

ЭКОНОМИКА ECONOMICS

DOI: 10.18287/2542-0461-2022-13-1-7-16



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 332.1

Дата поступления: 24.12.2021
рецензирования: 27.01.2022
принятия: 25.02.2022

Водородная экономика – возможности и перспективы

В.В. Боброва

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация
E-mail: bobrova1971@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3558-5662>

Н.К. Борисюк

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация
E-mail: konstantinov1947@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4270-1051>

Л.В. Кирхмеер

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация
E-mail: lkirkhmeer@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1403-0599>

Аннотация: В статье рассматривается актуальность использования водорода как альтернативного вида топлива, анализируется состояние и тенденции развития «водородной экономики», в результате выявлен ряд особенностей, позволяющих оценить перспективы ее роста, что определяет и цель данного исследования. В процессе решения поставленной задачи применялись методы анализа научных литературных источников в области водородной экономики, ретроспективный анализ, научная классификация, моделирование и метод обобщения полученной информации. В статье проанализирована мировая тенденция по переходу к «зеленой» экономике. Рассмотрены виды водорода по способам его получения. Обоснованы наиболее экологичные и эффективные способы получения водорода методом паровой конверсии углеводородов и электролиза воды. Выявлены предпосылки получения «зеленого» водорода в промышленных масштабах. Показано, что Россия имеет ряд важных преимуществ в развитии водородной энергетики, в частности это огромные запасы углеводородного сырья и развитые электрогенерирующие мощности. В статье также описан сырьевой потенциал Оренбургской области для возможного производства водорода. В то же время, учитывая особенности российской экономики, перспективы развития «водородной» экономики могут формироваться под воздействием факторов технологического развития, стимулирования инвестиционной активности, а также стимулирования инвестиционной активности в этом секторе. Материалы данной статьи могут быть использованы в процессе разработки и реализации региональных программ устойчивого экономического развития, а также в учебном процессе в вузах по экономическим специальностям.

Ключевые слова: водород; водородная экономика; «зеленая» экономика; «зеленая» энергетика.

Цитирование. Боброва В.В., Борисюк Н.К., Кирхмеер Л.В. Водородная экономика – возможности и перспективы // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2022. Т. 13, № 1. С. 7–16. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2022-13-1-7-16>.

Информация о конфликте интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Боброва В.В., Борисюк Н.К., Кирхмеер Л.В., 2022

Виктория Викторовна Боброва – доктор экономических наук, профессор кафедры таможенного дела, Оренбургский государственный университет, 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13.

Николай Константинович Борисюк – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента, Оренбургский государственный университет, 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13.

Людмила Владимировна Кирхмеер – старший преподаватель кафедры менеджмента, Оренбургский гос-ударственный университет, 460018, Российская Федерация, г. Оренбург, пр. Победы, 13.

SCIENTIFIC ARTICLE

Submitted: 24.12.2021

Revised: 27.01.2022

Accepted: 25.02.2022

Hydrogen economy – opportunities and prospects

V.V. Bobrova

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

E-mail: bobrova1971@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3558-5662>

N.K. Borisyyuk

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

E-mail: konstantinov1947@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4270-1051>

L.V. Kirkhmeer

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

E-mail: lkirkhmeer@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1403-0599>

Abstract: The article examines the relevance of the use of hydrogen as an alternative fuel, analyzes the state and trends in the development of the «hydrogen economy», during which a number of features are identified that allow assessing the prospects for its growth. In the process of solving the task, methods of analyzing scientific literature sources in the field of hydrogen economics, retrospective analysis, scientific classification, modeling and a method of generalizing the information received were used. The article analyzes the global trend towards the transition to a «green» economy. The types of hydrogen according to the methods of its production are considered. The most environmentally friendly and effective methods of obtaining hydrogen by steam conversion of hydrocarbons and electrolysis of water are substantiated. The prerequisites for obtaining «green» hydrogen on an industrial scale are revealed. It is shown that Russia has a number of important advantages in the development of hydrogen energy, in particular, these are huge reserves of hydrocarbon raw materials and developed electric generating capacities. The article also describes the raw material potential of the Orenburg region for the possible production of hydrogen. At the same time, taking into account the peculiarities of the Russian economy, the prospects for the development of a «hydrogen» economy can be formed under the influence of factors of technological development and long-term demand, as well as stimulating investment activity in this sector. The materials of this article can be used in the process of developing and implementing regional programs for sustainable economic development, as well as in the educational process at universities in economic specialties.

Key words: hydrogen; hydrogen economy; «green» economy; «green» energy.

Citation. Bobrova V.V., Borisyyuk N.K., Kirkhmeer L.V. Hydrogen economy – opportunities and prospects. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2022, vol. 13, no. 1, pp. 7–16. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2022-13-1-7-16>. (In Russ.)

Information on the conflict of interest: authors declare no conflict of interest.

© **Bobrova V.V., Borisyyuk N.K., Kirkhmeer L.V., 2022**

Victoria V. Bobrova – Doctor of Economics, professor of the Department of Customs, Orenburg State University, 13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation.

Nikolay K. Borisyyuk – Doctor of Economics, Professor of the Department of Management, Orenburg State University, 13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation.

Lyudmila V. Kirkhmeer – senior lecturer of the Department of Management, Orenburg State University, Orenburg State University, 13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation.

Введение

В последнее время все чаще на разных уровнях мирового сообщества звучат призывы к развитию «зеленой энергетики» и, в частности, производству водорода, который благодаря своим неисчислимым запасам, способен удовлетворить потребности человечества в будущем. Идея применения водорода в качестве энергоресурса крайне привлекательна, так как его можно использовать как полностью сгорающее топливо для производства электроэнергии, в топливных ячейках автомобилей, отопления домов. Побочными продуктами сгорания водорода является вода, а не CO₂ и другие экологически вредные соединения, выделяемые при сгорании традиционного автомобильного топлива.

Следовательно, целью исследования является рассмотрение актуальных проблем развития водородной экономики, на основе анализа научных трудов отечественных и зарубежных ученых, определе-

ние направления задач развития водородной энергетики в России, для обеспечения потребностей внутреннего рынка и экспортных поставок. Исходя из вышеизложенного многие промышленно-экономически развитые страны уделяют серьезное внимание исследованиям по развитию водородной экономики. Так, в 2003 г. президентом США Дж. Бушем было выделено 1,3 млрд долл. на разработку автомобилей с водородным двигателем. Евросоюз предоставил 2,3 млрд евро на создание водородных элементов для автотранспорта. В 2005 г. правительство Японии предусмотрело на разработку водородных элементов 559 млн долл. США [1]. Подобные действия предпринимают правительства Канады, Китая и других промышленно развитых стран. Однако, несмотря на проводимые работы, на пути исследования и внедрения водородной экономики еще много проблем, которые мы рассмотрим далее.

В РФ многие вопросы развития водородной энергетики решаются на правительственном уровне. В частности, в конце 2020 года была разработана дорожная карта по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года, направленная на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также вхождение страны в число мировых лидеров по его производству и экспорту. Вопросы развития водородной энергетики также включены в актуализированную Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 года. Все вышеприведенные правительственные меры направлены на стимулирование инвестиционной активности в регионе.

На сегодня практически водород используется в отраслях химической и нефтехимической промышленности в основном как сырье крупнотоннажного производства, а также в металлургии, электронике и фармацевтике. Но водород пока редко еще используется как топливо, за исключением топлива в космических челноках. Договоры о снижении выбросов углекислого газа, а также исчерпаемость обычных видов топлива обуславливают перспективы внедрения водородного топлива практически во все сферы жизни, где требуется топливо.

Таким образом, можно сделать вывод, что водород становится привлекательным для инвесторов, так как он не просто отвечает современным экологическим требованиям, а является источником энергии с нулевой эмиссией. По оценкам «Hydrogen council», в мировой рынок водорода может составить порядка 2,5 трлн долларов к 2050 году. В натуральном выражении в мировом энергобалансе доля водорода может составить 18 %, что позволит, сократить выбросы CO₂ на 6 гигатонн в год. При этом в транспортном секторе к 2050 году доля водородных автомобилей составит 15–20 %, для достижения этих показателей потребуются вложения ежегодно 20–25 млрд долларов инвестиций до 2030 года. В настоящее время 96 % водорода получают из ископаемого топлива, причем, половина этого объема приходится на парофазный риформинг метана (CH₄). Более затратным процессом – электролизом воды (H₂O) получают всего 4 % водорода. При этом процесс электролиза очень перспективен, так как ресурсы воды практически неограничены, а для расщепления воды можно использовать атомную энергию или другие альтернативные источники [2].

Далее в статье будет представлен обзор и анализ литературы по проблематике исследования, описания методологии исследования, состояния и перспектив производства водорода в России, выводы, резюмирующие результаты исследования.

Теоретико-экономические предпосылки развития водородной экономики

Вопросы развития водородной экономики, в частности, одного из ее разделов – «водородной энергетики» – рассматриваются в научных трудах многих зарубежных и отечественных ученых и специалистов. Так, А.М. Мастепанов, заведующий Аналитическим центром энергетической политики и безопасности ИПНГ РАН в статье «Водородная энергетика России: состояние и перспективы» анализирует состояние и перспективы развития водородной энергетики в России, подробно рассматривает ее главные цели, направления и задачи развития, делает вывод, что этому призваны способствовать в России большие запасы газа, угля, воды, значительный резерв генерирующих мощностей и потенциала в сфере зеленой энергетики. Примерно 1 МВт мощности позволяет производить 200 м³ водорода в час (около 150 тонн в год). Этого объема достаточно, чтобы обеспечить снабжение городского транспорта мегаполиса [2].

К.И. Якубсон – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, советник директора Института проблем нефти и газа РАН РФ, в статье «Перспективы производств и использования водорода как одно из направлений развития низкоуглеродной экономики в Российской Федерации

рассматривает перспективы производства и использования в РФ водорода, предлагается создание территориальных водородных кластеров, обладающих необходимым потенциалом для производства, хранения и экспорта водорода. Сделан вывод по перспективам производства товарного водорода в России методом гидролиза воды до 4 млн тонн в год при сегодняшних объемах готового производства в 160–190 тыс. тонн водорода [3].

В статье «Новая энергополитика ЕС: заменят ли ВИЭ и водород российский газ» А.И. Громов – главный директор по энергетическому направлению, кандидат экономических наук Института энергетике и финансов, проводит анализ последних изменений европейской энергетической политики, связанных с применением на практике европейского «Зеленого пакта». Рассматриваются риски и возможности российско-европейского энергетического партнерства в новой энергетической реальности. В частности, высказывается предположение о возможном устойчивом сокращении газа в ЕС и в этой связи поиск новых взаимовыгодных путей сотрудничества [4; 5].

В условиях набирающего силу тренда на декарбонизацию мировой экономики получает развитие практическое использование водорода в связи с отсутствием выбросов диоксида углерода в атмосферу. Авторы статьи «Роль российского природного газа в развитии водородной энергетики» (О. Аксютин, А. Ишков, К. Романов, Р. Тетеревлев) рассматривают преимущества развития водородной энергетики на основе природного газа. В настоящее время вклад природного газа в мировое производство водорода оценивается в 205 млрд кубометров в год. Делается прогноз, что к 2050 г. доля водорода в глобальном энергобалансе может составить от 3 до 24 % в различных сценариях декарбонизации мировой экономики [6].

В качестве примера регионального развития водородной энергетики можно привести работу в этом направлении Мурманской области. А.А. Челтыбашева и Я.М. Караченцева в статье «Возможности развития водородной энергетики в Мурманской области» проанализировали возможность реализации проектов по отработке технологии получения «зеленого» водорода для промышленного использования, перечислены возможные источники для его производства. В статье приведен пример реализации проекта по созданию на территории Мурманской области международной научной исследовательской станции по разработке водородных топливных элементов [7].

Аналогичные исследования проводятся иностранными учеными: Arat H.T., Baltacioglu M.K., Gernscheidt R., Moreira D., Newborough M., Cooley, G., Sharma Dr., Kumar S., Dawood F. [8–12] Перспективность водородной энергетики обусловила появления большого числа исследований, которые посвящены вопросам технологии производства водорода, возможностей их развития, чистоте получаемого водорода и классификации водорода в зависимости от вышеперечисленного.

В исследованиях Arat H.T., Baltacioglu M.K. [8] обосновывается необходимость разработки дорожной карты развития водородной энергетики на уровне страны. Авторы основываются на использовании возможностей Черного моря для производства водорода в Турции, что также представляет интерес и для регионов РФ, имеющих выход на побережье Черного моря.

Возможности производства водорода на основе природного газа, а также негативные и позитивные стороны такого производства, рассматриваются в исследовании Howarth R.W., Jacobson M.Z. [13]. Для РФ, как крупного экспортера природного газа, его использование в производстве водорода является достаточно привлекательным, однако, как отмечается в исследовании, ожидаемого существенного сокращения выбросов от применения водорода, полученного на основе природного газа, вместо газа не ожидается.

Также следует указать научные работы в данной области авторов настоящей статьи Бобровой В.В. Борисюка Н.К. и Кирхмeyer Л.В., исследовавших вопросы мирового производства энергии и топлива, влияние энергетики на развитие отраслей экономики [14–18].

В процессе написания статьи использовались такие методы исследования как анализ и обобщение научных литературных источников, ретроспективный анализ, научная классификация, моделирование и метод обобщения полученной информации.

Обобщая научные исследования по трактовке «водородной» экономики установлена необходимость решения сложной задачи обеспечения баланса производства и потребления «зеленого» водорода с учетом потребности экономики и экспортных поставок, а также возможных источников получения водорода на основе разработки новых технологий. По оценке исполнительного директора Международного энергетического агентства Фатих Бирол: «в мире нет ни одной технологии, кроме технологии получения водорода, которая пользовалась бы такой всеобщей поддержкой всех правительств» [19].

Свойства и производственные проблемы использования водорода

Водород – самый легкий элемент периодической системы элементов. Его образование связано с остыванием Вселенной после Большого взрыва и сейчас составляет 90 % всех атомов, находящихся в космосе, и 10 % составляет гелий. Водород – топливо звезд, так как каждую секунду на Солнце 600 млн т водорода путем термоядерного синтеза превращаются в гелий и при этом выделяется огромное количество энергии, света и тепла. Водород – также один из широко распространенных элементов на Земле [20].

Физико-химические свойства водорода представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства водорода
Table 1 – Physical and chemical properties of hydrogen

Химическая формула	H ₂
Внешний вид	Бесцветный газ, без запаха
Температура кипения	252,9 °С
Плотность в жидком состоянии при -253 °С	70,8 кг/м ³
Энергоемкость	28670 ккал/кг
Температура самовоспламенения	520 °С
Пределы воспламеняемости на воздухе	4–74 %
Пределы взрываемости на воздухе	15–59 %

В природе водород всегда находится в соединении с другими элементами. Два атома водорода присоединенные к одному атому кислорода составляют воду, которая покрывает 70 % поверхности Земли. Водород входит также в состав углеводов и находится в каждом живом организме.

Водород, как самостоятельный химический элемент, впервые был открыт в 1766 г. английским ученым Генри Кавендишем, который назвал газ «Горючим воздухом». Водородом (hydrogen) данный газ назвал французский химик Антуан Лаувазье [21].

Первое практическое применение водорода начали в армии, где им наполняли воздушные шары, используемые в разведочных целях. Возможность получать газообразный водород и кислород электролизом воды установили в начале XIX века английские ученые Уильям Николсон и Антони Карлайл [22]. Примерно в то же время водород в смеси с оксидом углерода, полученный при сухой перегонке каменного угля, под названием «светильный газ», широко применялся для отопления и освещения домов, предприятий, а также для освещения улиц.

В то же время с развитием электроэнергетики, ростом добычи нефти и газа, водород потерял свое значение в качестве топлива, но продолжает занимать умы человечества как альтернативное топливо в энергетике. В 1920–х годах канадская компания Electrolyser Corporation Ltd освоила способ получения водорода электролизом воды в промышленных масштабах. Полученный водород использовался не как топливо, а для резания стали и синтеза удобрений.

Наряду с этим немецкие инженеры предприняли попытки использовать водород как топливо для автомобилей, оснащенных двигателями внутреннего сгорания. Интерес к водороду то возрастал, то падал в периоды колебаний цен на нефть и газ, в частности, в 1970, 1980 гг. стимулом к исследованию проблем использования в качестве топлива водорода послужила озабоченность проблемой загрязнения окружающей среды. Именно в это время появилось выражение «водородная экономика» и была создана Международная ассоциация водородной энергетики.

В зависимости от способа и источника получения водорода (термохимическое разложение; электролиз воды; риформинг нефти и нефтепродуктов, метана, различных природных и технических газов; биомассы и других) условно разделяют водород на «зеленый», «серый», «голубой», «бирюзовый», «желтый» и «биоводород». Более подробно о цветовой классификации водорода можно найти в Newborough, M. & Cooley, Graham и Germscheidt, Rafael & Moreira, Daniel [23].

Выделим положительные и отрицательные факторы в перспективе использования водорода в качестве топлива энергетики будущего. Положительные факторы:

- неистощимые запасы водорода в природе (на Земле и в Космосе);
- высокая энергетическая ценность водорода (теплота сгорания 120 МДж/кг против 56 у метанола);
- экологически безопасен (побочным продуктом сгорания водорода является вода);
- наиболее перспективным способом получения водорода является электролиз воды (ресурсы воды практически неисчерпаемы).

Отрицательные факторы:

- высокая реакционная способность водорода (легко связывается с другими элементами);
- в природе водород почти всегда находится в соединении с другими элементами (например, вода (H₂O) покрывает 70 % поверхности Земли);
- водород не является источников энергии, а служит лишь ее носителем;
- легкость водорода затрудняет его хранение, транспортировку и использование в газообразном виде;
- молекула H₂ может диффундировать через большинство металлов (сделать, например, сталь хрупкой);
- водород конденсируется в жидкость при очень низкой температуре (-253 °С), которая на 20 °С выше температуры абсолютного нуля;
- на сегодня мировое производство водорода составляет всего 2 % мировой потребности первичной энергии.

В настоящее время водород используется в химической и нефтехимической промышленности в основном как сырье крупнотоннажного производства, в частности, для получения аммиака, очищенных нефтепродуктов и других химических соединений.

Наряду с уже перечисленными проблемами производства и использования водорода серьезным остается вопрос его хранения водорода. Причем, хранение должно быть достаточно дешевым, простым в обращении и безопасным для потребителя. Таким образом, прежде чем использовать водород, его вначале нужно сжать, подвергнуть сжижению или адсорбировать на каком-то твердом носителе.

Все перечисленные способы хранения водорода технологически очень сложны и финансово дороги. Так, при физических способах хранения в виде сжиженного или сжатого газа используются изолированные контейнеры или контейнеры высокого давления. При химических методах используются металлы или другие материалы, которые поглощают водород.

Перспективы развития водородной экономики

На современном этапе развития экономики, предполагающей выработку энергии за счет целого ряда таких возобновляемых источников, как гидроэнергетика, геотермальная энергетика, ветроэнергетика, солнечная энергия, биоэнергетика, водородная энергетика, атомная энергия и другие. При этом наиболее разработанным процессом получения водорода является электролиз воды. В то же время электролиз обходится в три-четыре раза дороже, чем производство водорода из природного газа. Однако, с учетом экологической составляющей электролиз представляет собой самый чистый метод получения водорода, в особенности, если будет использоваться дешевая электроэнергия, производимая из возобновляемых источников, или атомная энергия.

Промышленный электролиз представляет собой достаточно разработанную технологию получения водорода, которая используется более ста лет в основном в регионах, где есть дешевая электроэнергия. Так, в Канаде и Норвегии КПД обычного промышленного электролиза составляют около 70–80 %, которые можно повысить за счет нагревания воды до более высоких температур.

Если анализировать другие возможные способы получения водорода, как энергия ветра, солнечная энергия, водород из биомассы, получение водорода с использованием атомной энергии и другие, то в настоящее время 50 % всего производимого в мире водорода получают методом парофазного риформинга, где природный газ, взаимодействуя с паром в реакторе в присутствии катализатора при высоких температурах и давлениях. Но использование ископаемого топлива для получения водорода, по нашему мнению, может быть лишь временным решением проблемы, так как запасы нефти, газа и угля будут в перспективе исчерпаны. Исходя из этого необходимо искать более надежные методы получения водорода, среди которых следует выделить получение водорода электролизом воды.

Россия имеет богатый опыт в области разработки и освоения водородных энергетических технологий. Еще в 30-е годы в МВТУ им. Н.Э. Баумана проводили исследования по добавлению водорода к бензину для автомобильных двигателей.

В 1970-е годы проводили исследования в рамках государственной программы «Водородная энергетика». В последней четверти XX века в России был создан уникальный научно-технический задел – ракетно-космический комплекс «Энергия-Буран», самолет ТУ-155 и другие. В ноябре 2019 года состоялись испытания в Санкт-Петербурге водородного трамвая, а в мае 2020 года – в Московской области появилась первая водородная заправка. Общее производство водорода в России составляет около 5 млн т в год [24].

По оценке Минэнерго, Россия обладает большими конкурентными преимуществами по развитию водородной энергетики: наличием больших запасов газа, угля и воды, значительный резерв генерирующих мощностей и огромный потенциал в сфере зеленой энергетики, что позволяет развивать производство водорода самыми различными методами. Потенциал производства водорода только за счет генерирующих мощностей оценивается в 3,5 млн т. Значительным потенциалом по производству водорода способом паровой конверсии метана и электролизом воды располагает Оренбургская область, о чем свидетельствуют запасы и объемы добычи углеводородного сырья, приведенные в таблице 2, что является стимулятором инвестиционной деятельности.

Таблица 2 – Производство топливно-энергетических ресурсов в РФ и Оренбургской области
Table 2 – Production of fuel and energy resources in the Russian Federation and the Orenburg region

Показатели	Годы					
	2010		2018		2020	
	РФ	Оренбургская область	РФ	Оренбургская область	РФ	Оренбургская область
Газ природный, млн м ³	650 311	21 073	728 000	16 190	692 900	16 000
Нефть, газовый конденсат, тыс. т	504 900	22 292	555 840	20 764	518 800	20 754
Производство электроэнергии, кВт/ч	1037 млрд	17 998	1109,2 млрд	11 727	1063,7 млрд	11 362

Таким образом, Оренбургская область по потенциалу полезных ископаемых, которые могут быть использованы для производства водорода, имеет вполне ощутимые перспективы для размещения производства водорода.

Вполне очевидно, что о стоимости водорода в больших масштабах говорить пока некорректно, но оценки подобные существуют. Так, эксперты Центра экономического прогнозирования Газпромбанка в 2019 году сделали оценки стоимости производства водорода из природного газа – Россия 1,31 долл./кг, США – 1,52, Европа – 2,32, Китай – 2,38 [25].

Важной региональной задачей реализации плана мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» является завершение разработки концепции развития водородной энергетики в России.

Заключение

Результаты проведенного исследования дают основание полагать, что в последние годы одной из приоритетных задач развития региональной экономики является переход к водородной энергетике. В России признание важности этой проблемы на государственном уровне произошло лишь только в 2020 году. Правительством РФ был принят ряд документов, в которых были сформулированы задачи и сроки развития водородных технологий в стране. Прогнозируемый рост производства водорода с 5 млн тонн в год в настоящее время до 7,8–8,8 млн тонн в 2030–2035 гг. предположительно будет базироваться на ископаемом сырье – метод паровой конверсии метана.

Установлено, что Россия и Оренбургская область обладают необходимым природным и научно-технологическим потенциалом для существенного увеличения производства водорода, необходимого для развития новых водородных технологий и экспортных поставок.

В целях решения проблемы транспортировки и хранения водорода предлагается использовать существующие подземные хранилища газа (ПХГ), что позволит сократить затраты на создание соответствующей инфраструктуры.

За счет использования метан-водородных смесей в качестве газомоторного топлива на автотранспорте можно снизить и выбросы углекислого газа, составляющие почти 70 % суммарных выбросов.

По нашей оценке, целесообразно включение в программы дополнительного высшего и среднего образования предметов химии и биологии с целью подготовки кадров для отрасли водородной экономики. Представляется, что перспективным направлением дальнейшей работы должно стать исследование инструментов стимулирования разработки и внедрения новых технологических подходов к производству и использованию водорода, стимулирования инвестиционной активности производителей.

Материалы данной статьи могут быть использованы при разработке и реализации программ устойчивого развития, в учебном процессе вузов по экономическим специальностям.

Библиографический список

1. Ола Дж., Гепперт А., Пракаш С. Метанол и энергетика будущего. Когда закончатся нефть и газ. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 418 с. URL: <http://cdn1.ozone.ru/s3/multimedia-v/6013622251.pdf>; <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=19577292>.
2. Плетнев М.А., Копысов А.Н. Социально-экономические проблемы развития водородной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 2. С. 36–45. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-2-36-45>.
3. Якубсон К.И. Перспективы производства и использования водорода как одно из направлений развития низкоуглеродной экономики в Российской Федерации (обзор) // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93, № 12. С. 1675–1695. DOI: <http://doi.org/10.31857/S0044461820120014>.
4. Петренко Л.Д. Развитие «водородной» экономики: предпосылки и перспективы // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 8–4 (110). С. 127–130. DOI: <http://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.139>.
5. Громов А.И. Новая энергополитика ЕС: заменят ли ВИЭ и водород российский газ? // Энергетическая политика. 2020. № 9 (151). С. 16–33. URL: <http://energypolicy.ru/a-gromov-novaya-energopolitika-es-zame/energoperehod/2020/16/09>.
6. Аксютин О., Ишков А., Романов К., Тетеревлев Р. Роль российского природного газа в развитии водородной энергетики // Энергетическая политика. 2021. № 3 (157). С. 6–19. URL: <http://energypolicy.ru/o-aksyutin-a-ishkov-k-romanov-r-teterevlev-rol-rossijskogo-prirodnogo-gaza-v-razvitii-vodorodnoj-energetiki/gaz/2021/12/25>.
7. Челтыбашев А.А., Караченцева Я.М. Возможности развития водородной энергетики в мурманской области // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 2. С. 93–103. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-2-93-103>.
8. Arat H.T., Baltacioglu M.K., Tanç B., Sürer M.G., Dincer I. A perspective on hydrogen energy research, development and innovation activities in Turkey // Int J Energy Res. 2020. Vol. 44. P. 588–593. DOI: <http://doi.org/10.1002/er.5031>.
9. Germscheidt, Rafael & Moreira, Daniel & Yoshimura, Rafael & Gasbarro, Nathália & Datti, Evandro & Dos Santos, Pâmyla & Bonacin, Juliano // Hydrogen Environmental Benefits Depend on the Way of Production: An Overview of the Main Processes Production and Challenges by 2050. Advanced Energy and Sustainability Research. 2021. Vol. 2. DOI: <http://doi.org/10.1002/aesr.202100093>.
10. Newborough M. & Cooley, Graham. Developments in the global hydrogen market: The spectrum of hydrogen colours // Fuel Cells Bulletin. 2020. P. 16–22. DOI: [http://doi.org/10.1016/S1464-2859\(20\)30546-0](http://doi.org/10.1016/S1464-2859(20)30546-0).
11. Sharma Dr., Kumar Smita, Kumar Vivek, Parveen Khalida, Saini Neha, Bansal Deepak, Pugazhendhi Arivalagan. Green technology for sustainable biohydrogen production (Waste to energy): A Review // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 738. P. 138481. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138481>.
12. Dawood Furat. Hydrogen production for energy: An overview // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. Vol. 45. P. 3847–3869. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>.
13. Howarth R.W., Jacobson M.Z. How green is blue hydrogen? // Energy Sci Eng. 2021. Vol. 9. P. 1676–1687. DOI: <http://doi.org/10.1002/ese3.956>.
14. Борисюк Н.К., Кирхмеер Л.В. Пандемия коронавируса и энергетический фактор // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11, № 12. С. 1–13. DOI: <http://doi.org/10.18334/epp.11.12.113861>.
15. Боброва В.В., Кирхмеер Л.В. Система показателей эколого-социального развития добывающего региона // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2018. № 5. С. 10–14. URL: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=35377042>.
16. Борисюк Н.К. Нефть и экономика: монография / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т». Москва: Экономика, 2009. 338 с.
17. Борисюк Н.К. Перспективы развития мирового производства энергии и топлива // Стратегия Казахстан 2050 и проблемы конкурентоспособности национальных экономик стран СНГ: материалы VI Межд. науч. конференции. Актыбинск: РИО АГУ, 2014, С. 270–271.

18. Борисюк Н.К., Трофимов И.В., Лихачев Д.В. Влияние энергетики на развитие отраслей экономики // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2016. № 5. С. 13–17. URL: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=27516019>.
19. Олли М.И., Баскаков Д.Г. Применение водородных технологий для развития энергетики // Морской вестник. 2019. № 2 (70). С. 50–53. URL: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=38215012>.
20. Воробьев И.С., Воротников А.М. Перспективы развития и приоритизации водородной энергетики в России и в мире // Журнал естественнонаучных исследований. 2020. Т. 5, № 2. С. 64–72. URL: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=42958261>.
21. Доленко Г.Н. Перспективы водородной энергетики // Проблемы современной науки и образования. 2020. № 4–1 (149). С. 21–23. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=42997782>.
22. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергетическая политика. 2020. № 12 (154). С. 54–65. DOI: http://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_12154_54.
23. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 6. С. 79–91. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-79-91>.
24. План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf>.
25. Белобородов С.С., Ненашев А.В., Гашо Е.Г. Переход ЕС к водородной энергетике: потребность в ресурсах // Промышленная энергетика. 2021. № 6. С. 36–47. URL: <http://doi.org/10.34831/EP.2021.80.32.005>.

References

1. Ola G., Geppert A., Prakash S. Methanol and energy of the future. When oil and gas run out. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014, 418 p. Available at: <http://cdn1.ozone.ru/s3/multimedia-v/6013622251.pdf>; <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=19577292>. (In Russ.)
2. Pletnev M.A., Kopysov A.N. Socio-economic problems of hydrogen energy development. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2021, vol. 23, no. 2, pp. 36–45. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-2-36-45>. (In Russ.)
3. Yakubson K.I. Prospects for production and use of hydrogen as one of directions of the development of low-carbon economy in the Russian Federation. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2020, vol. 93, no. 12, pp. 1775–1795. DOI: <http://doi.org/10.1134/S1070427220120010>. (English; Russian original).
4. Petrenko L.D. On the development of the hydrogen economy: background and prospects. *International Research Journal*, 2021, no. 8-4 (110), pp. 127–130. Available at: <http://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.139>. (In Russ.)
5. Gromov A.I. New EU Energy Policy: Will RES and Hydrogen Replace Russian Gas?. *Energy Policy*, 2020, no. 9 (151), pp. 16–33. Available at: <http://energypolicy.ru/a-gromov-novaya-energopolitika-es-zame/energoperehod/2020/16/09/>. (In Russ.)
6. Aksyutin O., Ishkov A., Romanov K., Teterevlev R. The role of Russian natural gas in the development of hydrogen energy. *Energy Policy*, 2021, no. 3 (157), pp. 6–19. Available at: <http://energypolicy.ru/o-aksyutin-a-ishkov-k-romanov-r-teterevlev-rol-rossijskogo-prirodnogo-gaza-v-razviti-vodorodnoj-energetiki/gaz/2021/12/25/>. (In Russ.)
7. Cheltybashev A.A., Karachentseva I.A.M. Opportunities for the development of hydrogen energy in the Murmansk region. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2021, vol. 23, no. 2, pp. 93–103. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-2-93-103>. (In Russ.)
8. Arat H.T., Baltacioglu M.K., Tanç B., Sürer M.G., Dincer I. A perspective on hydrogen energy research, development and innovation activities in Turkey. *International Journal on Energy Research*, 2020, vol. 44, issue 2, pp. 588–593. DOI: <http://doi.org/10.1002/er.5031>.
9. Germscheidt Rafael, Moreira Daniel, Yoshimura Rafael, Gasbarro Nathália, Datti Evandro, Dos Santos Pãmyla, Bonacin Juliano. Hydrogen Environmental Benefits Depend on the Way of Production: An Overview of the Main Processes Production and Challenges by 2050. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2021, vol. 2, no. 10. DOI: <http://doi.org/10.1002/aesr.202100093>.

10. Newborough M., Graham Cooley. Developments in the global hydrogen market: The spectrum of hydrogen colours. *Fuel Cells Bulletin*, 2020, vol. 11, pp. 16–22. DOI: [http://doi.org/10.1016/S1464-2859\(20\)30546-0](http://doi.org/10.1016/S1464-2859(20)30546-0).
11. Sharma Dr, Kumar Smita, Kumar Vivek, Parveen Khalida, Saini Neha, Bansal Deepak, Pugazhendhi Arivalagan. Green technology for sustainable biohydrogen production (Waste to energy): A Review. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 738, p. 138481. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138481>.
12. Dawood Furat. Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, vol. 45, issue 7, pp. 3847–3869. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>.
13. Howarth R.W., Jacobson M.Z. How green is blue hydrogen? *Energy Science and Engineering*, 2021, vol. 9, issue 10, pp. 1676–1687. DOI: <http://doi.org/10.1002/ese3.956>.
14. Borisyyuk N.K., Kirkmeier L.V. The coronavirus pandemic and the energy factor. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 2021, vol. 11, no. 12, pp. 1–13. DOI: <http://doi.org/10.18334/epp.11.12.113861>. (In Russ.)
15. Bobrova V.V., Kirkmeier L.V. System of indicators of ecological and social development of the extractive region. *Intellect. Innovations. Investments*, 2018, no. 5, pp. 10–14. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=35377042>. (In Russ.)
16. Borisyyuk N.K. Oil and economics: monograph. Moscow: Ekonomika, 2009, 338 p. (In Russ.)
17. Borisyyuk N.K. Prospects for the development of world energy and fuel production. In: Materials of the VI International Scientific Conference «Strategy Kazakhstan 2050 and the problems of competitiveness of the national economies of the CIS countries». Aktyubinsk: RIO AGU, 2014, pp. 270–271. (In Russ.)
18. Borisyyuk N.K., Trofimov I.V., Likhachev D.V. Influence of power industry on development of economic spheres. *Intellect. Innovations. Investments*, 2016, no. 5, pp. 13–17. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=27516019>. (In Russ.)
19. Olli M.I., Baskakov D.G. Application of hydrogen technologies for energy development. *Morskoy Vestnik*, 2019, no. 2 (70), pp. 50–53. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=38215012>. (In Russ.)
20. Vorob'ev I.S., Vorotnikov A.M. Prospects for the development and prioritization of hydrogen energy in Russia and in the world. *Journal of Natural Sciences Research*, 2020, vol. 5, no. 2, pp. 64–72. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=42958261>. (In Russ.)
21. Dolenko G.N. Perspectives of hydrogen energetic. *Modern problems of science and education*, 2020, no. 4–1 (149), pp. 21–23. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=42997782>. (In Russ.)
22. Mastepanov A.M. Hydrogen power engineering in Russia: state and prospects. *Energy Policy*, 2020, no. 12 (154), pp. 54–65. DOI: http://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_12154_54. (In Russ.)
23. Filimonova A.A., Chichirov A.A., Chichirova N.D., Filimonov A.G., Pechenkin A.V. Prospects for the development of hydrogen power engineering in Tatarstan. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2020, vol. 22, no. 6, pp. 79–91. DOI: <http://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-79-91>. (In Russ.)
24. Action plan «Development of hydrogen energy in the Russian Federation until 2024». Available at: <http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf>. (In Russ.)
25. Beloborodov S.S., Nenashev A.V., Gasho E.G. EU transition to hydrogen energy: need for resources. *Promyshlennaya energetika*, 2021, no. 6, pp. 36–47. DOI: <http://doi.org/10.34831/EP.2021.80.32.005>. (In Russ.)