

Анализ состояния рынка водородного сырья в Российской Федерации и мире

Линник Владимир Юрьевич

Д-р экон. наук, проф. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе

ORCID: 0000-0001-5130-8222, e-mail: vy_linnik@guu.ru

Байкова Оксана Викторовна

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе

ORCID: 0000-0003-4345-5497, e-mail: o-baykova@yandex.ru

Фаляхова Евгения Дамировна

Студент

ORCID: 0000-0003-2502-8440, e-mail: falyakhova2017@yandex.ru

Государственный университет управления, 109542, Рязанский пр-т, 99, г. Москва, Россия

Аннотация

Настоящее исследование представляет анализ современного состояния и перспектив развития водородной энергетики и ее влияния на развитие макро- и микроэкономических показателей как в Российской Федерации (далее – РФ), так и в мире в целом. В статье описаны наиболее перспективные способы производства водорода в качестве новейшего возобновляемого энергоресурса: электролиз, паровой риформинг метана, газификация угля и пиролиз. Выделены страны, добившиеся наиболее значимых результатов в области научных разработок и технологического производства водорода для его дальнейшего использования. На основе анализа концепций развития водородной энергетики, принятых в развитых странах (Китай, Япония, Индия, страны Европейского союза), сделан подробный прогноз развития водородной энергетики для каждой страны, выделенной в статье. Уделено отдельное внимание концепции развития водородной энергетики в РФ, утвержденной М.В. Мишустиним 5 августа 2021 г., проанализированы возможные пути развития водородной энергетики внутри РФ. Составлен детальный прогноз развития водородной энергетики в мире до 2030 г., основанный на результатах анализа импорта и экспорта водородного сырья, осуществляемого ведущими странами мира. Перечислены риски, а также требования к решению проблем в реализации проектов по внедрению водорода в энергобаланс РФ.

Ключевые слова: водород, ВИЭ, водородная энергетика, концепция, стратегия развития, перспективы развития, рынок водородного сырья, прогноз развития, импорт, экспорт, риски, требования

Для цитирования: Линник В.Ю., Байкова О.В., Фаляхова Е.Д. Анализ состояния рынка водородного сырья в Российской Федерации и мире // Управление. 2024. Т. 12. № 1. С. 81–94. DOI: [10.26425/2309-3633-2024-12-1-81-94](https://doi.org/10.26425/2309-3633-2024-12-1-81-94)



The state of the market of hydrogen raw materials in Russia and the world

Vladimir Yu. Linnik

Dr. Sci. (Econ.), Prof. at the Economics and Management in the Fuel and Energy Complex Department

ORCID: 0000-0001-5130-8222, e-mail: vy_linnik@guu.ru

Oksana V. Baykova

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Economics and Management in the Fuel and Energy Complex Department

ORCID: 0000-0003-4345-5497, e-mail: o-baykova@yandex.ru

Evgeniya D. Falyakhova

Student

ORCID: 0000-0003-2502-8440, e-mail: falyakhova2017@yandex.ru

State University of Management, 99, Ryazansky prospect, Moscow 109542, Russia

Abstract

The study analyses the current state and prospects of hydrogen energy and its impact on macro- and microeconomic indicators both development in Russia and in the world as a whole. The article describes the most promising hydrogen production methods as the newest renewable energy resource such as electrolysis, steam reforming of methane, coal gasification, and pyrolysis. The countries that have achieved the most significant results in scientific development and technological production of hydrogen for its further utilization have been highlighted. Based on the analysis of hydrogen energy development concepts adopted in developed countries (China, Japan, India, and European Union countries), a hydrogen energy development detailed forecast for each country highlighted in the article has been made. Special attention has been paid to the concept of hydrogen energy development in Russia, approved by M.V. Mishustin on August 5, 2021. Possible ways of hydrogen energy development in Russia have been analyzed. A detailed forecast of hydrogen energy development in the world up to 2030 based on the hydrogen raw materials import and export analysis results carried out by the leading countries of the world has been presented. The risks have been listed, as well as the requirements for problem solving in implementing projects to introduce hydrogen into the energy balance of Russia.

Keywords: hydrogen, RES, hydrogen energy, concept, development strategy, development prospects, hydrogen raw materials market, development forecast, import, export, risks, requirements

For citation: Linnik V.Yu., Baykova O.V., Falyakhova E.D. (2024). The state of the market of hydrogen raw materials in Russia and the world. *Upravlenie / Management (Russia)*, 12 (1), pp. 81–94. DOI: 10.26425/2309-3633-2024-12-1-81-94



Введение / Introduction

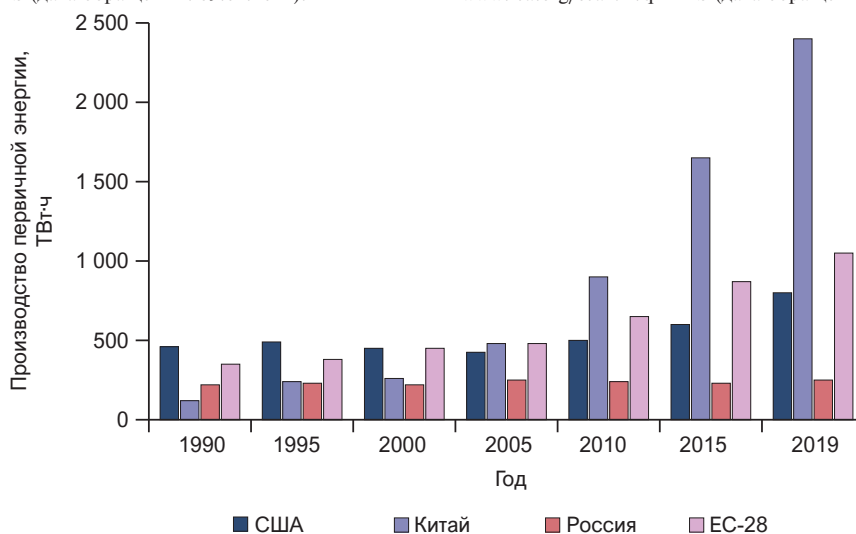
Возобновляемые источники энергии (далее – ВИЭ) с каждым годом получают все большее распространение в развивающихся и развитых странах, что подтверждается динамикой производства ВИЭ, представленной на рис. 1 и рис. 2. Классические энергоносители оказывают значительную нагрузку на экологию, на что уже давно обратили внимание ведущие мировые экономики, в то время как ВИЭ не имеют столь негативного влияния на окружающую среду, что и является одной из причин их растущей популярности.

¹ International Energy Agency (IEA). RES. Режим доступа: <https://www.iea.org/search?q=RES> (дата обращения: 09.01.2024).

Однако по-прежнему доля углеродных энергоносителей в мировом энергобалансе еще очень велика, что приводит к значительному росту объемов выбросов CO₂. Причиной столь медленного перехода к ВИЭ является то, что отдельные страны мира игнорируют необходимость поддержки экологического благополучия, а также технологии для стабилизации экологической составляющей недостаточно развиты.

В связи с этим в качестве альтернативы углеводородному сырью многие страны мира активно развивают возобновляемую энергетику, в частности водородную. Водород смог занять одну из главных ниш в энергетике, поскольку этот ресурс сможет

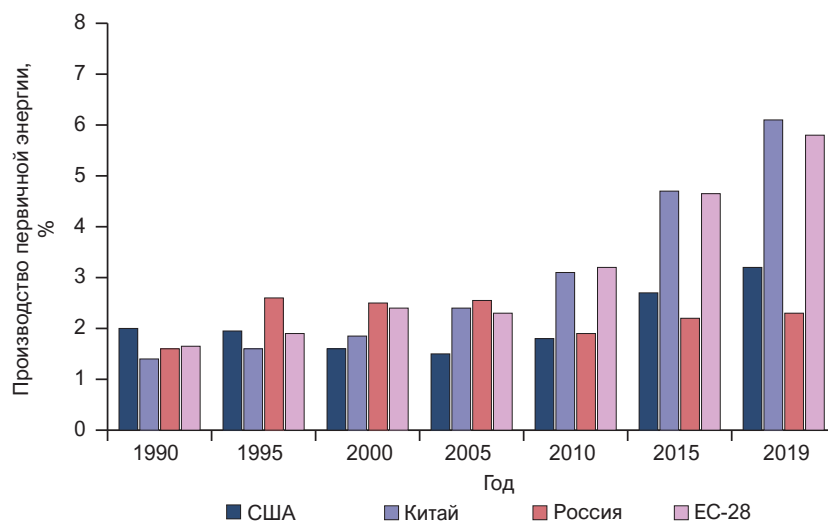
² International Energy Agency (IEA). RES. Режим доступа: <https://www.iea.org/search?q=RES> (дата обращения: 09.01.2024).



Источник¹ / Source¹

Рис. 1. Производство первичной энергии на основе ВИЭ в отдельных странах за 20 лет

Fig. 1. Primary energy production based on RES in selected countries over 20 years



Источник² / Source²

Рис. 2. Динамика производства первичной энергии на основе ВИЭ в отдельных странах за 20 лет

Fig. 2. Primary energy production dynamics based on RES in selected countries over 20 years

стать ключом к спасению экосистемы за счет того, что при использовании водорода не выделяется CO₂, что приводит к снижению нагрузки на экологию. На данный момент известны различные способы производства водорода, которые не создают такого колоссального выброса CO₂, как традиционные источники энергии:

- 1) паровая конверсия метана;
- 2) пиролиз;
- 3) газификация угля;
- 4) электролиз.

Последний из представленного списка способ производства водорода заключается в том, что вода (H₂O) при воздействии на нее электричества разделяется на атом кислорода и два атома водорода [Карасевич, 2023]. Этот способ является самым «чистым», в связи с чем развитые страны (Китай, Япония, Российская Федерация, страны Европейского союза) стремятся как можно раньше начать массово производить водород именно с помощью электролиза. Однако процесс идет недостаточно быстро в связи с тем, что электролиз — один из самых капиталоемких по сравнению с остальными, перечисленными выше, методами. Например, цена водорода, произведенного с использованием технологии паровой конверсии метана, составляет 2–5 долл. США за кг водорода, а при помощи электролиза — 5–7 долл. США за кг водорода [Линник, Линник, 2022]. При дальнейшем развитии технологий электролиза, а также росте конкуренции на рынке энергоресурсов цена на водород будет закономерно снижаться, к чему сейчас стремятся крупнейшие производители в мире, такие как государственная корпорация (далее — ГК) «Росатом», Sinopec, Air Liquide S.A., Linde plc, Shell plc, Reliance Industries Ltd. и др.

В рамках настоящего исследования проведен анализ современного состояния рынка водородного сырья и описан план развития водородной энергетики отдельных стран мира, добившихся значимых успехов в области производства H₂, представлены данные об импорте и экспорте водорода, осуществляемые развитыми экономиками, а также отмечены риски и требования к беспрепятственной реализации проектов по производству водорода в качестве возобновляемого низкоуглеродного энергоресурса на территории Российской Федерации (далее — РФ, Россия).

Состояние рынка водородного сырья в мире / Hydrogen raw material market global state

В настоящее время наиболее значимые результаты в развитии как научной, так и производственной базы в области водородной энергетики полу-

чены в ряде стран мира, таких как Китай, Япония, Индия, страны Европейского союза (далее — ЕС).

На сегодняшний день Китай производит и потребляет больше водорода, чем любая другая страна в мире. Ежегодное потребление водорода в стране только в качестве топлива (помимо химической отрасли) составляет более 24 млн т³. Значительная доля производится с помощью газификации угля. Так, по сведениям, представленным Международным центром PtX Hub, доля производимого в Китае водорода с использованием технологии газификации угля в 2022 г. составила 60 %⁴. Такой водород получил название «серый». С точки зрения нагрузки на экологию, его нельзя назвать абсолютно чистым, поскольку при добыче и переработке угля выделяется значительное количество углерода и угольной пыли, что негативно сказывается на экосистеме в целом.

Экологически чистым является «зеленый» водород, произведенный с помощью электролиза. С 2019 г. правительство Китая запустило внутри страны 30 проектов по «зеленому» водороду⁵. Из их числа отдельно стоит отметить пилотный проект по производству экологически чистого водорода с помощью преобразования солнечной энергии в водородную⁶. Он уже вводится в эксплуатацию китайской нефтегазовой и химической корпорацией Sinopec в Куке, Синьцзян. Новый способ производства водорода дает возможность Китаю сделать новые шаги к достижению цели по производству и использованию нового чистого энергоресурса, а также произвести необходимое количество водорода для становления внутренней экономики страны на новый уровень, что может позволить Китаю стать ключевым игроком на мировом рынке водородного сырья. Проект использует инновационные фотоэлектрические

³ World Economic Forum. Which countries could become the world's hydrogen superpowers? Режим доступа: <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/clean-hydrogen-energy-low-carbon-superpowers/> (дата обращения: 09.01.2024).

⁴ International PtX Hub. Factsheet on China, the world's largest Hydrogen producer and consumer. Режим доступа: <https://ptx-hub.org/factsheet-on-china-the-worlds-largest-hydrogen-producer-and-consumer/> (дата обращения: 09.01.2024).

⁵ Сектор зеленого водорода в Китае. Часть 3. Инновационная стартовая площадка для водородного взлета в Китае. Режим доступа: <https://prc.today/sector-zelenogo-vodoroda-v-kitae-chast-3-innovacionnaya-startovaya-ploshhadka-dlya-vodorodnogo-vzleta-v-kitae/> (дата обращения: 09.01.2024).

⁶ Sinopec Xinjiang Kuqa Green Hydrogen Pilot Project Enters Operation, Leading China's Green Hydrogen Development. Режим доступа: <https://www.prnewswire.com/news-releases/sinopec-xinjiang-kuqa-green-hydrogen-pilot-project-enters-operation-leading-chinas-green-hydrogen-development-301868802.html> (дата обращения: 09.01.2024).

элементы для получения 20 тыс. т зеленого водорода в год за счет использования солнечной энергии для электролиза воды, а также мощности по хранению 210 тыс. м³ водорода и транспортировке 28 тыс. м³ в час.

Также в Китае появился третий по величине в мире парк электромобилей на топливных элементах (FCEV), и страна стала первой в конструировании грузовиков и автобусов на FCEV. Китай не останавливается на достигнутых результатах и внедряет в университетах страны программы по подготовке кадров для работы, связанной с модернизацией водородной энергетики:

1) изучение и развитие технологий производства энергоресурса;

2) нахождение наиболее выгодных логистических цепей поставок водорода;

3) анализ стран-партнеров для сотрудничества в сфере ВИЭ.

Сотрудничество между Россией и Китаем очень тесное и носит долгосрочный характер⁷. На протяжении многих лет страны оказывают друг другу техническую, технологическую и экономическую поддержку в различных сферах экономики, в частности в энергетике. Следовательно, можно предположить, что дальнейшее сотрудничество между Россией и Китаем будет взаимовыгодным и инновационным, что способствует развитию энергетического альянса, который станет с высокой долей вероятности конкурентным на энергетических рынках мира.

Как известно из водородной стратегии Японии, в 2017 г. страна стала первой, кто разработал национальную водородную стратегию в рамках стремления внедрить водородную энергетику во все секторы экономики раньше других стран, имеющих аналогичную цель⁸. Основными целями японской стратегии развития водородной энергетики являются:

1) увеличить ежегодное потребление водорода до 3 млн т в год к 2030 г. и до 20 млн т в год к 2050 г.;

2) снизить стоимость доставки водорода до 30 иен/м³ к 2030 г. и 20 иен/м³ к 2050 г. в соответствии с Базовой стратегией и Стратегической дорожной картой и до уровня, конкурентоспособного с ископаемым топливом к 2050 г.;

3) в краткосрочной перспективе (до 2030 г.) внедрить совместное сжигание (20 % аммиака и 80 % угля) на некоторых угольных электростанциях,

а в долгосрочной перспективе (до 2050 г.) способствовать разработке технологий, обеспечивающих более высокий коэффициент совместного сжигания (50 % аммиака и больше);

4) к 2030 г. внедрить совместное сжигание (30 % водорода и 70 % природного газа) на газовых электростанциях и строительство электростанций, работающих на чистом водороде;

5) к 2030 г. водород/аммиак будет составлять 1 % от общего объема производства электроэнергии в Японии⁹.

Япония небогата природными ресурсами, которые могли бы обеспечить бесперебойную подачу энергии от солнца или ветра для производства «зеленого» водорода, в связи с чем было принято решение подстраховаться за счет разработки долгосрочных соглашений о поставках для импорта водорода из-за рубежа.

Правительство Японии ставит перед собой две ключевые цели:

1) осуществление постоянных инвестиций в разработки технологий производства водородного топлива;

2) к 2030 г. обеспечить мобильность 800 тыс. парков электромобилей на топливных элементах (FCEV), а также 900 водородных заправочных станций.

Разработки японских инженеров постоянно совершенствуются, в связи с чем можно полагать, что существует высокая вероятность того, что их исследования достигнут показателей, которые помогут добиться поставленных целей по национальной водородной стратегии уже в ближайшие годы.

Однако говорить о долгосрочном и доверительном сотрудничестве России с Японией в ближайшие годы не представляется возможным ввиду «недружественной» политики последней в отношении РФ.

На официальном сайте Министерства новых и возобновляемых источников энергии Индии (MNRE) указано, что правительство страны поддерживает широкомасштабную программу исследований и разработок в области водородной энергетики и топлива¹⁰. В промышленных, академических и исследовательских учреждениях поддерживаются проекты, направленные на решение проблем производства водорода из ВИЭ, его безопасного и эффективного

⁷ Между Россией и Китаем сформировался энергетический альянс, заявил посол. Режим доступа: <https://ria.ru/20220125/alyans-1769355017.html> (дата обращения: 09.01.2024).

⁸ Водородная стратегия Японии. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/vodorodnaya-strategiya-yaponii/regiony/2020/11/06/> (дата обращения: 09.01.2024).

⁹ Focus on hydrogen: Japan's energy strategy for hydrogen and ammonia. Режим доступа: <https://www.cliffordchance.com/content/dam/cliffordchance/briefings/2022/08/focus-on-hydrogen-in-japan.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁰ Ministry of New and Renewable Energy of India. Hydrogen Energy. Режим доступа: <https://mnre.gov.in/new-technologies/hydrogen-energy> (дата обращения: 09.01.2024).

хранения, а также его использования в энергетических и транспортных целях посредством сжигания или применения топливных элементов.

Что касается транспорта, ключевыми университетами в области разработок топливных элементов на основе водорода стали Бенаресский индуистский университет (Banaras Hindu University), Индийский институт технологий в Дели (IIT Delhi), а также индийская автомобилестроительная компания Mahindra & Mahindra, выпускающая внедорожники, грузовые автомобили и тракторы. Это привело к разработке и серии испытаний двигателей внутреннего сгорания, двухколесных и трехколесных транспортных средств и микроавтобусов, работающих на водородном топливе. Были созданы две водородные заправочные станции (по одной в Индийском институте нефти (Indian Institute of Petroleum), в главном промышленном центре индийского штата Харьяна — Фаридабаде, и Национальном институте солнечной энергии (National Institute of Solar Energy), во втором по величине городе в индийском штате Харьяна — Гургаоне).

Индия так же, как и страны-лидеры по производству водорода, поставила цель обеспечить себя «зеленым» водородом. Причинами послужили следующие факторы:

1) в городах Индии очень высокая концентрация опасных вредных веществ в воздухе;

2) страна сильно зависит от стран-поставщиков традиционных источников энергии, что ведет к большим затратам и, как следствие, к финансовому кризису;

3) Индия стремится развить свою энергетику не позже, чем другие ведущие страны мира, тем самым стремясь стать лидером в водородной энергетике мира.

Ключевые задачи, а также планируемые результаты в области производства водорода отражены в национальной стратегии по производству водорода, которая является основным документом, регламентирующим планы в области водородной энергетики в Индии.

Выполненный авторами статьи анализ Национальной миссии по производству «зеленого» водорода позволил сделать вывод о том, что ключевая цель Индии — добиться нулевых выбросов CO₂ к 2070 г. По мере развития топливно-энергетического комплекса страны спрос на энергию и ресурсы будет расти. Потребление энергии удвоилось за последние 20 лет и, вероятно, вырастет еще как минимум на 25 % к 2030 г.

В настоящее время Индия импортирует более 40 % первичных энергоресурсов, которые удовлетворяют потребности страны, на сумму более

90 млрд долл. США каждый год. Основные секторы экономики, такие как производство автомобилей и промышленное производство, в значительной степени зависят от импорта ископаемого топлива. Это требует перехода к технологиям, позволяющим увеличить долю возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе и постепенно снижать зависимость от ископаемых видов топлива.

Правительство Индии еще в 2021 г. заявило о том, что именно «зеленый» водород позволит совершить качественный скачок в развитии страны, в частности, энергетической независимости, к 2047 г.¹¹. В правительстве рассматривается проект закона, требующего от нефтеперерабатывающих заводов и заводов по производству удобрений использовать минимальную квоту экологически чистого водорода в промышленных процессах.

Что касается сотрудничества между Индией и Россией, то здесь следует отметить более чем полувековые дружеские отношения¹². Смена политического вектора на страны Востока поможет России наладить поставки энергоресурсов новым потребителям, так как агрессивная санкционная политика со стороны стран ЕС и Соединенных Штатов Америки (далее — США) в отношении российского энергетического сектора привела к тому, что ряд стран, являвшихся постоянными потребителями российских энергоресурсов, отказались от импорта углеводородов. Кроме того, поиск новых торговых партнеров позволяет снизить риски, связанные с недиверсифицированными поставками, в том числе энергоресурсов. В связи с этим в Правительстве РФ вопрос, связанный с диверсификацией поставок энергетического сырья, поднимался неоднократно, что впоследствии привело к быстрой переориентации поставок.

Страны ЕС опубликовали национальную водородную стратегию в 2020 г., согласно которой водород признается ключевой технологией для достижения целей Европейского зеленого соглашения — плана достижения нулевого выброса парниковых газов и нулевого суммарного загрязнения окружающей среды путем перехода от использования ископаемых к возобновляемым источникам энергии и сырья

¹¹ Индия обнародовала свою водородную политику. Режим доступа: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/43918-indija-obnarodovala-svoyu-vodorodnuyu-politiku.html> (дата обращения: 09.01.2024).

¹² Российский совет по международным делам. Российско-индийское сотрудничество в области энергетики: торговля, совместные проекты, новые сферы. Режим доступа: <https://russiancouncil.ru/papers/Russia-India-Energy-Policybrief13-Ru.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).

в странах-членах ЕС к 2050 г.^{13,14}. Главной целью стратегии является ориентирование на производство экологически чистого водорода с использованием технологии электролиза. В странах ЕС к 2030 г. планируется строительство водородных электролизеров мощностью в сумме 40 ГВт. Учитывая, что к 2025 г. мощности по производству зеленого водорода в Европе вырастут примерно в общей сумме до 2,7 ГВт, описанная выше цель является амбициозной, так как для ее достижения необходимо приложить достаточно усилий, чтобы развить технологию до такого уровня, который позволил бы достичь целевого показателя мощности, который существенно отличается от текущего.

Для поддержки инвестиций и крупномасштабного внедрения проектов по чистому водороду был создан Европейский альянс по чистому водороду, так как основная цель ЕС — стать промышленным лидером в данной области. Внутри ЕС государства намерены стать крупномасштабными импортерами, экспортерами или транзитными узлами водорода.

Состояние рынка водородного сырья в России / Hydrogen raw material market state in Russia

Утвержденная 5 августа 2021 г. Концепция развития водородной энергетики в РФ (далее — Концепция) определяет цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики на среднесрочный период до 2024 г., долгосрочный период до 2035 г., а также основные ориентиры на перспективу до 2050 г.¹⁵. В Концепции применен термин «низкоуглеродный», к которому относится водород, углеродный след которого компенсирован за счет реализации климатических проектов. Такая формулировка не встречается ни в одной из концепций развития водородной энергетики других стран.

Согласно документу, развитие водородной энергетики в РФ ориентировано на постепенное увеличение экспорта водорода [Арутюнов, 2021; Стрекова,

2021]. Несмотря на то что развитие водородной энергетики России было ранее направлено на экспорт, предусматривается применение водорода на внутреннем рынке в качестве топлива для автомобилей и железнодорожного транспорта, водородных накопителей энергии для использования в локальных экосистемах, в частности в арктической зоне, и в качестве нового способа отопления жилых домов в том случае, если подтвердятся безопасность и экономическая эффективность водорода.

В рамках первого этапа развития водородной энергетики в России, временные рамки которого определены с 2021 г. по 2024 г., планируется создание как минимум четырех водородных кластеров:

- 1) Северо-Западный;
- 2) Восточный;
- 3) Арктический;
- 4) Южный.

Согласно данным, представленным в аналитическом докладе «Водород: формирование рынка и перспективы России», инвестиции в реализацию программы внедрения водородной энергетики в РФ составят 26 млрд долл. США, из которых примерно 35 % — средства государственной поддержки¹⁶.

В программе по реализации водородной энергетики на территории РФ предполагается производство как «низкоуглеродного» водорода, так и «возобновляемого». К последнему относят исключительно «зеленый» водород, который производится с помощью электролиза. С помощью других способов производства водорода, таких как паровая конверсия метана, пиролиз, газификация угля и др., производится «низкоуглеродный» водород. Всего в программу включены четыре возможных сценария развития водородной энергетики в РФ:

1) «развитие экспорта водорода» — базовый сценарий, который предполагает минимальные прогнозные данные Концепции развития водородной энергетики РФ по экспорту;

2) «ускоренное развитие экспорта водорода» — сценарий, предполагающий увеличение поставок водорода из России в другие страны до 6,4 млн т к 2030 г. и 30 млн т к 2050 г.;

3) «сценарий Минэнерго» — сценарий развития внутреннего рынка водорода наряду с экспортом водородного сырья, согласно которому предполагается постепенное увеличение объема потребления

¹³ European Commission. Hydrogen. Режим доступа: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁴ European Commission. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. Режим доступа: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁵ Правительство Российской Федерации. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/5JFnsICDAKqYKzZ0mnRADAw2Nqcvsexl.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁶ Водород: формирование рынка и перспективы России. Режим доступа: https://portnews.ru/upload/basefiles/2567_pRchypnpopk%20rvpopdpochrpopdpdp_pDpopkplpdpd%20pIpPpEpM_pappchrpeplch%202022.pdf (дата обращения: 09.01.2024).

водорода внутри страны в качестве новейшего топлива для транспорта, а также заправок;

4) «интенсивное развитие внутреннего рынка водорода» — сценарий активного развития внутреннего рынка водорода, в котором прогнозируется, что в промежутке с 2030 г. по 2050 г. производство для внутреннего потребления составит 0,6–1,2 млн т, для транспорта — 1,5–5,25 млн т, для заправок — 3–10,5 млн т.

Подтверждением фактического развития водородной энергетики РФ могут послужить следующие основные проекты, реализуемые крупными компаниями страны (в скобках указаны компании-инициаторы проекта):

1) создание водородного кластера в Сахалинской области (ГК «Росатом», Air Liquide, публичное акционерное общество «Газпром», правительство Сахалинской области)¹⁷;

2) производство водорода на базе Кольской атомной электростанции (ГК «Росатом»)¹⁸;

3) производство водорода на базе атомной энерго-технологической станции (ГК «Росатом»)¹⁹;

4) производство «чистого» водорода в Мурманской области (Enel, акционерное общество «Роснано»)²⁰;

5) производство водорода на свободных мощностях гидроэлектростанции (En+ Group)²¹;

6) производство водорода на мощностях проектируемой гидроэлектростанции (En+ Group);

7) проекты по разработке получения, транспортировке, хранения и использования водорода, в том

числе утилизации CO₂ (публичное акционерное общество «Газпром нефть»)²²;

8) производство «низкоуглеродного» водорода с использованием технологии CCS (публичное акционерное общество «НОВАТЭК», публичное акционерное общество «Северсталь», JVIC)²³;

9) производство «низкоуглеродного» аммиака и «возобновляемого» водорода в Ямало-Ненецком автономном округе (фонд «Энергия»);

10) производство «возобновляемого» водорода в Амурской области (Агентство Амурской области по привлечению инвестиций).

Вышеприведенные факты, связанные с развитием водородной энергетики в РФ, подтверждают гипотезу, которая заключается в том, что Россия активно развивает водородную энергетику. Она ставит цель увеличить спрос других стран мира именно на отечественный водород, чтобы выйти на новый уровень развития энергетики страны и мира в целом.

Анализ рынка водородного сырья ведущих стран мира / Analysis of hydrogen raw materials market in the world's leading countries

По данным Trade Map, основными ведущими странами мира по объемам импорта и экспорта водорода являются Нидерланды, Бельгия, США, Канада, Германия, Великобритания, Япония²⁴. Приведем данные по объемам импорта водорода в ведущие страны мира (табл. 1).

Таблица 1

Импорт водорода в денежном эквиваленте

Страна	Импорт, тыс. долл. США	
	2021 г.	2022 г.
Россия	28	–
Германия	5 913	6 822
Бельгия	2 086	2 904
Великобритания	2 737	5 185
Канада	4 146	6 762

¹⁷ Страна Росатом. Первый сахалинский элемент: «Росатом» подписал пять соглашений по водородной энергетике на ВЭФ. Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2022/09/12/pervyj-sahalinskij-element-rosatom/> (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁸ Росатом. На Кольской АЭС произвели первый водород на новом отечественном электролизере. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/journalist/news/na-kolskoy-aes-proizveli-pervyy-vodorod-na-novom-otechestvennom-elektrolizere/> (дата обращения: 09.01.2024).

¹⁹ Андрей Никипелов: готовим проект атомной станции для производства водорода. Режим доступа: <https://ria.ru/20211227/nikipelov-1765364046.html> (дата обращения: 09.01.2024).

²⁰ Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса. Водородные проекты «Газпрома». Режим доступа: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/1/983/ (дата обращения: 09.01.2024).

²¹ «Ъ»: En+ Group намерена производить 18 тыс. тонн водорода в год на свободных мощностях ГЭС. Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/12038425> (дата обращения: 09.01.2024).

²² Газпром нефть. «Газпром нефть» займется развитием водородных технологий. Режим доступа: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_zaymetsya_razvitiem_vodorodnykh_tekhnologiy/ (дата обращения: 09.01.2024).

²³ НОВАТЭК. Мероприятия по сохранению климата. Режим доступа: <https://www.novatek.ru/ru/development/environmental/technologies/> (дата обращения: 09.01.2024).

²⁴ Trade Map. List of supplying markets for a product imported by Russian Federation. Режим доступа: https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1%7c643%7c%7c%7c%7c280410%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1 (дата обращения: 09.01.2024).

Окончание табл. 1

Страна	Импорт, тыс. долл. США	
	2021 г.	2022 г.
Нидерланды	52 326	144 892
США	57 532	53 615
Япония	22	160

Источник²⁵ / Source²⁵

Анализ табл. 1 позволяет сделать ряд выводов:

1) импорт в РФ относительно мал, при этом можно обратить внимание на то, что в 2021 г. импорт в Японию был меньше, чем импорт в РФ;

2) наибольшие затраты на покупку водорода в 2021 г. наблюдаются у США, на втором месте по данному критерию – Нидерланды;

3) в 2022 г. затраты на покупку водородного сырья существенно увеличились у Нидерландов – почти в 3 раза больше по сравнению с 2021 г.;

4) США сократили затраты на покупку водородного сырья в 2022 г. на 3, 917 тыс. долл. США;

5) Германия, Бельгия, Великобритания, Канада, Япония увеличили объем закупок водорода в 2022 г. по сравнению с 2021 г.;

6) наибольшее увеличение затрат на покупку водородного сырья в 2022 г. наблюдалось у Японии: затраты увеличились в 7,27 раза по сравнению с 2021 г.

Из этих данных можно сделать вывод о том, что по импорту водорода лидируют США и Нидерланды, наименьшие затраты на водород наблюдаются у Японии и России.

Далее авторы настоящего исследования провели анализ экспорта водородного сырья ведущими странами мира (табл. 2).

Таблица 2

**Экспорт водорода, осуществляемый
ведущими странами мира**

Страна	Импорт, тыс. долл. США	
	2021 г.	2022 г.
Россия	230	–
Германия	7 136	9 496
Бельгия	64 454	175 435
Великобритания	1 719	3 790
Канада	57 465	53 922
Нидерланды	36 237	62 973
США	10 932	14 570
Япония	1 469	4

Источник²⁶ / Source²⁶

²⁵ Trade Map. List of importers for the selected product. Режим доступа: https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c%7c280410%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1 (дата обращения: 09.01.2024).

²⁶ Trade Map. List of exporters for the selected product. Режим доступа: https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c%7c280410%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1 (дата обращения: 09.01.2024).

По результатам анализа табл. 2 были сформулированы следующие выводы:

1) наибольший рост экспорта наблюдалось у Бельгии: увеличение в 2022 г. в 2,7 раза по сравнению с 2021 г.;

2) повышение доли экспорта в 2022 г. по сравнению с 2021 г. наблюдалось у Германии, Великобритании, Нидерландов и США;

3) значительное снижение доли экспорта произошло в Японии.

Общий вывод заключается в том, что в тройку лидеров по экспорту водорода входят Бельгия, Нидерланды и Канада, а самый резкий спад экспорта наблюдается у Японии.

Анализ данных об импорте и экспорте водородного сырья указывает на то, что в России значительную долю занимает именно экспорт водорода, что говорит о меньшей зависимости от других стран-лидеров. Япония стремится стать лидером на рынке водорода, но по анализу значений затрат на импорт и прибыли от экспорта прослеживается пессимистичный сценарий развития технологий производства водорода в Японии, поскольку происходит увеличение импорта и уменьшение экспорта. В итоге это может увеличить риски зависимости Японии от стран-экспортеров. С другой стороны, рост импорта водорода говорит о том, что на сегодняшний день технологический стек Японии в наибольшей степени по сравнению с другими странами готов к использованию водорода как энергоресурса. Кроме того, значительную активность в плане производства и потребления водорода демонстрируют Бельгия, Нидерланды, Канада и Германия, где наблюдается увеличение экспорта и импорта водорода.

Изучение представленных в статье стратегий развития водородной энергетики ведущих стран мира, фактического производства водородного сырья в этих странах, а также исследования о развитии рынка водородного сырья легло в основу прогноза развития водородной энергетики до 2030 г.²⁷

1) главные рынки водородного сырья будут сосредоточены в Северной Америке, Европе, Средней Азии, Азиатско-Тихоокеанском регионе;

2) совокупный среднегодовой темп роста рынка водородного сырья составит приблизительно 7,2 %;

²⁷ Allied Market Research. Hydrogen Generation Market by Source (Blue Hydrogen, Gray Hydrogen, Green Hydrogen), by Process (Steam Methane Reforming, Coal Gasification, Electrolysis, Others), by Delivery Mode (Captive, Merchant), by Application (Chemical Processing, Transportation, Petroleum Recovery, Power Generation, Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021–2031. Режим доступа: <https://www.alliedmarket-research.com/hydrogen-generation-market> (дата обращения: 09.01.2024).

3) возможный объем рынка водорода может составить 218 млрд долл. США к 2028–2030 гг.;

4) самым быстрорастущим рынком водорода является Азиатско-Тихоокеанский регион;

5) объем рынка водорода вырастет за ближайшие 5–7 лет на 40 млрд долл. США;

6) большую долю на рынке водорода будет занимать «серый» водород, который производится с помощью парового риформинга метана;

7) наибольший спрос будет иметь «зеленый», «серый» и «голубой» водород, так как данные виды будут занимать большую долю на рынке водорода.

Разработка сети водородных кластеров на территории РФ / Hydrogen clusters network development in Russia

Из всех сформулированных понятий термина «кластер» авторы в рамках настоящего исследования используют следующую трактовку.

Кластер — это форма организации производства, позволяющая интегрировать производственные возможности и конкурентные преимущества неформально связанных между собой предприятий, объединяющихся для достижения общих целей. Такая трактовка раскрывает основную задачу создания кластера — объединение организаций/предприятий, которое будет позволять достижению общей цели. В случае создания водородного кластера объединение будут создавать крупные энергетические компании, которые имеют технологические возможности производства низкоуглеродного и безуглеродного водорода в качестве энергетического ресурса.

Существует необходимость изучения рисков в водородной отрасли, которые могут стать существенными барьерами для развития водородной энергетики на территории России. Далее будут рассмотрены следующие риски:

1) политические:

1.1) санкционное давление со стороны США и стран ЕС;

1.2) переориентировка России не на развитие экспорта энергетических ресурсов, а на «реанимирование» внутреннего рынка без помощи импортных технологий (импортозамещение);

1.3) цели России, прописанные в Концепции;

2) экономические:

2.1) потенциал кадров (в каких регионах России имеется возможность получить специальность для работы на предприятии, базирующемся на производстве водорода);

2.2) возможное сотрудничество с «дружественными» странами;

2.3) инфраструктура;

3) географические (в каких регионах России наиболее эффективно будет производиться водород с помощью):

3.1) электролиза;

3.2) паровой конверсии (риформинга) метана;

3.3) пиролиза;

3.4) газификации угля.

На основе выше приведенных рисков авторы настоящего исследования обосновывают требования для создания сети водородных кластеров на территории России, которые будут способствовать бесперебойному развитию водородной энергетики, за счет которой доля ВИЭ в энергобалансе РФ будет постепенно увеличиваться. Такая тенденция позволит России стать одним из конкурентоспособных стран-лидеров на рынке водородного топлива. Соответственно, на основе рисков и требований, связанных с внедрением водородной энергетики в энергетический баланс РФ, будут разработаны и сформированы концептуальные основы создания в стране сети водородных кластеров.

Карта рисков реализации водородных проектов на территории РФ / Risk map for the of hydrogen projects implementation in Russia

Для получения требований, которые авторы исследования закладывают в концептуальные основы создания сети водородных кластеров на территории РФ, необходимо рассмотреть различные риски, которые напрямую вводят в зависимость водородную энергетику от них. Ранее были отмечены следующие риски, относящиеся к:

1) политическим;

2) экономическим;

3) географическим.

Прямая зависимость идет у политических и экономических рисков. Отдельно рассматривать экономические риски невозможно без политических, и наоборот. Например, отмеченное ранее санкционное давление со стороны стран ЕС и США ставит новые цели, которые поменяли вектор в отношении энергетики, в частности водородной²⁸. Ранее Россия рассматривала вектор развития экспорта углеводородов. Однако в связи с текущей геополитической ситуацией началась переориентировка на развитие внутреннего энергетического рынка, что может позволить РФ укрепить свои позиции на мировом рынке как развитой экономики.

Для того чтобы быть сильным игроком на мировой экономической арене, необходимо начать мо-

²⁸ Санкции в отношении России. Режим доступа: <https://nauka.tass.ru/sankcii-v-otnoshenii-rossii> (дата обращения: 09.01.2024).

дернизацию внутри страны. По этой причине страна заинтересована в новейших отечественных разработках, которые смогут позволить России стать независимой от импортных технологий. Например, Министерство науки и высшего образования РФ создает различные фонды и проекты для поддержки разработок молодых ученых в качестве выделения денежных средств — грантов, которые грантополучатели используют для реализации своих разработок²⁹. Такие меры поддержки мотивируют молодых ученых создавать инновационные технологии. Кроме того, это является показателем развитости страны в науке и, соответственно, уровня подготовки специалистов в различных направлениях подготовки.

Таким образом, мы переходим к риску подготовки кадров, специализирующихся в сфере водородной энергетики. Если рассматривать энергетические вузы России, то можно заметить, что специализация «Водородная энергетика» имеется не во всех энергетических образовательных организациях.

Далее приведен список вузов, где готовят студентов по указанной специальности:

- 1) Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Москва);
- 2) Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва);
- 3) Научно-исследовательский университет «Московский физико-технический институт» (Москва);
- 4) Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург);
- 5) Казанский государственный энергетический университет (Казань);
- 6) Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург).

В данном списке приведены основные университеты на основе поиска на сайтах, в которых собраны все энергетические вузы страны, в которых есть программа подготовки специалистов в области водородной энергетики. Можно заметить, что большая часть образовательных организаций находится в Центральном федеральном (3 шт.), Северо-Западном федеральном (1 шт.), Приволжском федеральном округе (1 шт.) и Уральском федеральном (1 шт.) округах.

Ведущая ГК «Росатом» также намерена развивать водородную энергетику на территории Дальнего

Востока³⁰. Риск заключается в том, что дальневосточные вузы не имеют базу по подготовке специалистов именно в области водородной энергетики, что способствует нехватке кадров для реализации производства водорода в рассматриваемом регионе. Следовательно, дальневосточным компаниям придется нанимать специалистов из других регионов, в которых подготавливают высококвалифицированных специалистов в водородной отрасли. Такими потенциальными образовательными организациями для подготовки кадров могли бы стать Дальневосточный федеральный университет (Владивосток) и Дальневосточный государственный университет путей сообщения (Хабаровск). В таком случае распределился бы поток людей, желающих получить специальность «Водородная энергетика» и регионы не испытывали бы нехватку кадров в указанной отрасли.

Также отдельно стоит выделить энергетическую переориентировку России от стран ЕС к странам Ближнего Востока, которые в настоящее время являются «дружественными». Такое решение является самым оптимальным для поддержания внешних экономических отношений. Необходимо отметить страны Африки, которые на сегодняшний день являются одним из главных союзников России. Они намерены развиваться совместно с РФ и поддерживать дипломатические отношения.

Одним из главных рисков развития водородной энергетики на территории РФ является инфраструктура. Не в каждом регионе есть возможность производить водород любым методом. Это зависит от географического положения, климатических условий, а также непосредственной близости к потребителям. Как отмечалось во втором разделе настоящего исследования, для эффективного производства водорода и поставки электроэнергии, произведенной на основе водорода, необходима непосредственная близость к потенциальным потребителям для наименьших потерь.

В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах целесообразно производство водорода методом электролиза. В этих округах уже имеется необходимое количество солнечных и ветровых электростанций, на основе которых можно произвести электроэнергию, далее использующуюся для электролиза. Также стоит отметить Донецкий угольный бассейн, который потенциально может стать основой

²⁹ Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Фонды и проекты. Режим доступа: <https://nauka.tass.ru/sankcii-v-otnoshenii-rossii> (дата обращения: 09.01.2024).

³⁰ Страна Росатом. Первый сахалинский элемент: «Росатом» подписал пять соглашений по водородной энергетике на ВЭФ. Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2022/09/12/pervyj-sahalinskij-element-rosatom/> (дата обращения: 09.01.2024).

производства «серого» водорода на территории Южного федерального округа.

Центральный федеральный округ не имеет достаточного количества энергоносителей, которые могут стать основой для производства водорода. В округе находятся основные вузы, которые могут подготовить высококвалифицированных специалистов в области водородной энергетики.

Северо-Западный федеральный округ богат запасами газа и угля, которые могут стать основой для производства водорода методом парового риформинга метана, пиролиза и газификации угля.

Приволжский федеральный округ может стать территорией для производства водорода методом электролиза из-за достаточного количества солнечных дней в году. Округ находится на втором месте по добыче нефти и газа, поэтому на его территории также уместно внедрение производства водорода методом паровой конверсии метана или пиролиза.

В состав Уральского федерального округа входят две самые богатые с точки зрения запасов и добычи нефти и газа — Ханты-Мансийский автономный округ — Югра и Ямало-Ненецкий автономный округ. На территории этих регионов возможно производство водорода на основе природного газа.

Сибирский федеральный округ имеет в своем составе Кузбасский угольный бассейн, который

позволит ему стать лидером в производстве водорода методом газификации угля.

Дальневосточный федеральный округ имеет много неразведанных территорий, а также суровый климат. Стоит отметить, что на территории округа добывается газ, имеются солнечные электростанции, а также реанимируется советский проект по постройке Пенжинской приливной электростанции, которая может выработать колоссальное количество электроэнергии для производства безуглеродного, или «зеленого», водорода. Таким образом, на территории округа имеются перспективы производства «голубого» и «зеленого» водорода.

Из вышесказанного стоит сделать вывод (табл. 2).

Из данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод о том, что практически все федеральные округа РФ имеют возможность производить водород. Основными ресурсами для его производства являются газ, уголь и электроэнергия, выработанная на основе солнечных и ветровых электростанций. В перспективе также есть возможность генерации электроэнергии на Пенжинской приливной электростанции производства водорода методом электролиза в больших объемах. В настоящее время основными рисками для водородной энергетики являются импортозамещение и нехватка кадров в отдельных регионах России.

Таблица 2

Производство водорода в федеральных округах РФ

Федеральный округ РФ	Возможность производства водорода (Да/Нет)	Методы производства водорода	Вузы, подготавливающие специалистов по направлению «Водородная энергетика»
Южный	Да	• электролиз; • газификация угля	На момент исследования таких вузов нет
Северо-Кавказский	Да	электролиз	На момент исследования таких вузов нет
Центральный	Нет	—	• Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; • Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики»; • Научно-исследовательский университет «Московский физико-технический институт»
Северо-Западный	Да	• паровой риформинг метана; • пиролиз; • газификация угля	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Приволжский	Да	• электролиз; • паровой риформинг метана; • пиролиз	Казанский государственный энергетический университет
Уральский	Да	• паровой риформинг метана; • пиролиз	Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
Сибирский	Да	газификация угля	На момент исследования таких вузов нет
Дальневосточный	Да	• электролиз; • паровой риформинг метана; • пиролиз	На момент исследования таких вузов нет

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Требования, необходимые для создания водородного кластера на территории РФ / Requirements necessary to create a hydrogen cluster in Russia

Авторы настоящего исследования посчитали логичным в первую очередь обосновать риски, которые могут препятствовать внедрению водорода в энергетический баланс РФ, а далее сформировать требования для создания водородного кластера.

Соответственно, на основе рисков, прописанных выше, основными требованиями для реализации водородного кластера на территории РФ являются следующие.

1. Импортозамещение — необходимость развивать отечественные технологии, чтобы стать автономными в энергетической отрасли. Это делается для того, чтобы при различных геополитических ситуациях отрасль была готова к новым изменениям. Такое решение способствует наименьшим издержкам при быстро меняющихся условиях реализации деятельности.

2. Диверсификация — переориентировка на новые рынки. Это предусмотрительная тактика на тот случай, если тот рынок, на котором базируется отрасль, больше не приносит прибыль и производитель переориентируется на новый, более прибыльный рынок. На сегодняшний день Россия сменила вектор от стран ЕС к «дружественным» странам Ближнего Востока.

3. Развитие инфраструктуры — создание водородных компаний или подразделений внутри существующих энергетических компаний, которые находятся в непосредственной близости к потенциальным потребителям. Также необходимо учитывать, какие энергоресурсы на этой территории имеются для дальнейшего производства водорода. Одно из самых главных требований к инфраструктуре — территориальная доступность к предприятиям.

4. Создание высших и средних специальных учебных заведений для подготовки квалифицированных кадров для работы в области водородной энергетики или введение в существующие образовательные организации такой программы. Также стоит отметить необходимость управленческих кадров для организаций. Таким образом, в список вузов и средних специальных учебных заведений, которые базируются на водородной энергетике, должны входить и те организации, которые подготавливают высококвалифицированные управленческие кадры.

Эти основные четыре требования способствуют беспрепятственному внедрению водородной энергетики в энергобаланс РФ и производству водорода для энергетических нужд страны.

Заключение / Conclusion

Суммируя результаты анализа и исследований, проведенных в рамках настоящей статьи, можно сделать следующие выводы.

1. Водород — перспективный энергоресурс, использование которого приводит к наименьшим выбросам CO₂ в окружающую среду, что в свою очередь препятствует наступлению глобального потепления на планете, а также ухудшению состояния здоровья у населения. По наблюдениям, сделанным авторами настоящего исследования, прослеживается активное стремление развивающихся и развитых стран мира стать лидерами на рынке водородного сырья:

1.1) страны активно разрабатывают и внедряют стратегические документы, регламентирующие политику по развитию водородной энергетики;

1.2) утверждаются глобальные проекты по производству, транспортировке, хранению и использованию водорода;

1.3) в университетах различных государств идет активная подготовка кадрового резерва, направленная на постепенное увеличение специалистов по водородной энергетике.

2. Ключевым ориентиром для водородного энергоперехода является 2030 г., на который в своих стратегических программах ссылаются все заинтересованные в водородной энергетике страны. Можно сказать, что в настоящее время происходит интенсивное развитие технологий для постепенного перехода от традиционных источников энергии к возобновляемым. Через 7 лет не имеет смысла говорить о полном переходе на ВИЭ, поскольку это технологически и технически сложный, затратный и долгий процесс, а сложная политическая ситуация между странами и отказ от дальнейшего сотрудничества способствуют лишь увеличению сроков достижения целей по энергопереходу, что не соответствует планам развития водородной энергетики.

3. Взяв за основу предложенные авторами настоящего исследования предложения по решению проблемы развития водородной энергетики и внедрению водородных проектов на территории РФ, страна даже в тяжелых геополитических условиях сможет сформировать устойчивый внутренний рынок водорода в качестве возобновляемого энергоресурса. Только после этого целесообразно принять во внимание экспорт водородного сырья в «дружественные» страны. Это станет новой ступенью в модернизации топливно-энергетического комплекса России.

Список литературы

Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н. Потенциал водородной энергетики и возможные следствия ее реализации. Стратегия развития. 2021;1-2:8–11. <https://doi.org/10.24412/2310-8266-2021-1-2-8-11>

Карасевич В.А. Основы водородной энергетики. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; 2023. 97 с.

Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Энергосбережение и энергоэффективность. М.: Русайнс; 2022. 334 с.

Плешаков А.С. Водородная энергетика в рамках энергоперехода Европейского Союза. Энергетический вестник. 2023;28:69–80.

Рамзанова С.В. Перспективы развития водородной энергетики в Российской Федерации. Георесурсы. 2023;3(25):216–226. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.25>

References

Arutyunov V.S., Strekova L.N. The potential of hydrogen energy and possible consequences of its implementation. *Strategiya razvitiya*. 2021;1–2:8–11. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2310-8266-2021-1-2-8-11>

Karasevich V.A. Fundamentals of hydrogen energy. Moscow: Russian State University of Oil and Gas “Gubkin University” Publ. House; 2023. 97 p. (In Russian).

Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Energy saving and energy efficiency. Moscow: Rusains; 2022. 334 p. (In Russian).

Pleshakov A.S. Hydrogen energy within the framework of the energy transition in the European Union. *Energy Bulletin*. 2023;28:69–80. (In Russian).

Ramzanova S.V. Prospects for the development of hydrogen energy in the Russian Federation. *Georesursy*. 2023;3(25):216–226. (In Russian). <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.25>