

## Водородная экономика

© В. В. Дюкова, О. М. Сафонова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены перспективы водородной энергетики, её влияние на экономику и дальнейшее развитие энергетических компаний. Водород становится глобальным энергоносителем, который выступает как один из промышленных газов, используемый в первую очередь в химии и нефтепереработке. Мировой энергетический сектор переживает процесс глобальной трансформации под названием «энергетический переход», связанный прежде всего с декарбонизацией и низкоуглеродным развитием. Ведущие страны мира, отдельные регионы, города и крупные компании в своих долгосрочных стратегиях по развитию ставят цели по сокращению парниковых газов и углеродного следа для борьбы с глобальными изменениями климата. Именно необходимость трансформационных преобразований глобального энергетического сектора способствует предпосылке развития «водородной» экономики. Перспективы развития данной экономики могут формироваться под воздействием факторов, обеспечивающих поддержку технологического развития, формирование долгосрочного спроса, а также стимулирование инвестиционной активности в экономическом секторе. Тем не менее водородные технологии, несмотря на экономическую поддержку, уже имеют и свою конкурентную среду, разработки в сфере авиаперевозок, электромобили на водородном энергоносителе.

**Ключевые слова:** водород, водородная экономика, декарбонизация, энергетика

## Hydrogen Economy

© Victoria V. Dyukova, Olga M. Safonova

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** This article discusses the prospects for hydrogen energy, its impact on the economy and further development of energy companies. Hydrogen is becoming a global energy carrier, which acts as one of the industrial gases used primarily in chemistry and oil refining. The global energy sector is undergoing a global transformation called the "energy transition" associated primarily with decarbonization and low-carbon development. Leading countries of the world, individual regions, cities and large companies in their long-term development strategies set goals to reduce greenhouse gases and carbon footprint in order to combat global climate change. The need for a transformational changes of the global energy sector contributes to the premise of a hydrogen economy. The prospects for the development of this economy can be formed under the influence of factors that provide support for technological development, the formation of long-term demand, as well as stimulation of investment activity in the economic sector. Nevertheless, hydrogen technologies, despite the economic support, already have their own competitive environment, developments in the field of air transportation, and hydrogen-powered electric vehicles.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen economy, decarbonization, energy

Перспективы «зелёного» экономического развития для России, как и для большинства государств, в значительной мере связаны с прогрессом в энергетике. Наша страна богата различными природными ресурсами, которые используются малоэффективно. В данном случае особую актуальность приобретает развитие водородной экономики, которая способствует повышению благосостояния общества, улучшению качества жизни и уменьшению экологических рисков. Водородная экономика является экономикой, которая полагается на водород в качестве коммерческого топлива, обеспечивающего

значительную долю энергии и услуг страны. Существуют различные варианты использования водорода, на сегодняшний день преобладает применение водорода в промышленности, а именно: в переработке нефти, производстве аммиака, производстве метанола и стали. Практически весь этот водород поставляется с использованием ископаемого топлива, поэтому существует значительный потенциал сокращения выбросов за счёт чистого водорода. В производстве электроэнергии водород является одним из ведущих вариантов хранения возобновляемой энергии, а водород и аммиак можно ис-

пользовать в газовых турбинах для повышения гибкости энергосистемы. Аммиак можно также применять на угольных электростанциях для сокращения выбросов.

Существует несколько видов водорода, таких как голубой, зелёный, белый и жёлтый. Цвет водорода определяется в зависимости от способа производства для того, чтобы водород смог реализовать свой потенциал в качестве экологически чистого источника энергии. Текущий метод производства водорода основан на ископаемом топливе – метан, природный газ или уголь. Такой тип водорода называется «серый», на сегодняшний день его производство составляет 95 %. В процессе его создания образуется большое количество выбросов, поэтому многие эксперты выдвигают идею, связанную с производством «зелёного» водорода, поскольку он вырабатывается возобновляемыми источниками энергии методом электролиза воды [1].

Достаточно большую популярность в мире набирает отказ от углеводородной энергетики из-за негативного влияния на климат и экологическую ситуацию. Значимое место в глобальной экономике начал занимать водород, поскольку он становится глобальным энергоносителем, который способен заменить уголь, нефть и газ. С 2017 по 2020 год ряд стран принял масштабные водородные программы, которые предполагают в будущем увеличение производства водорода с перспективами использования в энергетических целях. Более 20 государств и более 50 корпораций приняли долгосрочные программы развития водородных технологий. В данную программу также входит и Россия, поскольку мировой тренд создаёт угрозу для энергобезопасности страны, так как Россия является одним из крупнейших поставщиков нефти, угля и газа в мире. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года был утверждён план мероприятий по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года. Данный план направлен на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также вхождение России в число мировых лидеров по его производству и экспорту<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» // Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года №2634-р.

Российская Федерация обладает серьёзным потенциалом в области водородной энергетики, поскольку имеет близость сбыта водорода в Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе, обладает ресурсной базой и научными наработками в сфере производства, транспортировки и хранения водорода. К тому же Россия имеет ряд перспектив и внутри страны, так как, во-первых, водородная энергетика способствует минимизации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, во-вторых, обеспечивает энергосбережение изолированных и труднодоступных территорий. Электроэнергетика в России, как правило, характеризуется ростом издержек и себестоимости электроэнергии по причине устаревания оборудования, технологий и увеличения цен на производство топлива.

В настоящее время в России водородными технологиями занимаются ведущие российские компании в сотрудничестве с зарубежными партнёрами по вопросу реализации пилотных проектов в области водородной энергетики. Прежде всего перспективы развития отрасли в России связывают с экспортом водорода, но значительный потенциал его использования существует и на внутреннем рынке. Среди российских компаний наиболее подготовленной к выходу на водородный рынок оказалась российская газовая компания «НОВАТЭК». Для данной компании водородная энергетика является перспективным направлением долгосрочной стратегии развития, поэтому в 2020 году она подписала соглашение с компанией Siemens Energy. Их общая цель – внедрение высокотехнологичных решений в области электроэнергии и водорода, направленных на поддержание устойчивого развития. 29 января 2021 года ПАО «НОВАТЭК» и немецкая энергетическая компания Uniper подписали меморандум о взаимопонимании в области производства и поставок водорода [2, 3]. Аналогичным образом при участии государственной корпорации «Росатом» и ПАО «Газпром» планируется реализация нескольких пилотных проектов, в которые включаются установки низкоуглеродного производства водорода, разработка и испытание газовых турбин на метано-водородном топливе, создание опытного образца железнодорожного транспорта на водороде и производство водорода на базе АЭС.

Водородная индустрия подверглась достаточно серьёзному влиянию кризиса

2020 года по сравнению с другими секторами энергетики. Такую оценку дало Международное энергетическое агентство, упоминающая существенные потери в нефтепереработке, химической отрасли и металлургии. Именно они формируют основную часть современного спроса на водород и положение цепочки стоимости в отрасли.

Базовый прогноз Международного энер-

гетического агентства по производству водорода характеризуется достаточно позитивной динамикой в части, касающейся низкоуглеродного производства водорода. К тому же если рассматривать представленный график (рис.), можно заметить, что 2020 год стал «точкой перелома», обозначающей начало экспоненциального развития отрасли.

Низкоуглеродное производство водорода в мире (факт и прогноз)

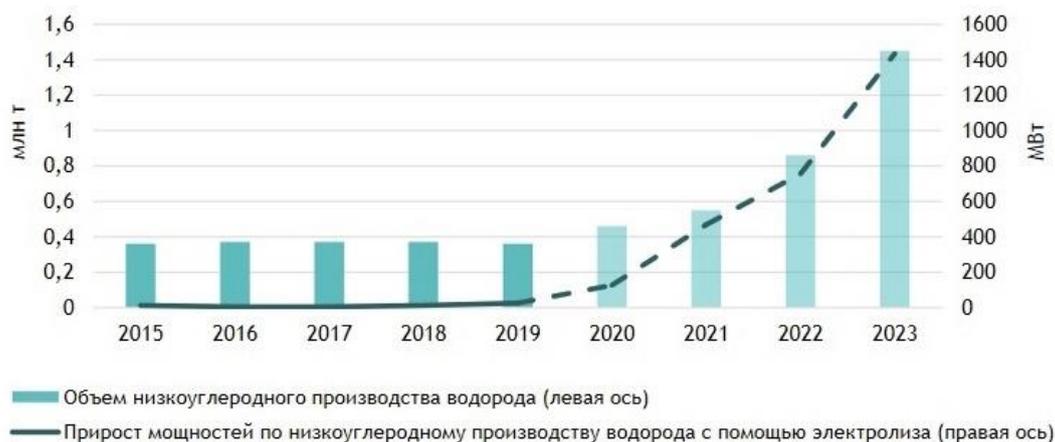


График низкоуглеродного производства водорода в мире

Основным фактором ограничения широкого применения являются высокая стоимость производства низкоуглеродного водорода, а также трудности его транспортировки. Однако реализация водородной программы в России не находит достаточной поддержки как в организационно-экономическом аспекте, так и в вопросах финансового обеспечения, поскольку входит в противоречие с интересами традиционных экономических компаний и государственной политики.

Достижение чистой нулевой цели требует использования всех доступных технологий для декарбонизации энергетических систем, а затем использования вариантов смягчения или других технологий для компенсации тех выбросов, которые труднее устранить. Водород, как и улавливание и хранение углерода, даёт шанс приблизить эти реальные сокращения к фактическому нулю. Кроме улавливания и хранения углерода, водород предлагает кое-что ещё для унаследованных нефтегазовых гигантов: способ перепрофилировать их существующую инфраструктуру нефтепереработки и трубопроводов для нового топлива [4–6].

Вообще чистое и широкое применение водорода в глобальных энергетических переходах сталкивается с рядом проблем. Во-

первых, производство низкоуглеродной энергии в настоящее время является дорогостоящим процессом. Анализ Международного энергетического агентства показывает, что стоимость производства водорода из возобновляемых источников снизится на 30 % примерно к 2023 году в результате снижения затрат на возобновляемые источники энергии и расширение производства водорода. Топливные элементы, заправочное оборудование и электролизеры могут извлечь выгоду из массового производства. Во-вторых, развитие водородной инфраструктуры идёт медленно и сдерживает широкое внедрение. Цена на водород сильно зависит от того, сколько станций имеется, как часто они используются и сколько водорода поставляется в день. В-третьих, водород почти полностью поступает из природного газа и угля. Он присутствует в промышленных масштабах по всему миру, но его производство способствует выбросу CO<sub>2</sub>. Чтобы создать водород, необходимо в большом количестве использовать электричество для процесса электролиза или расщепления воды для получения водорода. Если это электричество будет производиться из угля, сам водород будет далеко не «зелёным». Он экологичен только в том случае, если он создан с использованием

возобновляемых источников энергии. Это делает будущее экологически чистого водорода по своей сути зависимым от роста производства недорогой и надёжной энергии из таких источников, как ветер и солнце. Фактически водород уже несколько десятилетий используется для нефтепереработки или химической переработки, и почти весь он создаётся с использованием ископаемого топлива, а не «зелёного» водорода. По данным Международного энергетического агентства, в настоящее время ежегодно производится около 70 миллионов метрических тонн водорода. Для сравнения, в 2019 году было добыто около 4,6 миллиарда тонн нефти и газа. Согласно сведениям Международного энергетического агентства, около 6 % поставок природного газа и 2 % угля применяется для производства водорода. В результате водород является удивительно крупным источником нашего текущего профиля выбросов, он превосходит общие выбросы Великобритании и Индонезии вместе взятые [7, 8].

В-четвёртых, в настоящее время нормативные акты ограничивают развитие индустрии водорода. Правительство и промышленность должны работать сплочённо, чтобы ликвидировать препятствия для развития водородной экономики<sup>2</sup>.

В итоге можно сказать, что водород как потенциальный энергоноситель обладает определёнными физическими и экологическими преимуществами. Маркетинговые идеи и планы по созданию «водородной эко-

номики», как правило, основаны на экологических соображениях – необходимости декарбонизации экономики. В настоящее время в ряде областей объявлены большие планы по производству водородных продуктов. Одним из наиболее значимых факторов развития водородной экономики в условиях глобальной энергетической трансформации остаётся развитие новых точек экономического роста. Значительная наукоёмкость водородных технологий и потенциал снижения стоимости энергоносителя за счёт эффекта масштаба открывают значительные перспективы для этого сегмента рынка десяткам компаний по всему миру, которые уже сейчас конкурируют между собой, создают продукцию и технологии по гармонизированным стандартам. Кроме того, водородные технологии становятся привлекательным и перспективным источником инвестиций для тех стран, которые внедряют технологии производства водорода [9, 10]. Такой эффект сопоставим с «золотой лихорадкой» или вложением средств в покупку нефтяных скважин и обусловлен значительными объёмами продаж водорода в ближайшем времени. Таким образом, в трансформации мировой экономики существенную роль играет развитие водородной экономики, уже активно внедряемой целым рядом как европейских, так и восточных государств. Несмотря на давление на окружающую среду, которому подвергаются все отрасли промышленности, всё сводится к затратам. Чтобы водородная экономика стала главным направлением, она не должна основываться только на субсидиях. Должны быть созданы устойчивые рынки и определение правильной стоимости.

<sup>2</sup> Сайт Международного энергетического агентства [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org> (04.10.2021).

#### Список источников

1. Schnettler A. At the Dawn of the Hydrogen Economy // Power [Электронный ресурс]. URL: <https://www.powermag.com/at-the-dawn-of-the-hydrogen-economy/> (04.10.2021).
2. Водородная энергетика: энергетический бюллетень. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. 2020. Вып. 89. 28 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/energo\\_oct\\_2020.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/energo_oct_2020.pdf) (04.10.2021).
3. Митрова Т., Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию. 2019. 61 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/333918914\\_Vodorodnaa\\_ekonomika-put\\_k\\_nizkouglerodnomu\\_razvitiu](https://www.researchgate.net/publication/333918914_Vodorodnaa_ekonomika-put_k_nizkouglerodnomu_razvitiu) (04.10.2021).
4. Dunn K. The hydrogen economy: Hyped for years, the most abundant element in the universe is finally having its moment [Электронный ресурс]. URL: <https://mimicnews.com/the-hydrogen-economy-hyped-for-years-the-most-abundant-element-in-the-universe-is-finally-having-its-moment> (04.10.2021).
5. Powerfuels: Missing link to a successful global energy transition. Berlin: Dena, 2019. 41 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.dena.de/fileadmin/gap/Publikationen/Green\\_Paper/Global\\_Alliance\\_Powerfuels\\_Powerfuels-A\\_missing\\_link\\_to\\_a\\_successful\\_global\\_energy\\_transition.PDF](https://www.dena.de/fileadmin/gap/Publikationen/Green_Paper/Global_Alliance_Powerfuels_Powerfuels-A_missing_link_to_a_successful_global_energy_transition.PDF) (04.10.2021).
6. Creating the new hydrogen economy is a massive undertaking // The Economist [Электрон-

ный ресурс]. URL: <https://www.economist.com/briefing/2021/10/09/creating-the-new-hydrogen-economy-is-a-massive-undertaking> (04.10.2021).

7. Лазько Е., Малков М. Готовность российских компаний к развитию водородной экономики [Электронный ресурс]. URL: <https://home.kpmg/ru/ru/home/insights/2021/04/readiness-of-russian-companies-for-hydrogen-economy-development.html> (04.10.2021).

8. Юлкин М. А. Низкоуглеродное развитие: от теории к практике. М.: Центр экологических инвестиций, 2018. 62 с.

9. Попадьюко Н. В., Рожнятовский Г. И., Дауди Д. И. Водородная энергетика и мировой энергопереход // Инновации и инвестиции. 2021. №4. С. 59–64.

10. Дегтярев К. С., Березкин М. Ю. О проблемах водородной экономики // Окружающая среда и энерговедение. 2021. № 1 (9). С. 14–24. [Электронный ресурс]. URL: <http://jeees.ru/wp-content/uploads/2021/05/jeees2021-01.pdf> (04.10.2021).

#### Сведения об авторах / Information about the Authors

**Дюкова Виктория Вячеславовна**,  
студентка группы ФКБ-18-2,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: [dyukova.viktoriya@bk.ru](mailto:dyukova.viktoriya@bk.ru)

**Сафонова Ольга Михайловна**,  
ассистент кафедры автоматизации и управ-  
ления,  
Институт высоких технологий,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: [olyastefanovskaya@mail.ru](mailto:olyastefanovskaya@mail.ru)

**Victoria V. Dyukova**,  
Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: [dyukova.viktoriya@bk.ru](mailto:dyukova.viktoriya@bk.ru)

**Olga M. Safonova**,  
Assistant of Automation and Control Department,  
Institute of High Technologies,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: [olyastefanovskaya@mail.ru](mailto:olyastefanovskaya@mail.ru)