

Сергей ПОПОВ
Дарья МАКСАКОВА
Олег БАЛДЫНОВ

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОВОДОРОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Дата поступления в редакцию: 29.12.2021.

Для цитирования: *Попов С. П., Максакова Д. В., Балдынов О. А., 2022. Оценка возможностей и направлений создания электроводородной инфраструктуры в Северо-Восточной Азии. – Геоэкономика энергетики. № 1 (17). С. 132–155.*
DOI: 10.48137/2687-0703_2022_17_1_132

ПОПОВ Сергей Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела комплексных и региональных проблем энергетики Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. **Адрес:** Российская Федерация, г. Иркутск, 664033, ул. Лермонтова, д. 130. **E-mail:** popovsp@isem.irk.ru. **SPIN-код:** 7808-7448. **ORCID:** 0000-0002-9060-2317.

МАКСАКОВА Дарья Владимировна, младший научный сотрудник отдела комплексных и региональных проблем энергетики Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. **Адрес:** Российская Федерация, г. Иркутск, 664033, ул. Лермонтова, д. 130. **E-mail:** maksakova@isem.irk.ru. **SPIN-код:** 8561-2944. **ORCID:** 0000-0003-3824-3668.

БАЛДЫНОВ Олег Александрович, младший научный сотрудник отдела комплексных и региональных проблем энергетики Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. **Адрес:** Российская Федерация, г. Иркутск, 664033, ул. Лермонтова, д. 130. **E-mail:** oabaldynov@isem.irk.ru. **SPIN-код:** 7435-1955. **ORCID:** 0000-0002-8400-9613.

Ключевые слова: энергетический переход, энергоносители, водородные технологии, Северо-Восточная Азия, модели, институты международного энергетического сотрудничества.

Финансирование: Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 20-014-00024 «Разработка методического подхода и научного инструментария для оценки влияния водородных технологий на энергетическое сотрудничество в Северо-Восточной Азии».

В статье рассматривается цель и возможный подход России к участию в создании электроводородной инфраструктуры нового энергетического рынка в регионе Северо-Восточной Азии — водородоносителей. Технологически развитые страны Восточной Азии взяли курс на ускоренное развитие водородных технологий, которые будут являться одним из ключевых факторов при создании низкоуглеродной энергетики. При этом прежняя зависимость от экспортёров углеводородов, угля и ядерного топлива в силу природно-географических ограничений и масштабов энергопотребления сменится для этих стран на зависимость от экспортёров зелёных энергоносителей на основе возобновляемых источников энергии.

Для оценки масштабов и условий создания в регионе Северо-Восточной Азии новых энергетических рынков в условиях коммерциализации водородных технологий авторами был разработан методологический подход, который сочетает инструментарий технико-экономического моделирования с анализом институтов международного энергетического сотрудничества. Были получены оценки стоимости производства зелёного сжиженного водорода для условий Монголии и Японии, рассмотрен сценарий наличия региональной электро-энергетической инфраструктуры в Северо-Восточной Азии.

Сформулированы рекомендации по выбору перспективных для России направлений участия в создании электроводородной инфраструктуры новых региональных рынков водородоносителей и водородных технологий. Перечислены технико-экономические, институциональные и политические условия создания электроводородной инфраструктуры в Северо-Восточной Азии на фоне глобальной парадигмы перехода к низкоуглеродной энергетике, повышения доли возобновляемых источников энергии в структуре потребления первичной энергии и в конечном итоге реструктуризации экономики стран Северо-Восточной Азии на новой технологической базе. Выводы согласуются с принятой Правительством России Концепцией развития водородной энергетики и дополняют её в части направлений создания новых международных энергетических рынков.

Введение

Роль стран Восточной Азии* (ВА) и, в более широком охвате, Индо-Тихоокеанского региона, в формировании мировых энергетических рынков позволяет оценить представленный в таблице 1 список десяти крупнейших мировых импортёров энергоресурсов в 2020 г. Четыре из шести стран ВА занимают в нём соответственно первое, третье, четвёртое и восьмое места.

* Страны Восточной Азии — Китай (включая провинцию Тайвань), Япония, Республика Корея и Корейская Народная Демократическая Республика, Монголия — совместно с Россией формируют регион Северо-Восточную Азию (СВА).

Таблица 1

Крупнейшие мировые импортёры энергоносителей в 2020 г., млн т н. э.

Страна	Энергоносители					
	нефть	нефте- продукты	природ- ный газ	уголь	электро- энергия	уран (по ус- лугам обо- гащения)
Китай	541	—5	106	179	—1	0
Индия	201	—12	28	119	0	17
Япония	123	27	79	100	0	15
Республика Корея	133	—25	44	71	0	60
Германия	83	12	68	17	—2	—41
США	124	—130	—66	—35	4	229
Франция	33	31	31	6	—4	12
Тайвань	38	3	18	38	0	12
Турция	29	12	40	25	0	0
Италия	52	—10	55	4	3	0

Примечание: отрицательные значения означают нетто-экспорт соответствующего энергоносителя.

Источник: расчёты авторов на основе *Enerdata World Energy & Climate Statistics — Yearbook 2021*, *BP Statistical Review of World Energy 2021*, *World Nuclear Association. Facts and Figures*.

Представление о долгосрочном развитии энергетических рынков в последние годы претерпевает стремительную и существенную трансформацию. В соответствии со сценариями «Заявленные цели» и «Чистый ноль» (*Stated Policy* и *Net Zero Emission*) Международного энергетического агентства Организации экономического сотрудничества и развития [*World Energy Outlook, 2021*]¹ объём мировой торговли энергоносителями и критическими минералами (платиноиды, кобальт, литий и т. п.) либо останется на существующем уровне, либо значительно снизится (табл. 2). Структура мировой торговли сырьевого сектора должна будет радикально измениться. Если в сценарии традиционно-эволюционного развития энергетики мира невозобновляемые энергоресурсы (НВЭР) должны были бы составлять к 2050 г. 75 % стоимостной оценки мировых энергетических рынков, то при реализации сценария «Чистый ноль» и общем снижении

¹ World Energy Outlook 2021. IEA // <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, дата обращения 27.12.2021

объёма такой торговли на 40 % (в сравнимых ценах) они будут «весить» всего 18 %. Стоимостная оценка масштабов торговли при этом сценарии будет почти в 9 раз меньше для нефти, в 4 раза меньше для угля и природного газа, но зато в 3 раза больше для водорода и более чем в 1,5 раза больше для критических минералов.

Таблица 2

Оценки изменений мировой торговли в сырьевом секторе энергетики для крайних сценариев развития мировой энергетики, млрд долл. (2020 г.)

Сырьевые элементы энергетических рынков	2019 г.	2050 г.	
		Заявленные цели	«Чистый ноль»
Нефть	990	870	99
Природный газ	210	180	45
Уголь	135	75	18
Водород	0	105	315
Критические минералы	165	270	423
Всего	1500	1500	900

Источник: *World Energy Outlook 2021, IEA.*

Принятие парадигмы энергоперехода к началу второго десятилетия текущего века позволяет глобальному капиталу перенаправить инвестиционные потоки на новые создаваемые рынки. К ним относятся инновационные технологии, оборудование и услуги, обеспечивающие повышение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в структуре энергопотребления, повышение энергетической эффективности и экологичности систем энергоснабжения. Водородные технологии занимают весомую часть этих «новых» рынков, поскольку в условиях преобладания ВИЭ в структуре полного потребления энергоресурсов они являются ключевыми при повышении степени электрификации энергетических услуг, включая все виды транспорта, а также для создания инфраструктуры низкоуглеродной энергетики.

В широком подтексте понятие «энергопереход» обозначает основной механизм преодоления системного глобального финансово-политического кризиса начала XXI в. Под ним понимается ускоренная и жёсткая реализация стратегии отказа от использования НВЭР в качестве основы всей энергетики с целью её «декарбонизации».

Анализ зависимости крупных потребителей энергии от импорта НВЭР и структуры ресурсной обеспеченности национальных и частных компаний

в секторе добычи, транспортировки и переработки/потребления наиболее эффективных энергоносителей — нефти и природного газа — указывает на то, что крупные импортёры энергоресурсов зачастую не имеют доступа к этим ресурсам вследствие политических, экономических и законодательных ограничений.

У стран ОЭСР* и ряда других значимых энергопотребителей, например Китая и Индии, зачастую отсутствует контроль над всей цепочкой поставок НВЭР. Возрастание значимости этой проблемы иллюстрируется таблицей 3, в которой для крупнейших мировых импортёров энергоресурсов, наряду с изменением абсолютных объёмов полного потребления энергоресурсов за период с 2000 по 2020 г., приведены соответствующие доли импорта в суммарном энергопотреблении. На фоне снижения общего уровня энергопотребления в Японии, Германии и Великобритании за два десятилетия только Японии удалось незначительно снизить импортную зависимость — с 97 до 93 %.

Роль зелёного водорода в вытеснении НВЭР и технологических изменениях, перестраивающих структуру экономики в соответствии с парадигмой современного энергетического перехода, является многогранной.

Во-первых, он призван обеспечить повышение эффективности использования экономического и технического потенциалов ВИЭ при преобразовании вырабатываемой ими электроэнергии в топливные энергоносители за счёт применения электролиза на месте генерации и исключения потерь уже сгенерированной электроэнергии в случаях ограничений по пропускной способности ЛЭП.

Во-вторых, произведённый методом электролиза зелёный водород, хранящийся в узлах своего производства либо транспортированный с использованием элементов водородной инфраструктуры ближе к потребителям, может быть использован для регенерации запасённой энергии ВИЭ (то есть для производства электроэнергии). Такая процедура позволит повысить эффективность электроэнергетических систем как в режимах оперативного диспетчерского управления в условиях превалирования волатильных ВИЭ в структуре генерации, так и при прохождении критических периодов обеспечения потребителей электроэнергией, обусловленных сезонными изменениями в генерации ВИЭ. Зелёный водород при его использовании для вытеснения традиционного моторного топлива и повышения эффективности электрификации всех видов транспорта не будет увеличивать углеродный след энергетики.

* ОЭСР — Организация экономического сотрудничества и развития.

Таблица 3

Изменение зависимости от импорта энергоресурсов для ряда субъектов мировой экономики

Субъекты	2000 г.		2020 г.	
	млн т н.э.	доля импорта в суммарном энергопотреблении, %	млн т н.э.	доля импорта в суммарном энергопотреблении, %
Европейский союз	1475	59	1307	61
в т. ч. Германия	337	61	275	66
Великобритания *	223	-18	154	29
Индия	441	24	908	51
Китай	1130	2	3381	24
Япония	520	97	386	93
Республика Корея	190	99	283	99

* В 2000 г. Великобритания являлась нетто-экспортёром энергоресурсов.

Источник: расчёты авторов на основе World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2021; Statistical Review of World Energy 2021; World Nuclear Association. Facts and Figures.

Вместе с тем (для ряда экономик ВА — на ближайшие десятилетия) энергетический переход будет прежде всего принимать форму вытеснения угля природным газом. Кроме того, производство водорода методом парового риформинга метана является наиболее эффективной технологией с точки зрения стоимостных показателей, и она будет основой коммерциализации водородных технологий. При принятии решений на основе климатического критерия решающее значение имеет тот факт, что при сжигании природного газа образуется наименьшее количество загрязняющих веществ и парниковых газов по сравнению с другими НВЭР (за исключением атомной энергии). Так называемый углеродный след атомной и газовой энергетики существенно меньше, чем последствия сжигания нефти и угля.

Понятие электроводородной системы

Электроводородная система рассматривается в качестве объекта, характеризующего в качестве единого целого материальный комплекс энергетической инфраструктуры и систему социальных, экономических, правовых, организационных политических и международных институтов по обеспече-

нию общественной потребности в энергоносителях, представленных электроэнергией и водородоносителями*.

Электроводородная энергетическая инфраструктура представляет собой подсистему технологических объектов в составе электроэнергетической системы, обеспечивающую производство, хранение и отгрузку, транспортировку водородоносителей, а также регенерацию электроэнергии (генерация электроэнергии с использованием водородоносителей, ранее произведённых методом электролиза). Для стационарной энергетики в качестве объектов регенерации электроэнергии могут выступать турбинные установки на водороде или зелёном аммиаке, топливные элементы (в том числе когенерационные установки). Для мобильной энергетики, к которой относятся все виды транспорта, топливные элементы, турбинные установки или уже привычные нам двигатели внутреннего сгорания могут потреблять сжатый или сжиженный водород, аммиак, синтетические газы или даже синтетические топлива, которые являются аналогами традиционных моторных топлив. Важным элементом процесса регенерации для мобильных установок может выступать возможность их подключения к локальным электроэнергетическим сетям, создавая «мобильную» распределённую генерацию.

Институты электроводородной системы должны представлять взаимосвязанные технические, экономические, финансовые, инвестиционные, социальные и политические регламенты, правила и нормативы, способствующие наиболее эффективному, по мнению акторов, развитию и функционированию электроводородной энергетической инфраструктуры. В случае когда какой-либо элемент этой инфраструктуры (объект технологической цепочки) находится в экономическом пространстве другого государства, институты переходят на международный уровень. При наличии акторов из более чем двух государств будут формироваться многосторонние институты международной электроводородной системы.

Роль водородных технологий в стратегии перехода к низкоуглеродной энергетике в странах Северо-Восточной Азии

Правительство России утвердило Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 г. в июне 2020 г. [Об утверждении Энергетической..., 2020], в августе 2021 г. была принята Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации [Об утверждении Концепции..., 2021]. Согласно данным документам основным направлением развития водородной энергетики в России является экспорт водорода с до-

* Водородоносители — топливные энергоносители, производимые на основе водорода с использованием водородных энергетических технологий, в частности электрохимическими методами.

ведением его объёмов до 12 млн т к 2035 г. и до 50 млн т к 2050 г. Предполагается, что в силу значимости ряда технико-экономических показателей, в первую очередь стоимости электролизёров и низкого КИУМ ВИЭ, на первых этапах электролиз низкоуглеродного водорода будет осуществляться с использованием потенциала атомной и гидравлической энергии, а уже в долгосрочной перспективе — в основном на базе электроэнергии от возобновляемых источников энергии, т. е. так называемого зелёного водорода.

В качестве примера лавирования между политикой глобальных акторов, внедряющих институты энергетического перехода, и национальными интересами (социальными, политическими, и геополитическими) предлагается рассматривать Стратегию зелёного роста экономики Японии [*Green Growth...*, 2021], которая была принята правительством этой страны в июне 2021 г., а также аналогичный комплекс стратегических документов, принятых на государственном уровне в Китае в преддверии *COP-26* в Глазго.

Цель Стратегии зелёного роста Японии состоит в том, что с осознанием возможностей инновационных технологий (в первую очередь связанных с полной цепочкой энергоснабжения всех отраслей экономики и общества), их использование стали связывать не со стоимостью «снижения выбросов CO_2 », а с достижением существенных положительных социальных эффектов, которые выходят далеко за рамки «борьбы с изменениями климата», и позволяют активно трансформировать социально-экономические условия для дальнейшего развития Японии. В количественном выражении эти эффекты до 2050 г. оцениваются в 290 трлн иен (примерно 2,6 трлн долл. 2020 г.) и обеспечение занятости 18 млн человек. Из 14 секторов экономики, которые должны обеспечить реализацию этой стратегии, 11 непосредственно связаны с энергетикой (в том числе с транспортом как основным видом мобильных энергоустановок) и добычей/захоронением минералов и веществ, участвующих в развитии и функционировании новой энергетической инфраструктуры общества.

В апреле 2016 г. Национальная комиссия по развитию и реформам и Национальное энергетическое управление Китая опубликовали План мероприятий в области инноваций в сфере энергетических технологий на 2016—2030 гг. [План мероприятий..., 2016]. Ожидается, что в ближайшее время (зима — весна 2022 г.) Китай обнародует среднесрочный и долгосрочный национальные планы по развитию водородной энергетики. Пока свои планы по развитию водородных технологий опубликовали 23 провинции и муниципалитета — три четверти регионов страны [Сёмушкин, 2021].

Япония и Республика Корея не обладают достаточными ресурсами для удовлетворения будущего спроса на водород и уже заявили о необходимости импорта водорода из-за рубежа. Данный факт отражён в Водородной стратегии, разработанной Министерством экономики, торговли и промышленности Японии в 2017 г. [*Basic Hydrogen Strategy...*, 2017], а также в

дорожной карте по развитию водородной экономики, подготовленной Министерством торговли, промышленности и энергетики Республики Корея в 2019 г. [Правительство публикует..., 2019].

Китай находится в более выигрышном положении, в отличие от Японии и государств Корейского полуострова, так как природно-климатические условия Синьцзян-Уйгурского автономного района, Внутренней Монголии и прибрежных районов с их акваториями обладают очень благоприятными характеристиками для создания высокоэффективных солнечных и ветровых генераторов, и как следствие — для производства зелёного водорода.

Тайвань также поддерживает курс на создание низкоуглеродной экономики и развитие водородной энергетики. Планируется, что к 2025 г. будут построены 20 ГВт мощности солнечной и 5,6 ГВт — морской ветровой генерации электроэнергии. Активно ведётся международное сотрудничество, в частности с Великобританией в сфере разработке технологий и Австралией в области развития водородных технологий и торговли ресурсами [Pekic, 2021]. В целях объединения усилий государства и частного бизнеса по развитию водородных технологий Министерство энергетики Тайваня создало Альянс по продвижению водородной энергетики².

В Монголии и КНДР, несмотря на огромный технический и экономический потенциал ВИЭ для первой и достаточно высокий — для второй, в настоящее время водородные технологии не показывают значительных успехов в своём развитии.

Дополнительно к вышеперечисленным инициативам стран ВА в области водородной энергетики обзор планов по развитию зелёного водорода в странах региона выполнен в публикации [Корнеев, 2021].

Методический подход к исследованию

В основу развиваемой в ИСЭМ СО РАН* и используемой авторами методологии исследований внешних энергетических рынков заложено два взаимосвязанных междисциплинарных основания.

Первым является проверенный инструментарий оптимизационного и имитационного моделирования процессов развития систем энергоснабжения — на уровне как отраслевых систем, так и целостной национальной системы энергоснабжения. В качестве второго основания выступает подтверждаемая практикой методика анализа национальных и международных энергетических институтов, таких как институты ценообразования, форми-

² Taiwan-Australia Hydrogen Trade and Investment Dialogue Explores Opportunities for Cooperation on Hydrogen Energy Development // <https://www.moea.gov.tw/>, дата обращения 27.12.2021

* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

рования энергетической стратегии, реализации энергетической политики, международной кооперации и другие.

Для оценки технико-экономических показателей производства зелёного водорода для различных локаций авторами совместно с В. А. Шакировым и А. В. Колосницыным была разработана оптимизационная математическая модель комплекса по производству сжиженного водорода исключительно с использованием возобновляемых источников энергии.

Целью применения данной модели является определение эффективности производства сжиженного водорода с использованием солнечной и ветровой энергии, что позволит давать оценку предпосылок к созданию национальной или международной электроводородной инфраструктуры.

Анализ полученных с использованием этой модели оценок эффективности производства зелёного сжиженного водорода совместно с результатами исследований институтов зарождающегося рынка водорода позволяет авторам сформулировать свою обоснованную позицию о перспективах и направлениях участия России в формировании международной электро-энергетической инфраструктуры в регионе Северо-Восточной Азии.

Используемая методология анализа энергетических институтов основывается на опыте изучения процессов многостороннего энергетического сотрудничества, выполненного для региона АТЭС при исследовании интеграционных процессов в области энергетики [*Understanding...*, 2007; *Understanding...*, 2008; *Попов*, 2013]. В соответствии с ним, методы достижения целей сотрудничества (рис. 1) подразделяются на твёрдые и мягкие.

Твёрдые методы кооперации включают развитие энергетической инфраструктуры, финансовые инструменты и правовые механизмы.

К мягким относятся совместное выполнение НИОКР, обмен информацией, образование и повышение квалификации (то есть воспитание кадров и подготовка общественного мнения). Мягкие методы необходимы для формирования перечня условий и предпосылок к применению твёрдых. Иными словами, мягкие методы являются основой для обеспечения процесса нахождения баланса интересов акторов.

Механизмы управления процессом энергетического перехода основаны на указанных методах энергетического сотрудничества. В настоящее время они достигли стадии реформирования существующих правовых механизмов и финансовых инструментов. В 2021 г. фактически началась демонстрация неотвратимости и масштабности процесса имплементации Парижского соглашения [*Ибрагимова*, 2021; *Конопляник*, 2021a; *Конопляник*, 2021b; *Конопляник*, 2021c], что свидетельствует о переходе на завершающий этап формирования нормативной базы и инвестиционных механизмов многостороннего сотрудничества, об ускорении процесса отказа развитых стран от структуры потребления первичной энергии, основанной на НВЭР, и максимизации доли ВИЭ.

Методы	Цели энергоснабжения	
	Надёжность	Экологичность
	Развитие энергетической инфраструктуры	
	Финансовые инструменты	
	Правовые механизмы	
	НИОКР	
	Информационный обмен	
	Образование и повышение квалификации	

Рис. 1. Структуризация многосторонних энергетических инициатив: цели и методы

«Переход к новой энергетике будет сопровождаться постоянными ценовыми шоками и колебаниями, поскольку мировая энергополитика не сбалансирована в силу целого ряда проблем, например преобладания политики над экономикой и технологиями. В таких условиях уровень хаотичности энергосистемы повышается и, похоже, снижаться он не будет», — заявил директор Фонда энергетического развития С. Пикин³.

Созданы зелёные финансовые инструменты [Зелёные финансы..., 2018]^{*} и экономические рычаги, формирующие финансово-экономические механизмы привлечения инвестиций в зелёную энергетику [Тютюкина, Силпагар, 2019]. К зелёным финансовым инструментам относят:

- зелёные депозиты;
- кредиты и займы;
- ценные бумаги;
- инвестиционные портфели;
- краудфандинг;
- зелёные сертификаты;
- гранты;
- гарантии;
- бюджетные ассигнования и субсидии;
- целевые программы и др.

В число экономических рычагов управления развитием энергетики входят налоговые льготы и система обязательных платежей, связанных с воздействием на окружающую среду. Данный перечень может быть расширен

³ Ветер в голове. Нефть и капитал // <https://oilcapital.ru/article/general/21-12-2021/veter-v-golove>, дата обращения 27.12.2021г.

^{*} Зелёные финансовые инструменты — классические финансовые инструменты, посредством которых финансируются исключительно зелёные проекты

(Зелёные финансы: повестка дня для России. Диагностическая записка, 2018 // https://www.cbr.ru/Content/Document/File/51270/diagnostic_note.pdf, дата обращения 27.12.2021).

за счёт так называемого зелёного тарифа, представляющего собой «экономический и политический инструмент, предназначенный для привлечения инвестиций в развитие возобновляемой энергетики, в основе которого лежат три основных фактора: гарантия подключения к сети, долгосрочный контракт на покупку всей произведённой возобновляемой электроэнергии, надбавка к стоимости произведённой электроэнергии» [Практический опыт..., 2017]. Появляется новый тип субъектов рынка, получивший название «активные потребители». «Активные потребители» — это участники энергорынка, обладающие возможностью воздействия на своё энергопотребление и готовностью к участию в процессе управления их спросом» [Стенников, Барахтенко, Соколов, Шелехова, 2017]. Иными словами, имея собственный источник генерации возобновляемой энергии, активный потребитель имеет возможность продавать излишки генерируемой энергии, что способствует снижению сроков окупаемости инвестиций в технологии возобновляемой энергетики.

Отдельно стоит выделить механизмы привлечения инвестиций в зелёную энергетику, реализующиеся через торговлю углеводородными единицами (квотами на выброс парниковых газов) и зелёными сертификатами. Механизм торговли квотами на выбросы парниковых газов заключается в следующем: государство устанавливает предельный уровень выбросов парниковых газов для определённых отраслей экономики, а компании этих отраслей получают бесплатно, покупают у государства или у других компаний разрешения (квоты) на эти выбросы [Обзор..., 2021]⁴. На сегодняшний день в мире уже функционирует 24 такие системы. В странах СВА системы торговли квотами на национальном уровне имеются в Китае, Японии и Республике Корея, планируется создание субнациональных систем торговли квотами в китайской провинции Тайвань [Обзор..., 2021] и в России (о-в Сахалин)⁵.

Зелёные сертификаты подразделяются на сертификаты поддержки и сертификаты-гарантии. Сертификаты поддержки предъявляются в качестве основания для получения соответствующей поддержки, при этом право на поддержку может переуступаться.

Сертификаты-гарантии (сертификаты происхождения, *Guarantees of Origin*) подтверждают факт производства определённого объёма энергии от ВИЭ [Балашов, 2020]. В настоящее время зелёные сертификаты используются применительно к электроэнергии, однако создание аналогичного инструмента возможно и в отношении зелёного водорода. Создание водород-

⁴ Обзор систем торговли квотами на выбросы парниковых газов в Азиатско-Тихоокеанском регионе, 2021 // https://economy.gov.ru/material/departments/d30/obzory_i_analitika/obzor_cistem_torgovli_kvotami_na_vybrosy_parnikovyh_gazov_v_aziatско_tihookeanskom_regione.html, дата обращения 27.12.2021.

⁵ Национальный рынок углеродных единиц защитит экспортёров // <https://www.kommersant.ru/doc/4936775>, дата обращения 27.12.2021.

ной биржи, на которой обращались бы и зелёные сертификаты (*Guarantees of Origin*), уже прорабатывается правительством Нидерландов [Den Ouden B., 2020].

В России рассматривался проект федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон “Об электроэнергетике” и отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с введением зелёных сертификатов» [О внесении..., 2020], в соответствии с которым предусматривалась выдача зелёных сертификатов по факту производства электрической энергии с использованием ВИЭ. Представляется целесообразным рассмотреть возможность выдачи зелёных сертификатов и на водород, произведённый с использованием ВИЭ, а также атомной энергии, и на основе других технологий, при которых отсутствуют или сведены к минимуму эмиссия углекислого газа и выбросы загрязняющих веществ. При этом ключевым аспектом является признание российских сертификатов другими государствами.

Потенциал декарбонизации и снижения негативного воздействия на окружающую среду за счёт торговли углеводородными единицами и зелёными сертификатами зависит от объёма спроса на них. Это предполагает наличие соответствующих правовых и регуляторных механизмов национального и международного уровней, которые стимулируют использование ВИЭ, формируют и поддерживают систему ценностей у граждан страны, учитывающую экологические аспекты социально-экономического развития общества. Новые финансово-экономические механизмы, в свою очередь, призваны создавать такие условия и схемы создания прибыли от зелёных проектов для бизнес-акторов, которые необходимы для их реализации в намеченные сроки и для просчитанных масштабов.

Особенности институтов энергетического сотрудничества стран СВА

Особенностью региона СВА является относительная ограниченность количества государств и наличие сложных политических проблем между ними. В практике применения названий стран Восточной Азии организации Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) применяется термин «экономика». Так, Гонконг, Тайвань и Китайская Народная Республика (Китай) являются разными экономиками для АТЭС, притом что они составляют единый Китай. Некоторая аналогия, являющаяся наследием Второй мировой войны, присутствует и в отношениях между Республикой Корея и Корейской Народной Демократической Республикой (КНДР).

Высокая политизированность международных отношений стран региона между тем не стала непреодолимым барьером для развития взаимовыгодного экономического сотрудничества. Так, Россия является одним из наибо-

лее крупных экспортёров энергоносителей в Японию, Республику Корея, Китай и Монголию. Высокий накал политических разногласий проявляется в обеспечении энергетической безопасности, поскольку доля России в японском импорте углеводородов и угля фактически лимитирована уровнем 10 %. Для Республики Корея приемлемость доли России в импорте энергоносителей несколько выше, а для Китая и Монголии выводы о наличии ограничений на импорт энергоресурсов из России являются, наиболее вероятно, негативными.

Для стран региона СВА имеется одна существенно важная для нашего исследования особенность: стадии генерации электроэнергии возобновляемыми источниками и электролиза воды из технологического цикла производства зелёного водорода на современном уровне развития технологий передачи электроэнергии возможно разнести на расстояние до нескольких тысяч километров, поскольку морские участки между странами региона достаточно невелики. Для акторов вне региона морской транспорт водородоносителей является практически единственной возможностью участия на рынке водорода стран Восточной Азии, поскольку строительство сверхдлинных мощных подводных кабельных линий для передачи электроэнергии до сих пор остаётся значительно более капиталоемким по сравнению с воздушными линиями электропередачи.

Япония, Тайвань и Республика Корея, несмотря на десятилетия участия в многосторонних инициативах по развитию энергетического сотрудничества, до сего времени не имеют ни одного предназначенного для импорта объекта линейной энергетической транспортной инфраструктуры.

Так, газопровод между островами Сахалин (Россия) и Хоккайдо (Япония), возможность строительства которого обсуждалась уже в конце прошлого тысячелетия, не стоит в повестках межгосударственных встреч и бизнес-контактов между Россией и Японией. Вопросы развития институтов двухстороннего (не говоря уже о многостороннем) сотрудничества в области создания технологически специализированной энергетической инфраструктуры (трубопроводов, линий электропередач) являются весьма чувствительными вследствие появления фактора возможного влияния на энергетическую безопасность страны-импортёра. Этот фактор определяется мгновенной (в случае электроэнергетических связей) и достаточно быстрой (несколько часов, максимум дней для трубопроводных систем) реакцией на перекрытие импортируемого потока энергоносителя. Традиционный морской канал импорта для этих стран гарантирует значительно больший временной диапазон для принятия корректирующих воздействий, позволяющих избежать либо существенно уменьшить потенциальный ущерб импортёру от нарушения контрактных обязательств со стороны экспортёра.

Анализ цепочки создания стоимости зелёного водорода на примере экспорта зелёной энергии из Монголии в Японию

Для оценки предпосылок к созданию электроводородной инфраструктуры в СВА были проанализированы различные варианты производства и транспортировки зелёной энергии на примере её поставок из Монголии в Японию.

В таблице 4 представлены варианты цепочки создания стоимости сжиженного водорода, используемые для анализа. Сравниваются три варианта:

1) производство сжиженного водорода в Японии (на восточном берегу Японского моря, в районе о. Садо) на основе электроэнергии, генерируемой СЭС и ВЭС, расположенными вблизи пункта потребления;

2) производство электроэнергии, генерируемой СЭС и ВЭС, и сжиженного водорода на её основе в Монголии (п. Хатгал на юге оз. Хубсугул) с целью дальнейшего экспорта сжиженного водорода в Японию наземным и морским транспортом в криогенных цистернах;

3) производство сжиженного водорода в Японии на основе электроэнергии, генерируемой собственными СЭС и ВЭС, расположенными вблизи пункта потребления, с возможностью получения по ЛЭП электроэнергии, генерируемой СЭС и ВЭС Монголии.

Результаты моделирования показывают, что стоимость производства сжиженного водорода в Монголии (13,8 долл. 2020 г/кг, вариант 2) ниже, чем в Японии (17,8 долл. 2020 г/кг, вариант 1), что обусловлено благоприятным природно-климатическим потенциалом для генерации электроэнергии на основе ВИЭ в выбранной локации Монголии. Существенная разница в стоимости электроэнергии и производимого на её основе товара (сжиженного водорода) создаёт предпосылки для создания инфраструктуры по экспорту зелёной энергии из Монголии в Японию в виде электроэнергии по ЛЭП или в виде сжиженного водорода с использованием вновь созданных сухопутных и/или водных объектов инфраструктуры транспортировки и хранения водородоносителей.

Таблица 4

Варианты цепочки создания стоимости водорода

Звенья цепочки создания стоимости	Варианты		
	1	2	3
Производство зелёной электроэнергии	Япония	Монголия	Монголия, Япония
Магистральный транспорт электроэнергии	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Производство сжиженного водорода	Япония	Монголия	Япония
Магистральный транспорт сжиженного водорода	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует

Стоимость сжиженного водорода в Японии при строительстве линии электропередачи постоянного тока (ЛЭП ПТ) из Монголии в Японию (вариант 3) составляет 17,2 долл. 2020 г/кг. Данная оценка получена при общем КИУМ ЛЭП ПТ, равном 67 %, и соответствующей ему стоимости передачи электроэнергии на 4000 км, равной 64,8 долл. 2020 г/МВт·ч. Равноэкономичность вариантов 2 и 3 может быть достигнута, если затраты на транспортировку сжиженного водорода из Монголии в Японию не превысят 3,4 долл/кг. Стоимость передачи электроэнергии на 4000 км рассчитывалась для следующих технико-экономических параметров ЛЭП ПТ: удельная стоимость ЛЭП — 2,5 млн долл. 2020 г/км, удельная стоимость терминалов преобразования переменного тока в постоянный (и обратно) — 0,6 долл. 2020 г/Вт, удельные потери для терминалов — 0,8 %, удельные потери электроэнергии на 1000 км ЛЭП — 0,8 %, условно постоянные затраты (от инвестиционной стоимости) для терминалов — 2,1 %, для ЛЭП — 2,4 %.

Отметим, что при более низких капитальных и эксплуатационных затратах и потерях электроэнергии (удельная стоимость ЛЭП — 1,5 млн долл. 2020 г/км, удельная стоимость терминалов — 0,45 долл. 2020 г/Вт, удельные потери для терминалов — 0,8 %, удельные потери электроэнергии на 1000 км ЛЭП — 0,5 %, условно постоянные затраты для терминалов — 1,4 %, для ЛЭП — 0,8 %), но при КИУМ, равном 20 % (соответствует КИУМ генерации зелёной энергии в выбранной локации Монголии), стоимость передачи электроэнергии составит 127,6 долл. 2020 г/МВт·ч, объёмы передачи электроэнергии из Японии в Монголию будут незначительными, а стоимость сжиженного водорода в Японии возрастет до 17,8 долл. 2020 г/кг.

Обсуждение результатов анализа цепочки создания стоимости зелёного водорода

Неравномерность ресурсного потенциала ВИЭ в разных странах создаёт предпосылки для формирования международных рынков зелёных энергоносителей. Минимизация затрат на производство и транспортировку зелёной энергии может быть достигнута при условиях:

- а) наличия соответствующей международной энергетической инфраструктуры;
- б) наличия институтов торговли зелёной энергии.

На сегодняшний день транспорт зелёной энергии в виде электроэнергии по ЛЭП с технико-экономической точки зрения более эффективен в сравнении с транспортировкой сжиженного водорода. При этом строительство ЛЭП на большие расстояния несёт в себе необходимость существенных единовременных капитальных затрат, а экономичность магистрального транспорта электроэнергии достигается при условии высокой степени использования пропускной способности ЛЭП и отсутствия ограничений для

зелёной электроэнергии по использованию пропускной способности ЛЭП в любой момент времени. Такие условия могут сформироваться только при наличии высокого уровня связанности межгосударственными линиями электропередач и формировании межгосударственных электроэнергетических объединений в регионе СВА. Последнее обстоятельство включает в себя в качестве конечной цели создание соответствующей производственной инфраструктуры и системы институтов, необходимых для её создания, функционирования и развития [Подковальников, Чудинова, 2020].

Нельзя не отметить тот факт, что в случае преференциального права зелёной электроэнергии на использование пропускной способности ЛЭП высока вероятность того, что другие источники генерации будут вынуждены работать в неоптимальном для себя режиме, что повлечёт за собой дополнительные системные затраты. Иными словами, возникнет ситуация перекрёстного субсидирования зелёной электроэнергии за счёт электроэнергии, генерируемой с использованием НВЭР.

Создание мощностей, ориентированных на транспортировку и экспорт именно зелёного водорода, может привести к избыточным и нерациональным инвестициям в транспортную инфраструктуру и увеличению логистических затрат. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть концепцию формирования двух рынков водорода: рынка физического водорода, где будет обращаться водород, произведённый различными способами, и рынка зелёных сертификатов на водород. При такой организации экспортироваться и транспортироваться может любой водород, в зависимости от близости пунктов производства к рынкам сбыта, а бывший зелёный водород будет потребляться вблизи пунктов производства (например, в локальных изолированных энергосистемах). Такая система двухсекторного рынка водорода позволит:

1) увеличить объёмы рынка зелёного водорода за счёт элиминирования инфраструктурных ограничений. Потребители, расположенные вблизи пунктов производства, смогут покупать зелёный водород по более низкой цене на физическом рынке, а потребители, предъявляющие спрос на зелёный водород, смогут приобрести водород, произведённый другими способами, и зелёные сертификаты;

2) привлечь финансирование в проекты по производству зелёного водорода. Приобретая зелёный сертификат, любой участник рынка сможет сделать вклад в развитие зелёных технологий вне зависимости от инфраструктурных ограничений, а на изолированных территориях с богатыми ресурсами ВИЭ, где проживает население с низким уровнем доходов, удастся удержать рост цен на потребляемые энергоносители;

3) снизить негативное воздействие на окружающую природную среду и увеличить энергетическую эффективность по цепочке создания стоимости водорода за счёт снижения масштабов инфраструктуры транспортировки водородоносителей;

4) решить проблему сезонности и стохастического характера ресурсов ВИЭ, поскольку зелёные сертификаты можно продать в любое время в рамках срока их действия.

Заключение

Применение водородных технологий и использование зелёного водорода станут важнейшим механизмом реализации перехода к низкоуглеродной энергетике. Формирование потребности в водородоносителях существенно изменит региональные и мировые энергетические рынки. В среднесрочной перспективе такие крупные страны-импортёры энергоресурсов в регионе Северо-Восточной Азии, как Китай, Япония и Республика Корея, будут обеспечивать основной объём своего потребления водорода на основе природного газа и других традиционных невозобновляемых энергоресурсов, а потребность в зелёном водороде — при использовании собственных ресурсов возобновляемых источников энергии.

При формировании спроса на водород страны-экспортёры могут поставлять водородоносители (в том числе и на основе зелёного водорода) либо продавать электроэнергию и передавать её посредством межгосударственных электроэнергетических связей для производства водорода методом электролиза. Страны-импортёры при наличии соответствующих институтов регулирования рынка водорода могут быть заинтересованы в таком сотрудничестве в целях уменьшения своего углеродного следа. Для формирования стоимости водорода, получаемого различными методами (что отражается в «цветности» водорода и произведённых на его основе водородоносителей), потребуется создание институтов международной торговли зелёными водородными сертификатами. В долгосрочной перспективе при снижении стоимости производства зелёного водорода и транспортировки сжиженного водорода (либо других зелёных водородоносителей) и параллельном развитии институтов регионального энергетического сотрудничества будут созданы технологические основы для создания международной электроводородной инфраструктуры.

Для России в рамках парадигмы перехода к низкоуглеродной энергетике при создании нового рынка энергоносителей (водородоносителей) и развития/создания единого электроэнергетического рынка в регионе Северо-Восточной Азии целесообразно рассматривать следующие направления международного сотрудничества:

а) участие в разработке международных правовых и регуляторных механизмов трансформации существующих и формирования новых рынков энергоносителей;

б) участие в международной цепочке создания стоимости водорода, включая собственные инвестиции за рубежом и привлечение иностранных инвестиций для строительства объектов электроводородной инфраструктуры в России;

в) активное участие в международной и внутрироссийской торговле зелёными сертификатами и углеводородными единицами;

г) участие в создании и развитии международных электроэнергетических объединений;

д) создание новых отраслей промышленности и предоставления услуг на основе водородных технологий, в том числе с целью экспорта оборудования, товаров и услуг, связанных с электроводородными технологиями.

Список литературы

Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // <https://docs.cntd.ru/document/565068231>, дата обращения 28.01.2022.

Распоряжение Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации» // <https://docs.cntd.ru/document/608226547>, дата обращения 28.01.2022

Проект федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с введением зелёных сертификатов» // <https://regulation.gov.ru/projects#npa=97614>, дата обращения 28.01.2021.

Basic Hydrogen Strategy (Key Points) // https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf, дата обращения 27.12.2021

Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050 Formulated, 2021 // https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0618_002.html, дата обращения 28.01.2022.

Практический опыт поддержки «зелёного» финансирования (на примере стран «Группы двадцати»): отчёт о НИР (заключительный), 2017 / ФГБУ «Научно-исследовательский финансовый институт»; рук. И. А. Яковлев; исполн. О. В. Богачёва [и др.]. Москва. 246 с.

Балашов М. М., 2020. Сертификаты возобновляемой энергии: возможности и эффективность применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 11. № 1. С. 14–27. DOI: 10.17747/2618-947X-2020-1-14-27.

Корнеев К. А., 2021. Зелёный водород в Восточной Азии // Геоэкономика энергетики. № 3 (15). С. 98–115. DOI 10.48137/2687-0703_2021_15_3_98.

Подковальников С. В., Чудинова Л. Ю., 2020. Методические вопросы и исследования развития ЭЭС России в составе межгосударственных энергообъединений // Электроэнергия. Передача и распределение. № 4 (61). С. 44–48.

Попов С. П., 2013. Институт международного многостороннего сотрудничества в энергетике: практика АТЭС // Энергетическая политика. № 3. С. 60–71.

Стенников В. А., Бархатенко Е. А., Соколов Д. В., Шелехова В. Б., 2017. Активное участие потребителя в управлении своим энергоснабжением // Известия

высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Т. 19. № 11–12. С. 88–100. DOI <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-11-12-88-100>.

Тютюкина Е. Б., Силнагар Э. Ю., 2019. Финансово-экономический механизм привлечения инвестиций в природоохранные проекты: содержание и состояние // Экономические системы. Т. 12. № 3–4 (46–47). С. 46–57. DOI 10.29030/2309-2076-2019-12-3-4-46-57.

Understanding International Energy Initiatives in the APEC Region: Scope and Elements, 2007 / Ed. by J. L. Eastcott. Tokyo: APERC. 236 p.

Understanding International Energy Initiatives in the APEC Region / Ed. by D. Fedor. 2008. Tokyo: APERC. 99 p.

Ибрагимова А., 2021. Экспертная сессия по стратегии низкоуглеродного развития России // <https://scientificrussia.ru/articles/ekspertnaya-sessiya-po-strategii-nizkouglerodnogo-razvitiya-rossii>, дата обращения 27.12.2021.

Конопляник А. А., 2021а. Судебный прецедент Shell // <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2021/06/09/873466-sudebnii-pretседent-shell>, дата обращения 27.12.2021.

Конопляник А. А., 2021б. Борьба за сохранение климата превращается в инструмент конкурентной борьбы // <https://www.vedomosti.ru/partner/characters/2021/06/03/872560-andrei-konoplyanik>, дата обращения 27.12.2021.

Конопляник А. А., 2021с. Борьба за климат и за новый передел мира // <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2021/01/31/856109-borba-peredel>, дата обращения 27.12.2021.

Семушкин Д., 2021. Новая зелёная энергетика Китая: ставка на водород и германские технологии // <https://eaily.com/ru/news/2021/12/08/novaya-zelenaya-energetika-kitaya-stavka-na-vodorod-i-germanskie-tehnologii>, дата обращения 27.12.2021.

Den Ouden B., 2020. A Hydrogen exchange for the Climate // <https://www.government.nl/documents/reports/2020/09/24/a-hydrogen-exchange-for-the-climate>, дата обращения 27.12.2021.

Pekic S., 2021. UK-Taiwan push on hydrogen and fuel cell technology collab // <https://www.offshore-energy.biz/uk-taiwan-push-on-hydrogen-and-fuel-cell-technology-collab/>, дата обращения 27.12.2021.

Обзор систем торговли квотами на выбросы парниковых газов в Азиатско-Тихоокеанском регионе, 2021 // https://economy.gov.ru/material/departments/d30/obzory_i_analitika/obzor_cistem_torgovli_kvotami_na_vybrosy_parnikovyh_gazov_v_aziatsko_tihookeanskom_region.html, дата обращения 27.12.2021.

План мероприятий в области инноваций в сфере энергетических технологий на 2016–2030 гг. (на кит. яз.) // http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/content_5078628.html, дата обращения 27.12.2021.

Правительство публикует дорожную карту по развитию водородной экономики (на корейском яз.) // <https://www.motie.go.kr/common/download.do>, дата обращения 27.12.2021.

POPOV Sergey P., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Complex and Regional Energy Problems, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Address: 130 Lermontov str., Irkutsk, Russian Federation, 664033.

Email: popovsp@isem.irk.ru

SPIN-code: 7808-7448.

ORCID: 0000-0002-9060-2317

MAKSAKOVA Darya V., Junior Researcher, Department of Complex and Regional Energy Problems, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Address: 130 Lermontov str., Irkutsk, Russian Federation, 664033.

Email: maksakova@isem.irk.ru

SPIN-code: 8561-2944.

ORCID: 0000-0003-3824-3668

BALDYNOV Oleg A., Junior Researcher, Department of Complex and Regional Energy Problems, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Address: 130 Lermontov str., Irkutsk, Russian Federation, 664033.

Email: oabaldynov@isem.irk.ru

SPIN-code: 7435-1955

ORCID: 0000-0002-8400-9613

PROSPECTS FOR ELECTRO-HYDROGEN INFRASTRUCTURE CREATION IN NORTHEAST ASIA

DOI: 10.48137/2687-0703_2022_17_1_132

Received: 29.12.2021.

For citation: *Popov S. P., Maksakova D. V., Baldynov O. A., 2022. Prospects for Electro-Hydrogen Infrastructure Creation in Northeast Asia. – Geoeconomics of Energetics. № 1 (17). P. 132–155. DOI: 10.48137/2687-0703_2022_17_1_132*

Funding: The article was prepared within the framework of the RFBR grant No. 20-014-00024 «Development of a methodological approach and scientific tools for assessing the impact of hydrogen technologies on energy cooperation in Northeast Asia».

Key words: Energy transition, energy carriers, hydrogen technologies, Northeast Asia, models, multinational energy cooperation institutions.

Abstract

The paper considers Russia's goal and approach to participating in the creation of electro-hydrogen infrastructure of a new energy market in the Northeast Asian region – the hydrogen carriers market. Technologically advanced East Asian economies have set the course towards accelerated development of hydrogen technologies, which are expected to be one of the key factors of low-carbon energy development. However, due to the geographical constraints and scale of energy consumption, the attempt to lower the dependence on exporters of hydrocarbons, coal, and nuclear fuels, may lead to the dependence on green energy exporters.

To estimate the scope and preconditions to create new energy markets in Northeast Asia, emerging with hydrogen technologies commercialization, the authors have developed a methodological approach based on a combination of modelling tools with international energy cooperation institutions analysis. Green liquefied hydrogen production costs were estimated for locations in Mongolia and Japan; a scenario of international power infrastructure availability in Northeast Asia was considered.

The recommendations for Russia on promising options of participating in the creation of electric-hydrogen infrastructure of new regional hydrogen carrier and technologies markets were proposed. The technical, economic, institutional, and political conditions for electro-hydrogen infrastructure creation in Northeast Asia under the global paradigm of transition to low-carbon energy, increasing share of renewable energy sources in the primary energy consumption, and, finally, restructuring Northeast Asia economies on a new technological basis are listed. The conclusions are in line with the Concept for the Development of Hydrogen Energy in Russia and complement it with the directions for creating new international energy markets.

References

On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation of June 09, 2020 No. 1523-r // <https://docs.cntd.ru/document/565068231>, accessed 28.01.2022. (In Russ.)

On approval of the Concept for the development of hydrogen energy in the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation dated August 05, 2021 dated August 5, 2021 No. 2162-r // <https://docs.cntd.ru/document/608226547>, accessed 28.01.2022. (In Russ.)

On Amendments to the Federal Law «On the Electric Power Industry» and Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with the Introduction of Green Certificates: Draft Federal Law // <https://regulation.gov.ru/projects#npa=97614>, accessed 28.01.2021. (In Russ.)

Balashov M. M., 2020. Renewable energy certificates: Application potential and efficiency // Strategic Decisions and Risk Management. Vol. 11. No. 1. P. 14–27. DOI: 10.17747 / 2618-947X-2020-1-14-27. (In Russ.)

Korneev K. A., 2021. Green Hydrogen in East Asian Countries // *Goeconomics of Energy*. No. 3 (15). Pp. 98–115. DOI 10.48137/2687-0703_2021_15_3_98. (In Russ.)

Podkovalnikov S. V., Chudinova L. Yu., 2020. Methodological Issues and Studies of the Development of the EPS of Russia as part of Interstate Energy Networks // *Electricity. Transmission and distribution*. No. 4 (61). Pp. 44–48. (In Russ.)

Popov S. P., 2013. The Institution of International Multilateral Cooperation in the Energy Sector: APEC Experience // *Energy policy magazine*. No. 3. Pp. 60–71. (In Russ.)

Practical Experience of Supporting Green financing (the Case of the G20 Countries): R&D report (final), 2017 / FGBU «Research Financial Institute»; supervisor I. A. Yakovlev; execution O. V. Bogachev [etc.] Moscow. 246 p. (In Russ.)

Stennikov V. A., Barakhtenko E. A., Sokolov D. V., Shelekhova V. B., 2017. Active Demand-Side Management // *Power engineering: research, equipment, technology*. Vol. 19. No. 11–12. Pp. 88–100. DOI (In Russ.)

Tyutyukina E. B., Silpagar E. Yu., 2019. Financial and economic mechanism of investment attraction in environmental projects: content and conditions // *Economic Systems*. Vol. 12. No. 3–4 (46–47). Pp. 46–57. DOI 10.29030/2309-2076-2019-12-3-4-46-57. (In Russ.)

Understanding International Energy Initiatives in the APEC Region: Scope and Elements, 2007 / Ed. by J. L. Eastcott. Tokyo: APERC. 236 p.

Understanding International Energy Initiatives in the APEC Region, 2008 / Ed. by D. Fedor. Tokyo: APERC. 99 p.

Ibragimova A., 2021. Expert session on the strategy of low-carbon development of Russia // <https://scientificrussia.ru/articles/ekspertnaya-sessiya-po-strategii-nizkouglerodnogo-razvitiya-rossii>, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Konoplyanik A. A., 2021a. Shell's legal precedent // <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2021/06/09/873466-sudebnii-pretseptent-shell>, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Konoplyanik A. A., 2021b. The Fight to Save the Climate Is Turning into an Instrument of Competition // <https://www.vedomosti.ru/partner/characters/2021/06/03/872560-andrei-konoplyanik>, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Konoplyanik A. A., 2021c. Struggle for the Climate and for a New Redistribution of the World // <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2021/01/31/856109-borba-peredel>, date of treatment 12/27/2021, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Overview of Greenhouse Gas Emissions Trading Schemes in Asia and the Pacific, 2021 // https://economy.gov.ru/material/departments/d30/obzory_i_analitika/obzor_cistem_torgovli_kvotami_na_vybrosy_parnikovyh_gazov_v_aziatsko_tihookeanskom_regione.html, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Action plan in the field of innovations in the field of energy technologies for 2016–2030 // http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/content_5078628.htm, accessed 27.12.2021. (In Chinese.)

Government releases Hydrogen Economy Roadmap // <https://www.motie.go.kr/common/download.do>, accessed 27.12.2021. (In Korean.)

Semushkin D., 2021. China's new green energy: betting on hydrogen and German technology // <https://easily.com/ru/news/2021/12/08/novaya-zelenaya-energetika-kitaya-stavka-na-vodorod-i-germanskije-tehnologii>, accessed 27.12.2021. (In Russ.)

Den Ouden B. A Hydrogen exchange for the Climate // <https://www.government.nl/documents/reports/2020/09/24/a-hydrogen-exchange-for-the-climate>, accessed 27.12.2021. (In Eng.)

Basic Hydrogen Strategy (Key Points) // https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf, accessed 27.12.2021. (In Eng.)

Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050 Formulated. 2021 // https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0618_002.html, accessed 28.01.2022. (In Eng.)

Pekic S., 2021. UK-Taiwan push on hydrogen and fuel cell technology collab // <https://www.offshore-energy.biz/uk-taiwan-push-on-hydrogen-and-fuel-cell-technology-collab/>, accessed 27.12.2021. (In Russ.)