнеса на НИОКР по энергетике преимущество также отдается исследованиям и разработкам в сфере ископаемого топлива (30%), возобновляемая энергетика получает втрое меньше (11%), ядерная – 4%, значительные средства бизнес направляет на НИОКР в области ультра-высоковольтных ЛЭП (27%), электротранспорта (16%).

Основными бенефициарами средств на исследования и разработки для «зеленой» генерации являются солнечная и ветровая энергетика. В эти сектора поступает более 80% от всего объема средств на НИОКР для возобновляемой энергетики.

В ветроэнергетике Китая приоритетные направления НИОКР связывают с новыми инженерными решениями в области:

- производства турбин большей мощности;
- совершенствования дизайна ветроэнергетических установок (ВЭУ) и основных ее компонентов (лопасти, механические системы, системы контроля и управления и др.);
- создания прочных недорогих композитных материалов для несущих конструкций и ключевых компонентов ВЭУ;
- использования аддитивных технологий для производства деталей и компонентов турбин для ВЭУ;
- разработки ветрогенераторов для зон слабых ветров;
- внедрения новых практик дистанционного обслуживания ВЭУ с использованием искусственного интеллекта;
- совершенствования технологий защиты ВЭУ, расположенных в офшорах, от тайфунов,
- утилизации отработанного оборудования и др.

В сфере гелиоэнергетики внимание китайских ученых и исследователей сфокусировано на научных изысканиях и инновационных решениях в областях: улучшения дизайна и качественных характеристик солнечных элементов; разработки гибких солнечных панелей, способных принимать разнообразную форму с учетом местного ландшафта; освоения производства высокоэффективных гетероструктурных солнечных модулей; получения эффективных тонкопленочных солнечных элементов на основе перовскитов и др. [2; 5; 12; 32].

Синергетический эффект

Реализованные в секторах зеленой энергетики результаты НИОКР и инновационные разработки позволили усовершенствовать дизайн и расширить модельный ряд изделий с учетом природно-климатических условий их эксплуатации, улучшить технические характеристики и нарастить единичные мощности установок. Если в прошлом десятилетии на рынке преобладали турбины для ВЭУ мощностью в 2 МВт, то сегодня китайские компании предлагают турбины мощностью 6 МВт и более. Характерными тенденциями в ветроэнергетике стали также внедрение технологий автоматического контроля и регулирования основных компонентов ВЭУ (ротора, редукторов, инвертеров, системы изменения угла атак лопастей), повышение высоты башни и увеличение диаметра ротора. За последние полтора десятилетия высота башни в среднем увеличилась с 60 до 120 м, а диаметр ротора – с 70 до 122 и более метров. Повышение высоты башни и увеличение диаметра ротора позволило задействовать больший объем ветрового потенциала для генерации энергии и повысить эффективность работы ветроэнергетических генераторов. Показательно, что в 2010–2021 гг. коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), характе-

ризующий эффективность работы энергетических агрегатов, в Китае увеличился для материковых ветроэнергетических установок с 25 до 36%, для офшорных ВЭУ – с 30 до 37% (см. табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициент использования установленной мощности
в ветроэнергетике (%)**

Страны	Береговые ветро- энергетические установки		Офшорные ветро- энергетические установки	
	2010 г.	2021 г.	2010 г.	2021 г.
Китай	25	36	30	37
Индия	25	35	36	42
США	33	41	39	45
Европа	27	36	38	43
Мир в целом	27	39	38	39

Составлено автором по: [25; 29].

Результатом инновационных разработок в гелиоэнергетике стало широкое внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта. Искусственный интеллект определяет конфигурацию солнечных ферм вплоть до азимутальной ориентации и оптимального угла наклона каждой солнечной панели, обеспечивая оптимальную генерацию, позволяет осуществлять дистанционный мониторинг оборудования, выявлять повреждения и загрязнения модулей, нарушения в работе инвертеров, отклонения трекеров от заданного наклона. При этом сокращаются затраты времени на проверку оборудования и устранение дефектов, повышается КИУМ. Среднее значение КИУМ китайских СФЭС в 2010–2021 гг. увеличилось с 12 до 17% [25; 29].

Совокупное влияние благоприятных факторов (крупномасштабных инвестиций, улучшения технико-экономических характеристик оборудования, внедрения технологий искусственного интеллекта, всесторонней государственной поддержки отрасли) содействовало уменьшению удельных капитальных затрат на установку и обслуживание оборудования, снижению издержек на генерацию энергии. Так, в 2010–2021 гг. удельные затраты на установку материковых ВЭУ в Китае уменьшились на 26%, и сегодня они составляют 1157 долл./кВт·ч, что на 17% меньше чем в США, на 29% меньше чем в Европе. Удельные капитальные затраты на установку мощностей для СФЭС снижались еще быстрее (на 83%), составив к 2022 г. 628 долл./кВт·ч, что на 42% меньше чем в США и на 31% меньше чем в Европе [18; 20; 22].

Наряду с уменьшением удельных капитальных затрат на установку мощностей, устойчивой тенденцией в «зеленой» энергетике

стало снижение издержек генерации. По данным Международного агентства по возобновляемой энергетике, в период 2010–2021 гг. приведенная стоимость одного кВт·ч электроэнергии, генерируемой наземными ВЭУ, в Китае уменьшились в среднем втрое, а электроэнергия от СФЭС обходится на порядок дешевле (см. табл. 3).

Таблица 3

Приведенная стоимость генерации электроэнергии (долл. США /кВт·ч)

Страны	Приведенная стоимость генерации наземными ВЭУ		Приведенная стоимость генерации СФЭС	
	2010 г.	2021 г.	2010 г.	2021 г.
Китай	0,083	0,028	0,381	0,034
Индия	0,090	0,030	0,132*	0,035
США	0,103	0,031	0,305	0,050
Европа	0,130	0,042	0,420	0,052
Мир в целом	0,102	0,033	0,417	0,048

* 2013 г.

Составлено автором по: [24; 25; 26; 32].

Как показывают данные табл. 3, стоимость выработки электроэнергии от ВЭС и СФЭС в Китае находится в пределах 3–4 центов за кВт·ч, что ниже издержек генерации электроэнергии на угольных электростанциях, газотурбинных станциях комбинированного цикла или АЭС. Снижение издержек и повышение конкурентоспособности технологий генерации «чистой» энергии открывает новые горизонты для формирования инновационной, не агрессивной к окружающей среде энергетики Китая.

Планы и прогнозы

В октябре 2021 г. обнародован «План действий по достижению пикового уровня выбросов углекислого газа до 2030 г. в КНР», в котором сформулированы основные направления «зеленой» трансформации экономики страны на период до 2030 г., определены задачи для энергетического хозяйства, в том числе конкретные цели в области чистой энергетики на этапе достижения пика эмиссии двуокиси углерода. Вот лишь некоторые из них:

- увеличить долю неископаемых источников в общем потреблении энергии до 25%;
- достичь более 1200 ГВт общей установленной мощности в ветровой и солнечной энергетике;

- увеличить установленные мощности в гидроэнергетике на 40 ГВт;
- достичь в ядерной энергетике установленной мощности 120 ГВт;
- обеспечить покрытие крыш новых общественных учреждений и фабричных зданий солнечными батареями не менее чем на 50%;
- обеспечить не менее чем на 70% экологически чистыми видами транспорта города с населением более 1 млн человек [11].

План действий предусматривает также: совершенствование механизма стимулирования развития возобновляемой энергетики; повышение стандартов энергоэффективности оборудования и оптимизацию структуры промышленности; широкое использование безуглеродных и низкоуглеродных технологий в сельском хозяйстве; ускорение и поощрение подготовки кадров для возобновляемой энергетики в институтах и университетах; активизацию НИОКР и ускорение продвижения передовых технологий в возобновляемой энергетике; запуск ряда крупных национальных проектов по стратегически важным прорывным низкоуглеродным, безуглеродным и углеродоотрицательным технологиям; включение достигнутых результатов в области «зеленых» технологий и декарбонизации в оценку деятельности институтов, университетов и государственных организаций [11].

В марте 2022 г. Национальная комиссия по развитию и реформам КНР опубликовала План развития современной энергетики на 2021–2025 гг., в котором определены приоритеты энергетической стратегии страны, в том числе в сфере возобновляемой энергетики на текущую пятилетку. Ключевыми среди них названы энергетическая безопасность и декарбонизация отрасли. Важнейшим инструментом обеспечения этих приоритетных направлений должна стать возобновляемая энергетика, прежде всего ветровая и солнечная.

Плановые задания предусматривают к 2025 г. 50%-е увеличение выработки электроэнергии от ВИЭ по сравнению с уровнем 2020 г., устанавливая долю «чистой» электроэнергии в потреблении электроэнергии на 2025 г. в 33%, в том числе для «чистой» электроэнергии, не связанной с гидроэнергетикой – в 18%. Предусматривается создание мощных баз генерации «чистой» энергии в пустынных районах страны. При этом расширение потенциала ее генерации в текущей пятилетке, в отличие от предыдущей, не предполагает безусловного свертывания угольной генерации. Работающие на угле энергетические объекты будут выполнять роль стабилизаторов формирующейся инновационной низкоуглеродной энергосистемы страны. Намечено также смещение акцентов в сфере инновационных разработок, связанных с «зеленой» энергетикой. В фокусе научных изысканий и инженерных решений будут находиться технологические инновации. Исследования в области рыночных реформ и разработки бизнес-моделей станут менее востребованными.

Перспективы развития возобновляемой энергетики в КНР оцениваются исследователями, как правило, оптимистично. По прогнозам китайских ученых из Университета Цинхуа, на пути к углеродной нейтральности доля ВИЭ в первичном энергопотреблении страны возрастет до 20% в 2030 г. и до 65–68% – в 2060 г. [35]. Прогноз, подготовленный специалистами Китайской государственной нефтегазовой компанией CNPC, предполагает чуть большие показатели – увеличение доли ВИЭ в первичном энергопотреблении в 2030 г. до 23,9%, и в 2060 г. – до 70,4%. При этом совокупная доля солнечной и ветровой энергетики в 2060 г., по оценкам CNPC, возрастет до 60%, а вклад гидроэнергетики уменьшится до 10 против 16% в 2020 г. [17].

Оптимистично оценивают перспективы развития возобновляемой энергетики Китая также и зарубежные аналитики. В 2023 г. компания British Petroleum опубликовала три возможных сценария энергоперехода китайской экономики к углеродной нейтральности. Первый из предложенных сценариев, получивший название новый импульс (New Momentum), предполагает снижение выбросов CO₂ к 2050 г. на 55% по сравнению с 2019 г., согласно второму сценарию – под названием ускоренный (Acceleration), снижение эмиссии двуоксида углерода составит 92%, третий вариант – чистый ноль (Net Zero) – предполагает снижение выбросов CO₂ на 99% к уровню 2019 г. [13; 21].

Показательно, что во всех трех сценариях предполагается существенный рост доли ВИЭ (без учета гидроресурсов) в первичном энергопотреблении: в сценарии новый импульс – до 38%, в ускоренном и нулевом сценариях – до 60 и 62% соответственно. Доля гидроресурсов к 2050 г. во всех трех сценариях определена в пределах до 8–13%. При этом доля угля по всем трем сценариям существенно уменьшится: в сценарии новый импульс – до 20%, в сценарии ускоренный и нулевой – до менее 5% [13].

Не оспаривая прогнозные оценки зарубежных аналитиков относительно долгосрочных перспектив развития возобновляемой энергетики в Китае, не следует, однако, переоценивать ее роль в настоящее время и в обозримом будущем.

Сокращать нельзя наращивать

При неоспоримых успехах в освоении ВИЭ основой китайской энергетики остается ископаемое топливо (83%). При этом главным энергоносителем выступает уголь, доля которого в энергопотреблении составляет 55% (см. табл. 4). Для сравнения: в США доля угля в первичном энергопотреблении всего 11%, в странах ЕС (в среднем) – 12%, в Японии – 27%.

Таблица 4

Доля источников энергии в первичном энергопотреблении в Китае (%)

Виды источников энергии	2000 г.	2010 г.	2021 г.
Ископаемые источники (уголь, нефть, газ)	93,9	91,7	82,7
в том числе уголь	69,6	70,0	54,7
Низкоуглеродные источники	6,1	8,3	17,3
в том числе:			
возобновляемые источники	5,7	7,6	15,0
ядерное топливо	0,4	0,7	2,3

Рассчитано и составлено автором по: [14].

В последние годы инвестиции в угольную промышленность КНР продолжают расти, увеличиваются мощности в угольной генерации. По оценкам экспертов Международного энергетического агентства, в 2022 г. из суммарного мирового прироста мощности в угольной генерации 95% пришлось на Китай [33].

Являясь основой китайской энергетики, уголь вместе с тем остается наиболее проблемным топливом для окружающей среды. Так, работающие на угле энергетические объекты дают 70% выбросов в атмосферу двуокиси углерода, 90% – двуокиси серы, 67% – оксидов азота. Учитывая проблемный характер этого вида топлива для окружающей среды, одной из важных задач энергетической стратегии Китая признается повышение экономической эффективности угольных ТЭС, разработка и внедрение экологически чистых технологий сжигания угля. Эта двуединая задача решается в КНР комплексно.

Одним из направлений ее решения стала модернизация энергетических объектов путем замены малых энергоустановок более крупными и мощными, с высоким КПД. Особое внимание уделяется оснащению ТЭС технологиями со сверхкритическими и сверхсверхкритическими параметрами пара, позволяющими увеличить КПД до 46–48% против 33–35% на энергоблоках старых образцов.

Другим направлением решения поставленной задачи стало внедрение технологий чистой переработки угля при теплогенерации. В соответствии с решениями правительства на всех вновь вводимых и на крупных (свыше 135 МВт) действующих энергоблоках в обязательном порядке должны использоваться десульфуризационные установки (ДСУ), позволяющие сократить выбросы двуокиси серы (SO₂), образующиеся в результате сжигания угля. Современные ДСУ обеспечивают эффективность улавливания SO₂ до 95%, при этом позволяют также удалять из дымовых газов от 40 до 70% оксидов азота.

Актуальным направлением декарбонизации энергетики Китая становится внедрение технологий CCUS (Carbon Capture, Utilization

and Storage – улавливания, использования и хранения углерода) на угольных ТЭС и на заводах по переработке угля в химикаты. Эти инновационные технологии включают улавливание углекислого газа при сжигании топлива стационарными источниками (например, работающими на ископаемом топливе электростанциями), очистку и транспортировку уловленного газа, использование его для производства полезных продуктов или захоронение в геологических пластах. Технологии CCUS позволяют снизить выбросы CO₂ на предприятиях, работающих на угле, практически до нуля [1]. Однако важно и то, что эти технологии очень затратные. Поэтому привлечение частных инвесторов к реализации проектов CCUS – задача непростая, и без государственной поддержки здесь не обойтись.

В настоящее время главными акторами реализации проектов CCUS являются государственные корпорации. В энергетическом секторе это Huaneng Group Corp, Huadian Group Corp, China Energy Group, в нефтегазовом секторе – Sinopec, CNPC, в металлургии – сталелитейные гиганты – Baowu Steel, Hebei Steel и др. По данным Глобального института технологий улавливания и хранения углерода (Global CCS Institute), в 2022 г. в Китае на различных стадиях разработки находилось более 50 проектов CCUS. Совокупная мощность действующих в стране установок по улавливанию CO₂ составляла около 3 млн т в год [34]. Как показывают эти данные, вклад технологий CCUS в декарбонизацию китайской экономики (энергетики в частности) пока невелик и составляет всего 0,026% от общих годовых выбросов CO₂ в стране (или 0,028% объема выбросов от сжигания ископаемого топлива, в частности, 0,037% от сжигания угля). К 2030 г. в стране планируется ввести в строй более тысячи новых ТЭС, работающих на технологиях чистого угля [6].

Барьеры на пути «озеленения»

Структурные сдвиги в энергетическом хозяйстве КНР в пользу генерации на основе ВИЭ, осуществляемые вместе с мерами по модернизации традиционных технологий в энергетике, стали одним из факторов заметного снижения показателя углеродоемкости экономики страны, рассчитанного как отношение общих выбросов двуокиси углерода к ВВП в соответствующий период (см. табл. 5).

Как показывают данные табл. 5, тенденция к снижению углеродоемкости китайской экономики в последние десятилетия проявляется вполне отчетливо. Тем не менее, несмотря на значительный прогресс в декарбонизации китайской экономики, углеродоемкость ее остается в разы выше, чем в других крупных экономических системах. Во многом это связано с лавиной долей угля и невысокой долей ядерного топлива

**Удельные выбросы двуокси углерода (тонн CO₂ / 1000 долл США ВВП)
(по ППС)**

Страны	2000 г.	2010 г.	2021 г.
Китай	0,72	0,68	0,45
Индия	0,36	0,31	0,25
Япония	0,25	0,23	0,20
США	0,39	0,31	0,21
ЕС-27	0,22	0,18	0,13
Мир в целом	0,34	0,32	0,26

Составлено автором по: [22].

в энергодбалансе страны, а также с доминированием в промышленности отраслей с высокой энергоемкостью и интенсивностью выбросов (металлургии, цементного производства) [15]. При этом замещение традиционных источников возобновляемыми источниками энергии в Китае наталкивается на целый ряд технических, административных и экономических барьеров:

- Одним из существенных препятствий на пути более широкого освоения возобновляемых источников являются административные барьеры, связанные с получением разрешений на строительство объектов возобновляемой энергетики. Действия центральных властей, направленные на вывод из эксплуатации объектов угольной генерации, сталкиваются с сопротивлением на местах, обусловленным риском роста безработицы и сокращением налоговых поступлений [7; 8]. В результате сроки согласования проектов на установку объектов возобновляемой энергетики затягиваются до 5 лет и более. В некоторых провинциях (Hunan, Henan, Shanxi) местная администрация не разрешает сооружение новых объектов ВЭ, аргументируя отказы разрушением ландшафта, дефицитом земельных площадей и др.
- Остаются не полностью решенными вопросы, связанные с интеграцией объектов возобновляемой энергетики в единую электросеть. Зависимость генерации на этих объектах от погодных условий, неравномерность выработки, возможные колебания выходной мощности при перемене скорости ветра и солнечного излучения существенно затрудняют планирование производства электроэнергии, вызывают необходимость строительства электростанций традиционного типа для стабилизации частоты в энергосети и поддержания надежного энергоснабжения. Коэффициент использования установленной мощности в ветроэнер-

гетике Китая остается все еще значительно ниже, чем у электростанций, работающих на газе (в 1,5 раза), на угле (почти вдвое) и на ядерном топливе (в 2,5 раза). КИУМ солнечных фотоэлектрических станций еще меньше (вдвое ниже ВЭС).

- Генерирующие объекты возобновляемой энергетики требуют значительно больших земельных площадей, чем электростанции, работающие на ископаемом топливе. Так, для производства количества электроэнергии, эквивалентного производству одной ТЭС, занимающей несколько десятков га, солнечной фотоэлектрической станции требуется площадь в 100 раз большая, а для ветропарка – в 250 раз большая. Замещение же ископаемых источников энергии гидроресурсами и строительство новых плотин вызывает затопление огромных территорий и вынужденное переселение миллионов людей, что ограничивает возможности экстенсивного роста гидроэнергетики.
- Ускоренное развитие ВЭ невозможно без использования редкоземельных металлов (РЗМ), уникальные свойства которых делают их незаменимыми в производстве ветровых турбинных генераторах, фотоэлектрических панелей для солнечной энергетики. Кроме того, они широко востребованы в атомной энергетике, в производстве энергосберегающих ламп, аккумуляторов для электромобилей, жидкокристаллических дисплеев телевизоров, ноутбуков, смартфонов и целого ряда других высокотехнологичных продуктов.

Китай щедро наделен РЗМ и является мировым лидером не только по запасам, но также по добыче и переработке редкоземельных руд. На него приходится более половины мировых запасов, свыше 60% добычи и 90% производства РЗМ [13; 28]. Обеспеченность Китая РЗМ дает ему дополнительные конкурентные преимущества на глобальном рынке «зеленого» бизнеса. Вместе с тем нельзя не отметить, что добыча РЗМ влечет за собой существенную проблему. Она заключается в том, что в породах, которые их обычно содержат, концентрация этих минералов очень низка. Кроме того, РЗМ невозможно найти по отдельности, они перемешаны в горных породах друг с другом, а зачастую и с радиоактивными элементами. Для выработки даже небольшого количества РЗМ необходимо извлечь и переработать огромное количество руды, что связано с образованием большой массы отходов и загрязнением окружающей среды. Производство одной тонны РЗМ генерирует 12 тыс. т жидких и 2 тыс. т твердых отходов. При этом в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ и токсинов, включая диоксид углерода [28]. Таким образом, начальные звенья производственной цепочки «зеленой» энергетики представляются отнюдь не зелеными;

- Нельзя не принять во внимание и то, что сложившаяся в Китае энергетическая система, основанная на ископаемом топливе, – это огромный сложный механизм, порождающий колоссальные доходы и включающий не только технологические, но также финансово-экономические, социально-политические компоненты. Многочисленные институты обеспечивают функционирование сложившейся энергетической системы, устанавливают соответствующие технические стандарты, нормы, правила, процедуры, регулируют финансовые и товарные потоки, готовят для нее квалифицированные кадры. Огромная армия людей разных профессий обеспечивает функционирование этой системы, получает от этой системы свои доходы, идентифицирует себя с ней и не испытывает мотиваций к ее изменениям.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- в последнее десятилетие Китай значительно укрепил свои позиции в качестве мирового лидера в ключевых секторах возобновляемой энергетики, заметно увеличил отрыв от идущих следом конкурентов по суммарной установленной мощности и по объему генерации в ветро-, солнце-, гидро-, биоэнергетике;
- в стране создана мощная индустрия по производству оборудования и комплектующих для СФЭС и ВЭС, обеспеченная отечественной сырьевой базой, в том числе редкоземельными минералами, необходимыми для производства «зеленого» оборудования;
- не ограничиваясь статусом фабрики мира по производству оборудования для возобновляемой энергетики, Китай последовательно наращивает научно-технический потенциал, уверенно продвигаясь к мировому лидерству также в сфере «зеленых» НИОКР и инноваций;
- щедрое финансирование от государства и бизнес-сектора получают не только НИОКР и инновации, ориентированные на использование ВИЭ, но и прорывные инновационные разработки в области традиционной энергетики;
- накопленный потенциал в освоении ВИЭ и сопряженных высокотехнологичных производств формирует благоприятные предпосылки для повышения роли страны во всей глобальной цепочке создания стоимости «чистой» энергии;
- главным инструментом государственного регулирования энергетического хозяйства остается планирование. В пятилетних планах (2021–2025 гг.) развитие возобновляемой энергетики определяется как ключевое направление декарбонизации энергетики

- и необходимый атрибут энергетической безопасности. Важной составной частью государственной поддержки возобновляемой энергетики стал механизм экологического регулирования, включающий квоты на выбросы углекислого газа, зеленые сертификаты, торговлю квотами на выбросы, штрафные санкции к предприятиям за невыполнение установленных квот и др.;
- катализатором трансформации структуры производства энергии и энергопотребления в пользу возобновляемой энергетики в КНР выступает государство. Отлаженный механизм государственного регулирования, сочетающий богатый арсенал административных мер и широкий набор инструментов кредитно-денежной и фискальной политики, позволяет правительству страны обеспечивать рациональное использование имеющихся энергетических и финансовых ресурсов, научно-технический потенциал для формирования инновационной низкоуглеродной энергетики с учетом международной экологической повестки;
 - в обозримой перспективе традиционная энергетика не утратит своего существенного значения из-за той огромной роли, которую она и созданная для нее инфраструктура играют в экономике Китая. Ни «зеленые», ни традиционные технологии генерации не имеет абсолютных преимуществ и не в состоянии решить все задачи, стоящие перед огромной экономикой страны;
 - новые технологии в сфере использования возобновляемых энергоносителей и ископаемого топлива рассматриваются не как альтернативные, а как дополняющие друг друга в процессе формирования углеродонейтральной энергетики, как симбиоз, обеспечивающий эффективное использование различных технологий генерации и источников энергии, с учетом их ресурсного потенциала, технологического и регионального предпочтения. В эпоху цифровизации и искусственного интеллекта и традиционная, и новая энергетика получают шанс преодолеть технологические, экономические и институциональные барьеры на пути к устойчивому развитию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание диоксида углерода: проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. 2020. Т. 27. № 3. С. 103–115.
2. Горбачева Н.В. Динамика инновационной деятельности традиционной и возобновляемой энергетики // Инновации. 2019. № 5. С. 35–45.
3. Жуков С.В., Резникова О.Б. Энергетический переход в США, Европе и Китае: новейшие тенденции // Проблемы прогнозирования. 2023. № 4. С. 15–31.
4. Клавдиенко В. Налоговое стимулирование инновационной активности предприятий в Китае // Общество и экономика. 2018. № 7. С. 39–50.

5. Клавдиенко В.П. Возобновляемая энергетика в странах БРИКС: контуры мейнстрима // Инновации. 2019. № 8. С. 82–87.
6. Кранина Е.И. Китай на пути к достижению углеродной нейтральности // Финансовый журнал. 2021. № 5. С. 51–61.
7. Луконин С.А., Аносов Б.А. Китай: декарбонизация экономики и следование принципам ESG // Федерализм. 2021. Т. 26. № 3 (103). С. 192–205.
8. Макеев Ю.А., Салицкий А.И., Семенова Н.К. Декарбонизация в Китае: проблемы осуществления энергоперехода и финансирования // Восток (Oriens). 2022. № 1. С. 89–105.
9. Макеев Ю.А., Салицкий А.И., Семенова Н.К., Чжао Синь. Энергетический переход в Китае: перспективы и препятствия // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2022. № 2. С. 9–32.
10. Матвеев В.А. Современная энергетическая политика Китая: внешние и внутренние вызовы. М.: ИДВ РАН, 2022.
11. Action Plan for Carbon Dioxide Peaking before 2030 // National Development and Reform Commission, People's Republic of China. October 27, 2021.
12. An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China. IEA, 2021.
13. BP Energy Outlook. 2023. Edition.
14. BP Statistical Review of World Energy. 2022. 71-st Edition. London. UK, 2022.
15. Chang N. Changing Industrial Structure to Reduce Carbon Dioxide Emission: a Chinese Application // Energy Policy. 2015. Vol. 103. No 9. Pp. 40–48.
16. China Energy Transition Status Report // P.R. China. Beijing, 2021.
17. China National Petroleum Corporation. World and China Energy Outlook. China. Beijing, 2022.
18. Energy Technology Innovation. IEA, 2022.
19. Energy Transition Investment Trends. 2022. Bloomberg NEF, 2022.
20. Financing Clean Energy in Developing Asia / Ed. By B. Susantono, Y. Zhai. Ram M. Shrestha, L. Mo. ADB, 2021.
21. Global energy outlook 2023: Sowing the Seeds of an Energy Transition. IEA. March, 2023.
22. Global Energy Review: CO2 Emission. IEA, 2022.
23. IRENA (2023) Renewable Capacity Statistics. Abu Dhabi, 2023.
24. IRENA (2023) Renewable Energy Statistics. 2023. Abu Dhabi, 2023.
25. IRENA (2022) Renewable Power Generation Costs, 2022. Abu Dhabi, 2022.
26. IRENA (2022) Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping Progress in Cost, Patents and Standards. Abu Dhabi, 2022.
27. IRENA (2022) Renewables 2022. Analysis and Forecast to 2027. IEA, 2022.
28. IRENA (2022) World Energy Transition Outlook 2022: 1,5 C° Pathway. Abu Dhabi, 2022.
29. Levelized Costs of New Generation in the Annual Energy Outlook 2022 // Independent Statistics & Analysis. US Energy Information Administration, 2022.
30. Li J., Wang X. Energy and Climate Policy in China Twelve Five Plan: A paradigm shift // Energy Policy. 2012. Vol. 41. No 2. Pp. 519–528.
31. Lyu Ch., Xie Z., Li Z. Market Supervision, Innovation Offsets and Energy Efficiency: Evidence from Environmental Pollution Liability Insurance in China // Energy Policy. 2022. Vol. 171 (C).
32. Tracking Clean Energy Innovation. Focus on China // IEA, 2022.

33. World Energy Investment. IEA, 2023.
34. Wu Y. Repositioning CCUS for China's Net-Zero Future /Melbourne. Global CCS Institute, 2022.
35. Zhao F., Bai F., Liu X., Liu Z. A Review on Renewable Energy Transition under China's Carbon and Neutrality Target // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 22.

REFERENCES

1. Akhmetova V.R., Smirnov O.V. Carbon dioxide capture and storage – problems and perspectives // Bashkir Chemical Journal. 2020. Vol. 27. No. 3. Pp.103–115. (In Russ.).
2. Gorbachova N.V. Innovations in conventional and renewable power generation. Comparative analysis // Innovations. 2019. No. 5. Pp. 35–45. (In Russ.).
3. Zhukov S.V., Reznikova O.V. Energy transition in the United States, Europe and China: latest trends // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 4. Pp. 439–449. (In Russ.).
4. Klavdienko V. Tax incentives for business enterprises to engage in innovative activity and research in China // Society and Economy. 2018. No. 7. Pp. 39–50. (In Russ.).
5. Klavdienko V.P. Renewable energy in BRICS: contours of mainstream // Innovations. 2019. No. 8. Pp. 82–87. (In Russ.).
6. Kranina E.I. China on the way to achieving carbon neutrality // Financial Journal. 2021. Vol.13. No. 5. Pp. 5–161. (In Russ.).
7. Lukonin S.A., Anosov B.A. China: decarbonising the economy and adhering to the ESG principles // Federalism. 2021. Vol 26. No. 3. Pp. 192–205. (In Russ.).
8. Makeev Yu.A., Salitski A.I., Semenova N.K. Decarbonization in China: energy transition and financing challenges // Vostok (Oriens). 2022. No. 1. Pp. 89–105. (In Russ.).
9. Makeev Yu. A., Salitski A.I., Semenova N. K., Xin Zh. Energy transformation in China: perspectives and obstacles // Outlines of Global Transformations: Politics. Economics. Law. 2022. Vol. 15. No. 2. Pp. 9–32. (In Russ.).
10. Matveev V.A. Modern energy policy of China: external and internal challenges. Moscow. IFES RAS, 2022. (In Russ.).
11. Action Plan for Carbon Dioxide Peaking before 2030 // National Development and Reform Commission, People's Republic of China, October 27, 2021.
12. An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China. IEA, 2021.
13. BP Energy Outlook, 2023. Edition.
14. BP Statistical Review of World Energy.2022. 71-st Edition. London. UK, 2022.
15. Chang N. Changing Industrial Structure to Reduce Carbon Dioxide Emission: a Chinese Application // Energy Policy. 2015. Vol. 103. 9. Pp. 40–48.
16. China Energy Transition Status Report // P.R. China. Beijing, 2021.
17. China National Petroleum Corporation. World and China Energy Outlook. China. Beijing, 2022.
18. Energy Technology Innovation. IEA, 2022
19. Energy Transition Investment Trends. 2022. Bloomberg NEF, 2022.
20. Financing Clean Energy in Developing Asia / Ed. By B. Susantono, Y. Zhai, Ram M. Shresha, L. Mo. ADB, 2021.
21. Global energy outlook 2023: Sowing the Seeds of an Energy Transition. IEA, March. 2023.
22. Global Energy Review: CO2 Emission. IEA, 2022.
23. IRENA (2023) Renewable Capacity Statistics. Abu Dhabi, 2023.

24. IRENA (2023) Renewable Energy Statistics, 2023. Abu Dhabi, 2023.
25. IRENA (2022) Renewable Power Generation Costs. 2022. Abu Dhabi, 2022.
26. IRENA (2022) Renewable Technology Innovation Indicators: Mapping Progress in Cost, Patents and Standards. Abu Dhabi, 2022.
27. IRENA (2022) Renewables 2022. Analysis and Forecast to 2027. IEA, 2022.
28. IRENA (2022) World Energy Transition Outlook 2022: 1,5 C° Pathway. Abu Dhabi, 2022.
29. Levelized Costs of New Generation in the Annual Energy Outlook 2022 // Independent Statistics&Analisis. US Energy Information Administration, 2022.
30. *Li J., Wang X.* Energy and Climate Policy in China Twelve Five Plan: A paradigm shift // *Energy Policy*. 2012. No. 2. Pp. 519–528.
31. *Lyu Ch., Xie Z., Li Z.* Market Supervision, Innovation offsets and Energy Efficiency: Evidence from Environmental Pollution Liability Insurance in China // *Energy Policy*. 2022. Vol. 171 (C).
32. Tracking Clean Energy Innovation. Focus on China // IEA, 2022.
33. World Energy Investment. IEA, 2023.
34. *Wu Y.* Repositioning CCUS for China`s Net-Zero Future / Melbourne. Global CCS Institute, 2022.
35. *Zhao F., Bai F., Liu X., Liu Z.* A Review on Renewable Energy Transition under China`s Carbon and Neutrality Target // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 22.

Дата поступления рукописи: 08.06.2023 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Клавдиенко Виктор Петрович – доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-5929-2755

viklav8@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Viktor P. Klavdienko – Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Leading Researcher, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-5929-2755

viklav8@mail.ru

RENEWABLE ENERGY IN CHINA: TRENDS, INNOVATIONS, PROSPECTS

The article examines the main trends and specifics of renewable energy development in China in the context of the current transformation of the global energy economy. The author identifies the factors promoting rapid growth of key sectors of green energy, describes the priority areas of R&D and innovative technological transformations in this field in China, and provides data on the volume and structure of their financing. A comparative analysis of the capacity factor and LCOE of various generation technologies in China and a number of other countries was carried out, and the prospects and problems of further development of China's renewable energy on the way to carbon neutrality were considered.

Keywords: *renewable energy, fossil fuels, energy transition, world economy, China.*

JEL: F63, Q42.