

**Прозоров Андрей Сергеевич**аспирант, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»,  
г. Москва, Российская Федерация**ORCID:** 0000-0001-7983-1488**e-mail:** prozorov1995@mail.ru**Калмыкова Евгения Олеговна**студент магистратуры, ФГБОУ  
ВО «Государственный университет  
управления», г. Москва, Российская  
Федерация**ORCID:** 0000-0003-1674-3004**e-mail:** e.calmykova@yandex.ru**ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ТЕМПОВ РОСТА  
ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ, ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО  
ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РОССИИ**

**Аннотация.** В начале XXI в. экологические проблемы стали оказывать интегрированное влияние на различные регионы нашей планеты. На повестке крупных международных форумов рассматриваются вопросы по их решению при активном применении возобновляемых источников энергии, в том числе с расширением использования водорода в различных секторах мировой экономики. В статье произведен краткий экскурс по предпосылкам возобновления интереса к применению водорода в качестве источника энергии, обзор зарубежного опыта в части нормативно-правового регулирования и стимулирования, а также ретроспективный анализ отечественного опыта по применению водорода и перспективы развития водородной энергетики в современных российских реалиях.

**Ключевые слова:** экологические проблемы, энергетические ресурсы, дефицит, альтернативные источники энергии, водород, Парижское соглашение, модель потребления, декарбонизация, нормативно-правовое регулирование, государственная поддержка

**Для цитирования:** Прозоров А.С., Калмыкова Е.О. Предпосылки возобновления темпов роста водородной энергетики, обзор зарубежного опыта и перспективы развития в России // Вестник университета. 2021. № 7. С. 131–136.

**Andrey S. Prozorov**Postgraduate Student, State University  
of Management, Moscow, Russia**ORCID:** 0000-0001-7983-1488**e-mail:** prozorov1995@mail.ru**Evgeniya O. Kalmykova**Graduate Student, State University  
of Management, Moscow, Russia**ORCID:** 0000-0003-1674-3004**e-mail:** e.calmykova@yandex.ru**PREREQUISITES FOR THE RESUMPTION OF THE  
GROWTH RATE OF HYDROGEN ENERGY, A REVIEW  
OF FOREIGN EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR  
DEVELOPMENT IN RUSSIA**

**Abstract.** At the beginning of the XXI century environmental problems began to have an integrated impact on various regions of our planet. The agenda of major international forums addresses issues related to their solution with the active use of renewable energy sources, including the expansion of the use of hydrogen in various sectors of the world economy. The article provides a brief overview on the prerequisites for the resumption of interest in the use of hydrogen as an energy source, a review of foreign experience in terms of regulatory regulation and incentives, as well as a retrospective analysis of domestic experience in the use of hydrogen and the prospects for the development of hydrogen energy in modern Russian realities.

**Keywords:** ecological problems, energetic resources, scarcity, alternative energy sources, hydrogen, Paris Agreement, consumption pattern, decarbonization, legal regulation, state support

**For citation:** Prozorov A.S., Kalmykova E.O. (2021) Prerequisites for the resumption of the growth rate of hydrogen energy, a review of foreign experience and prospects for development in Russia. *Vestnik universiteta*, no. 7, pp. 131–136. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-7-131-136

**Введение**

В настоящее время одной из глобальных экологических проблем является стремительное истощение природных ресурсов, которое сопровождается продолжающимся ростом их потребления и отсутствием возможности равноценного восполнения. Данный вопрос был затронут еще в 1798 г. Т. Мальтусом в работе «Опыт закона о народонаселении», но за счет активного развития машинного производства мнение британского ученого не было серьезно воспринято. Обсуждение проблемы на мировом уровне начало активно развиваться уже в XX в., вместе с тем до настоящего времени ситуация с использованием полезных ископаемых только усугубилась за счет роста объемов их потребления в совокупности с достаточно низкой ценой на их приобретение [1].

© Прозоров А.С., Калмыкова Е.О., 2021.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Prozorov A.S., Kalmykova E.O., 2021.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

С учетом прогнозируемых Организацией Объединенных Наций (далее – ООН) темпов роста численности мирового населения (до 8,1 млрд человек и 9,6 млрд человек к 2025 г. и 2050 г. соответственно), темпов добычи энергетических, водных и минеральных ресурсов и, соответственного, среднедушевого потребления, полное истощение топливно-энергетического сырья прогнозируется в ближайшее время. Согласно данным Центра глобальной экологии факультета глобальных процессов ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», мировые запасы нефти, при сохранении существующего уровня использования и без учета открытия новых месторождений, могут быть исчерпаны уже через 30 лет, запасы природного газа – через 50 лет, каменного угля – через 200 лет [1].

Отдельно стоит отметить острую проблему истощения водных ресурсов: уже в настоящее время она охватывает шесть континентов, при этом около 26 % населения Земли проживают на территории с ограниченным доступом к водным ресурсам, порядка 29 % населения не имеют возможности употребления безопасной питьевой воды. Особое проявление данной проблемы наблюдается в Индии, Китае, Эфиопии, Нигерии, Пакистане, Перу, Аргентине, США, то есть в странах, где фиксируется повышенное потребление воды и в то же время предпринимаются недостаточные меры по ее эффективному использованию. Согласно оценке ООН, на перспективу до 2050 г. ситуация с беспрепятственным доступом к питьевой воде только усугубится: до 5,7 млрд человек или порядка 60 % от прогнозируемого уровня населения будут испытывать существенные трудности в доступе к водным ресурсам. Необходимо подчеркнуть, что проблемы исчерпания энергетических, минеральных ресурсов и нехватки питьевой воды взаимосвязаны между собой: неэффективная организация производственных процессов, отсутствие учета использования сырья, пренебрежение правилами утилизации отходов, очистки сооружений напрямую влияет на качество воды.

О необходимости разрешения данной глобальной проблемы упоминается и в докладе Римского клуба, подготовленного к моменту 50-летия существования международной организации. В частности, его сопредседатели Э. Вайцзеккер и А. Вейкман совместно с другими участниками клуба упоминают о следующих факторах, оказывающих прямое воздействие на процесс постепенного истощения природных недр:

- необходимость стабилизации прироста населения;
- сосредоточение большей части капитала в руках узкого круга лиц, часть из которых владеет компаниями, осуществляющими добычу и переработку полезных ископаемых;
- осознанное потребление. Человечество в поисках способа максимизации прибыли не предпринимает усилий по поиску альтернативных, возобновляемых ресурсов, при этом в некоторых случаях органы государственной власти не препятствуют, а способствуют (за счет выдачи лицензий, регулирования цен на углеводороды) постепенному истощению ресурсов.

Проблема добычи и использования энергоресурсов особенно актуальна и для Российской Федерации – государства, доля поступлений в федеральный бюджет от продажи нефтегазовых ресурсов которого составляет в среднем около 40–45 %. С учетом усиливающейся тенденции истощения источников добычи полезных ископаемых, перед органами государственной власти стоит приоритетная задача по поиску альтернативного источника энергии, который бы не только позволил в полной мере растущие потребности общества, но оказывал минимальное воздействие на окружающую среду и позволял бы обеспечивать существенную долю поступлений федерального бюджета. Освоение новых источников добычи энергетических, водных и минеральных ресурсов становится более дорогостоящим за счет труднодоступной территории залегания полезных ископаемых, а взаимозависимость между различными видами ресурсов (например, добыча железной руды и дальнейшая плавка стали не является целесообразной без доступа к источникам топлива и энергии – нефти, газа, угля) снижает привлекательность добычи отдельных групп ископаемых без возможности использования вспомогательных источников.

Основным вариантом решения данной проблемы, не учитывая необходимости оптимизации использования существующих природных ресурсов, является поиск альтернативных источников энергии, к числу которых относятся солнечный свет, ветер, вода, термальные источники, а также водород, при этом последний из перечисленных ресурсов является достаточно перспективным для различных отраслей экономики.

## **Анализ и основные результаты**

Впервые о возможности использования водорода, получаемого путем электролиза воды, в качестве основного источника выработки энергии было заявлено французским изобретателем Ф. Ривазом в начале XIX в.,

при этом уже в 1852 г. был произведен первый двигатель внутреннего сгорания на водородном топливе. Использование водородных топливных элементов было позитивно отмечено в годы Великой Отечественной Войны – период острого дефицита традиционных энергоресурсов. Вместе с тем в дальнейшем за счет возможности использования более доступных и дешевых источников энергии, а также за счет высокого риска возможности возгорания развитие идеологии использования водорода в качестве основного источника энергии не нашло массовой поддержки общества.

С 2015 г. в мире снова стала актуальной тема развития водородной энергетики на международном, национальном и корпоративном уровнях. Подписание парижского соглашения подтолкнуло страны Евросоюза на поиски альтернативных бесперебойных источников энергии в сочетании с минимальным воздействием на окружающую среду и выбросами углекислого газа. Так, в рамках документа «Towards a hydrogen economy in Europe: a strategic outlook» говорится о водороде как о ключевом факторе перевода экономики к углеродному нейтралитету на горизонте 2030–2050 гг. [6]

Водородная энергетика в настоящее время является одним из самых перспективных и многообещающих направлений развития технологического сектора, привлекающих к себе внимание крупных компаний и международных организаций по всему миру, о чем также свидетельствует рост инвестиций в данный сектор.

Водород, как источник энергии, имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- оказывает минимальное воздействие на окружающую среду (за счет отсутствия выбросов углекислого газа);
- неограниченные ресурсы для производства водорода;
- источник для декарбонизации таких секторов экономики как металлургия, коммунальное хозяйство, нефтепереработка, химическое производство;
- может транспортироваться в различных агрегатных состояниях (в жидком и газообразном);
- благодаря высокой удельной плотности возможна реализация крупномасштабного аккумулирования энергии;
- может применять в виде топлива для разных видов транспорта (все виды наземного, воздушного, морского транспорта, в космической и военной тематике, беспилотных летательных аппаратах) [4].

Для успешного широкомасштабного внедрения водородных технологий требуется комплексный подход к организации деятельности, составными частями которого являются:

- существенная трансформация существующих моделей распределения и потребления энергии;
- развитие технологий и инфраструктуры производства, логистики и потребления водорода, механизмов кооперации основных игроков;
- меры государственной поддержки, создание социальных благ и регуляторного режима по обеспечению безопасности водородной энергетики, особенно – в сочетании с использованием возобновляемых источников энергии (энергии ветра, солнца, биомассы, геотермальной и т. д.), а также традиционных (газовой, нефтяной, угольной и атомной генерации).

Сценарии развития указанных направлений в значительной мере определяют облик водорода в мировой энергетике будущего.

Немаловажную роль для новых игроков зарождающегося водородного рынка сыграет правильно сформированная стратегия входа, что особенно важно для компаний и ввиду того, что ни одна международная технологическая компания не задействована одновременно во всех переделах жизненного цикла водорода. В этой связи крайне важно определить сильные и слабые стороны, а также заделы для развития и формирования необходимых партнерств и коопераций, что позволит обеспечить успешную интеграцию в международную цепочку поставок.

Также стоит отметить, что в развитии водородного сектора играют важную роль регуляторные рамки, задающие требования к развитию и модернизации технологий, формированию бизнес-моделей и являющиеся одним из инструментов развития этого направления бизнеса. В силу того, что данное направление в Российской Федерации только формируется, необходимо обратить внимание на те ограничения и пробелы, в том числе в законодательной и регуляторной базе, которые могут служить как факторами успеха, так и факторами, затормаживающими быстрое развитие водородной энергетики как нового высокорискованного бизнеса в различных направлениях стратегических альянсов [3; 4].

При изучении лучших практик международного опыта в области формирования водородной энергетики стоит рассмотреть, в первую очередь, страны, которые продвинулись в этом вопросе дальше всех, а именно Японию, США, Южную Корею, Австралию и страны Европейского союза, (далее – ЕС).

В Японии водородная тематика стала достаточно серьезно восприниматься на государственном уровне как один из источников возобновляемой энергии в начале 1990-х гг. В это время все страны мира концентрировали внимание на мировом изменении климата, были подняты вопросы по необходимости структурных изменений в энергетическом секторе, поиске альтернатив для традиционных источников и поддержке «чистых» проектов в энергетике. Следующим большим этапом стал выход документа по энергетическому плану развития страны в 2014 г. – 4th Strategic Energy Plan for 2030. В нем зафиксированы первые важные шаги к формированию низкоуглеродной экономики (расширение использования возобновляемых источников энергии, в том числе и производство водорода в промышленных масштабах). В том же году такой крупный национальный автопроизводитель, как Toyota, выпускает первую модель автомобиля на водородных топливных элементах – Mirai. Не менее важным событием для страны стал выпуск дорожной карты развития и использования водорода. В ней была описана текущая ситуация по энергетическому сектору, накопившиеся проблемы и условия для проведения всеобщей декарбонизации различных секторов экономики. Большое внимание указывается воспитанию населения, повышению их общего уровня зрелости по вопросу использования водорода, развитие человеческих ресурсов, высококвалифицированных кадров для зарождающейся отрасли. Впоследствии этот документ был утвержден на уровне всей страны, что придало ему особую важность [2; 9].

Итогом всех этих мероприятий стал многократный экспоненциальный рост активностей в области развития водородной энергетики в стране. Государство стало выделять финансовые средства под конкретные проекты, были открыты больше 100 заправочных станций, по столице страны – Токио – стали регулярно курсировать водоробусы, национальные институты разработали проекты плавучих средств передвижения с применением водородных технологий, а в отдельных префектурах рассматривались перспективные площадки для строительства заводов по производству водорода. Примером всеобщей демонстрации по развитию водородных технологий в Японии будут перенесенные в 2021 г. Летние Олимпийские игры 2020, где уже в настоящее время создана система водородной инфраструктуры для обеспечения функционирования токийской олимпийской деревни [8; 9].

В настоящее время в ЕС ведутся активные работы по развитию водородной тематики. Крупное событие произошло летом 2020 г., когда вышла окончательная версия водородной стратегии европейского региона до 2050 г. В нем акцентируется важность развития водорода наравне с другими возобновляемыми источниками энергии в будущей энергетической системе ЕС для достижения целей по снижению выбросов парниковых газов на 50 % к 2030 г. от текущего уровня. Переход на полномасштабное использование водорода предполагается осуществить в 3 больших этапа, достижение целей каждого из них будет направлено на формирование всего сектора водородной экономики ЕС. Также в документе описаны приоритетные источники получения водорода (из энергии ветра и солнца), а также конкретные цифры по его производству на промежутке до 2024 г. (не менее 6 ГВт). Немалая роль в стратегии отводится электролизерам, как основным источникам производства «зеленого» водорода, и необходимости увеличения их мощности (не менее чем до 100 МВт). Одновременно отдельные страны союза выпускают свои национальные стратегии по водородной тематике, которые дополняют документы ЕС в части конкретных активностей (региональные проекты, законодательная поддержка, развитие профессиональных кадров, поддержка в развитие инфраструктуры) [6].

В Австралии также существуют примеры инициатив и конкретных проектов по водороду. На правительственном уровне идет поддержка в части развития чистой, инновационной и безопасной водородной энергетики, обеспечена реализация на регуляторном уровне изменений в нормативно-правовой составляющей и законов австралийского союза, в том числе и для привлечения дополнительных частных инвестиций в этот сектор и нового порядка взаимодействия с регулируемыми органами. В целях реализации международной кооперации подписаны важные соглашения с Японией и Южной Кореей, а общие государственные инвестиции Австралии с 2015 г. в водородную энергетику составили около 146 млн долл. США [7]. Проекты по наработке водорода разработаны для каждой из территорий австралийского содружества, приоритетными будут являться возобновляемые источники и, в первую очередь, солнечная энергия, с последующим экспортом в страны азиатско-тихоокеанского региона, к примеру, через морской порт в городе Дарвин [7].

Если посмотреть на отечественный опыт в данной тематике, то стоит отметить, что крупные разработки по области применения водорода, как источника энергии, идут еще с начала 50-х гг. прошлого столетия. Резкий скачок в развитии атомной энергетики дал основы для экспериментальных исследований и разработки



первых советских проектов в водородной тематике (ядерные ракетные двигатели, использование мощностей АЭС для питания электролизеров, ТУ-155 на водороде и другие). В обозначенный период водород воспринимался как инновационный продукт с большим количеством инфраструктурных проблем и недостаточной степенью развитости технологий для экономической целесообразности его использования в качестве источника энергии, а главное отсутствовал крупномасштабный спрос на внутреннем рынке, в том числе и за счет активного развития отечественной нефтегазовой промышленности.

На сегодняшний день повестка по экологизации отдельных отраслей промышленности и соответствие целям устойчивого развития приобретает все больше внимание со стороны государственного регулирования. Россия старается, по крайней мере, не отставать от данной повестки и развивать собственные конкурентоспособные технологии. Первые крупные шаги уже были сделаны, к примеру, на уровне Правительства Российской Федерации был утвержден План мероприятий по развитию водородной энергетики до 2024 г. [5]. В данном документе рассматривается важность развития данного сектора экономики, наиболее приоритетные мероприятия по стимулированию, поддержке со стороны государства и перспективы дальнейшего развития с привлечением крупных производственных компаний. Обладая колоссальными природными ресурсами и излишними производственными мощностями, Россия может стать одним из лидеров по наработке и экспорту водорода в приграничные страны южно-азиатского и европейского регионов, что будет являться одним из мощнейших драйверов национальной экономики.

## Заключение

Таким образом, развитие идеи об использовании водорода в качестве основного источника энергии появились достаточно давно, а приближающиеся экологические проблемы современности лишь поспособствовали прогрессу в данном направлении. Водород имеет ряд несомненных преимуществ перед другими возобновляемыми источниками энергии, что делает его привлекательным в использовании в долгосрочной перспективе, а подписание парижского соглашения 195 сторонами показывает важность вопроса по снижению углеродных выбросов, соответствия целям устойчивого развития и активного применения альтернативных источников энергии в международной кооперации.

Наиболее развитые страны мира принимают меры по развитию водородной тематики, принимая важные законодательные инициативы на национальном уровне, осуществляя поддержку инновационных проектов, внедрении различных льгот и привилегий, а также развитие кадров. Эти предпосылки дали большой импульс для возобновления интереса к водородной тематике и его особому месту в мировой энергетике будущего.

## Библиографический список

1. Грачев, В. А. Истощение природных ресурсов // Факультет глобальных процессов МГУ имени М. В. Ломоносова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fgp.msu.ru/wp-content/uploads/2018/09/istoshchenie-prirodnih-resursov.pdf> (дата обращения: 15.05.2021).
2. Мастепанов, А. М., Хирофуми, А. Водородная стратегия Японии // Энергетическая политика. – 2020. – № 11 (153). – С. 62–73. [https://doi.org/10.46920/2409-5516\\_2020\\_11153\\_62](https://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_11153_62)
3. Попадьюко, Н. В., Панков, С. В., Попадьюко, А. М. Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 293–296.
4. Радченко, В. В., Мокрушин, А. С., Тюльпа, В. В. Общая энергетика: водород в энергетике: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2020. – 230 с.
5. Правительство Российской Федерации утвердило план мероприятий по развитию водородной энергетики // Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/19194> (дата обращения: 15.05.2021).
6. A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe // European Commission. – 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf) (дата обращения: 15.05.2021).
7. Australia's National Hydrogen Strategy // Australian Government. Department of Industry, Energy and Resources [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf> (дата обращения: 15.05.2021).

8. Japan's Activity on Hydrogen Energy // U.S. Department of Energy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f68/fcto-h2-at-ports-workshop-2019-ii5-ohira.pdf>/ (дата обращения: 15.05.2021).
9. The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells: Industry-academia-government action plan to realize a “Hydrogen Society” // Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312\\_002b.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312_002b.pdf) (дата обращения: 15.05.2021).

#### References

1. Grachev V. A. Depletion of natural resources, *Lomonosov Moscow State University Faculty of Global Studies*. Available at: <http://fgp.msu.ru/wp-content/uploads/2018/09/istoshchenie-prirodnih-resursov.pdf> (accessed 15.05.2021).
2. Mastepanov A. M., Khirufumi A. Japan's hydrogen strategy, *Energy Policy*, 2020, no. 11, pp. 62–73. (In Russian). [https://doi.org/10.46920/2409-5516\\_2020\\_11153\\_62](https://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_11153_62)
3. Popadko N. V., Pankov S. V., Popadko A. M. Hydrogen energy: stages of development, problems and prospects, *Innovation and Investment*, 2020, no. 1, pp. 293–296. (In Russian).
4. Radchenko V. V., Mokrushin A. S., Tyulpa V. V. *General energy: hydrogen in energy: textbook for Universities*, Moscow, Yurait, 2020, 230 p. (In Russian).
5. The Government of the Russian Federation has approved the action plan for the development of hydrogen energy, *Ministry of Energy of the Russian Federation*. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/19194> (accessed 15.05.2021).
6. A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe, *European Commission*, 2020. Available at: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf) (accessed 15.05.2021).
7. Australia's National Hydrogen Strategy, *Australian Government. Department of Industry, Energy and Resources*. Available at: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf> (accessed 15.05.2021).
8. Japan's Activity on Hydrogen Energy, *U.S. Department of Energy*. Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f68/fcto-h2-at-ports-workshop-2019-ii5-ohira.pdf>/ (accessed 15.05.2021).
9. The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells: Industry-academia-government action plan to realize a “Hydrogen Society”, *Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan*. Available at: [https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312\\_002b.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312_002b.pdf) (accessed 15.05.2021).