

Современные технологии по производству и добыче водорода в качестве возобновляемого энергоресурса

Лазник Анатолий Александрович¹

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики энергетики и промышленности
ORCID: 0009-0000-3087-3978, e-mail: laznikaa@gmail.com

Фаляхова Евгения Дамировна²

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

¹Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, Россия

²Государственный университет управления, г. Москва, Россия

Аннотация

Изучена проблематика внедрения водорода в качестве возобновляемого энергетического ресурса в мировой топливно-энергетический баланс. Выделены основные политико-экономические проблемы, положительно или негативно влияющие на период внедрения водорода в качестве энергетического ресурса. Предложены способы стимулирования компаний, выбрасывающих большое количество двуокси углерода в атмосферу. Среди движущих сил отмечены следующие: выделение субсидий, инвестирование, углеродный налог и штрафные санкции. Рассмотрены новые технологии по производству водорода, которые могут способствовать снижению себестоимости водорода и, следовательно, повысить спрос на энергоресурс. Изучены инновации, внедренные Ноттингемским университетом на основе использования металлической стружки, а также австралийской электролизерной компанией Hysata на основе использования усовершенствованных электролизеров, на которые не налипают пузырьки водорода и кислорода, что способствует увеличению коэффициента полезного действия производства водорода. Отмечена российская технология производства водорода с применением газовых отходов сталеплавильного производства, которая предложена научно-исследовательским университетом «Московский энергетический институт» в 2024 г. Приведена таблица, которая наглядно показывает выгодное положение среди существующих технологий производства водорода. Выделена технология добычи водорода, предложенная американской компанией Koloma, которая подразумевает добычу водорода идентично добыче нефти и газа – с использованием скважин. Отмечена экологическая проблема, которая заключается в том, что большие запасы водорода расположены именно в разломах тектонических плит, что позволяет сделать вывод о возможном возникновении землетрясений.

Ключевые слова

Водород, водородная энергетика, производство водорода, добыча водорода, экономико-политические проблемы, металлическая стружка, электролизер, газовые отходы, стимулирование производителей, экологические проблемы

Для цитирования: Лазник А.А., Фаляхова Е.Д. Современные технологии по производству и добыче водорода в качестве возобновляемого энергоресурса // Вестник университета. 2025. № 6. С. 96–103.



Modern technologies for producing and extracting hydrogen as a renewable energy resource

Anatoly A. Laznik¹

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Energy and Industrial Economics
ORCID: 0009-0000-3087-3978, e-mail: laznikaa@gmail.com

Evgeniya D. Falyakhova²

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

¹Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

²State University of Management, Moscow, Russia

Abstract

The issue of implementing hydrogen as a renewable energy resource into the global fuel and energy balance has been studied. The main political and economic issues that positively or negatively affect the period of implementing hydrogen as an energy resource have been identified. Ways to encourage companies that emit large amounts of carbon dioxide into the atmosphere have been proposed. Among the driving forces are the following: subsidies, investment, carbon tax, and penalties. New hydrogen production technologies, which could help reduce hydrogen cost and, consequently, increase demand for this energy resource, have been considered. Innovations introduced by the University of Nottingham based on the use of metal shavings, as well as by the Australian electrolyzer company Hysata based on the use of improved electrolyzers, on which hydrogen and oxygen bubbles do not stick, which contributes to an increase in hydrogen production efficiency, have been studied. Russian technology for hydrogen production using gas waste from steelmaking, proposed by the Moscow Power Engineering Institute in 2024, has been noted. A table that clearly shows the advantageous position among existing hydrogen production technologies has been provided. The hydrogen extraction technology proposed by the American company Koloma, which involves extracting hydrogen in the same way as oil and gas by using wells has been highlighted. An environmental issue has been noted, which is that large hydrogen reserves are located precisely in tectonic plate faults, which suggests earthquakes may occur.

Keywords

Hydrogen, hydrogen energy, hydrogen production, hydrogen extraction, economic and political issues, metal shaving, electrolyser, gas waste, incentives for producers, environmental issues

For citation: Laznik A.A., Falyakhova E.D. (2025) Modern technologies for producing and extracting hydrogen as a renewable energy resource. *Vestnik universiteta*, no. 6, pp. 96–103.



ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день нетрадиционная энергетика набирает все большие обороты в части использования водорода в качестве энергоресурса. Водород может стать новой ветвью в продвижении использования новых видов энергоносителей [1]. Известно, что он является легким газом, в котором заключено немалое количество энергии [2]. Тем не менее пока что способы его производства оставляют желать лучшего по следующим причинам:

- энергозатратный процесс производства;
- капиталоемкий процесс производства;
- многие эксперты указывают на низкий коэффициент полезного действия производства водорода и объясняют это тем, что в процессе производства H_2 тратится много энергии.

Третье суждение довольно неоднозначно по причине того, что не учитываются новые технологии, которые совершенствуются с каждым годом. Многие эксперты уже ставят крест на развитии водородной энергетики, называя это «фанатизмом экологов». С другой стороны, они еще 10 лет назад в подобном ключе отзывались и о массовом развитии электрического транспорта. Однако уже сегодня мы видим, как на дорогах появляется все больше электрокаров. По мнению авторов настоящего исследования, не стоит отрицать внедрение новых технологий, поскольку такая тенденция затормозит развитие мирового топливно-энергетического комплекса, связанные с ним отрасли и прогресс в развитии технологий в целом [3]. Кроме того, высокая цена водорода снизится, когда будут внедрены дешевые технологии его производства, и только тогда начнется его массовое использование. В таком случае цена на производимый водород снизится, и, следовательно, повысится покупательская способность водорода в качестве энергетического ресурса.

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования является анализ новых технологий, способствующих скорейшему развитию водородной энергетики.

ПОЛИТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

В 2022 г. годовой выброс углекислого газа достиг своего пика – почти 37 млрд т. 100 лет назад углеродный выброс составлял 3 млрд т, что в 12,3 раз меньше, чем в 2022 г. [4]. В связи с этим появляется острая необходимость в энергетическом переходе, который заключается в переориентировании на возобновляемые источники энергии (далее – ВИЭ) [5]. Полностью отказаться от углеводородов не удастся, и они по-прежнему будут занимать свое место в топливно-энергетическом балансе, но доля нефти, газа и угля в мировом энергобалансе со временем будет сокращаться¹.

Главной проблемой на сегодняшний день является тот факт, что с использованием углеводородов обеспечивается около 82 % мировой доли производства водорода, при этом всего лишь 0,6 % применяют технологии улавливания углекислого газа, что указывает на новизну и, следовательно, дороговизну технологии. По этой причине производители не готовы тратить денежные средства. Для решения данной проблемы есть определенные системы стимулирования производителей на приобретение оборудования для использования технологии улавливания двуокиси углерода:

- выделение субсидий;
- инвестирование;
- углеродный налог;
- штрафные санкции.

Углеродный налог внедряется в странах с 2010-х гг. В Российской Федерации (далее – РФ, Россия) такой налог также постепенно вводится, и он может стать отличным стимулом для развития безуглеродной энергетики по причине того, что компании всегда стараются уменьшить сумму облагаемого налога для того, чтобы денежные средства оставались в компании для дальнейшего развития бизнеса.

Четвертый вариант необходимо использовать корректно и с осторожностью по причине того, что подобные санкции уже применяются на территории России при выбросе попутного нефтяного газа (далее – ПНГ). Штрафы при этом недостаточно высоки, и производителю зачастую проще заплатить их, чем приобретать оборудование для утилизации ПНГ. В связи с этим приходится говорить о пересмотре мероприятий по начислению штрафа таким образом, чтобы он действительно сказывался на бюджете производителя и стимулировал его на использование технологий улавливания CO_2 .

¹ Занять свою нишу. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5928520> (дата обращения: 01.12.2024).

Главными компаниями на территории России, производящими водород, в ближайшие 10–15 лет будут являться:

- государственная корпорация «Росатом»²;
- публичное акционерное общество «Газпром»³;
- публичное акционерное общество «НОВАТЭК»⁴;
- публичное акционерное общество «ЛУКОЙЛ»⁵.

Государственная корпорация «Росатом» продвигает тенденцию производства водорода прямо на атомных электрических станциях (далее – АЭС). В таком случае по классификации будет производиться «розовый» водород. «Розовый» водород производится методом йодно-серного цикла на АЭС с высокотемпературными реакторами [6]. Публичные акционерные общества (далее – ПАО) «Газпром» и «НОВАТЭК» специализируются на добыче природного газа и сжиженного природного газа, в связи с чем специализацией этих компаний является производство водорода методами пиролиза и паровой конверсии метана («бирюзовый» и «голубой» соответственно). ПАО «ЛУКОЙЛ» недавно приступил к производству водорода на территории Краснодарского края, поскольку в этом регионе существуют благоприятные условия для создания «зеленого» водорода.

Судя по ситуации, возникшей во время переговоров между президентами РФ и Китая 16–17 мая 2024 г. по строительству магистрального газопровода «Сила Сибири – 2», для ПАО «Газпром» ожидается не самая благоприятная ситуация. В.В. Путин и Си Цзиньпин не смогли договориться о цене газа, который будет закупаться Китаем. Китай просит у России снизить закупочную цену до субсидированной российской, что негативно скажется на российской экономике⁶. Также стоит отметить, что Китай собирается закупать относительно скромный объем газа, который будет составлять приблизительно 50 млрд м³ в год. Страна уже платит за российский газ гораздо меньше, чем другие. Например, на основе таможенных данных за 2019–2021 гг. цены на российский газ, покупаемый Мьянмой и Узбекистаном, составляли 10 и 5 долл. США за млн БТЕ соответственно, а цена за млн БТЕ для Китая составляет 4,4 долл. США⁷. В 2023 г. ПАО «Газпром» понес значительные убытки, ставшие максимальными за последнюю четверть века. Следовательно, ситуация для компании сильно ухудшается.

Нынешняя агрессивная санкционная политика со стороны стран коллективного Запада меняет приоритеты российской экономики, вследствие чего возможны сдвиги в части внедрения ВИЭ, в частности водорода [7].

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВЫХ ОТХОДОВ

В 2024 г. ученые научно-исследовательского университета «Московский энергетический институт» (далее – НИУ «МЭИ») разработали новый метод производства водорода, который заключается в использовании высокотемпературных конвертерных газов сталеплавильного производства. Конвертерный газ – смесь отходящих газов, получаемых при переработке чугуна в сталь в кислородно-конвертерном процессе. Состав газа представляется следующим:

- 90 % CO и 10 % CO₂;
- температура конвертерных газов колеблется от 1,4 до 1,8 тыс. °С;
- выход газа составляет 60–80 м³ на одну т стали.

Необходимо отметить, что на металлургическом предприятии с производством 10 млн т/год конвертерной стали возможно получить 92 тыс. т/год водорода при сокращении выбросов парниковых газов на 947 тыс. т/год⁸. Себестоимость получаемого водорода при этом не превысит 7 руб./м³. Для сравнения цен на водород, производимого различными методами, составим таблицу.

² РУСАТОМ. Водородные технологии Росатома: низкоуглеродные решения от производства до поставки. Режим доступа: <https://rusatom-overseas.com/ru/hydrogen-energy/> (дата обращения: 01.12.2024).

³ Газпром. Водородная энергетика. Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/sustainability/environmental-protection/hydrogen/> (дата обращения: 01.12.2024).

⁴ «НОВАТЭК» сообщил предварительные производственные показатели за третий квартал и девять месяцев 2024 года. Режим доступа: https://www.novatek.ru/ru/press/releases/index.php?id_4=6736 (дата обращения: 01.12.2024).

⁵ ЛУКОЙЛ. Возобновляемая энергетика. Режим доступа: <https://avia.lukoil.com/ru/Sustainability/Climatechange/Renewablepowergeneration> (дата обращения: 01.12.2024).

⁶ Новые требования Китая тормозят договоренности с Россией по МГП Сила Сибири-2. Похоже на правду? Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/836731-tsenovye-trebovaniya-kitaya-tormozyat-dogovorennosti-s-rossiey-po-mgp-sila-sibiri-2-pokhozhe-na-prav/> (дата обращения: 01.12.2024).

⁷ Российско-китайская сделка по строительству газопровода застопорилась из-за ценовых требований Пекина. Режим доступа: <https://www.profinance.ru/news2/2024/06/03/ccfd-rossijsko-kitajskaya-sdelka-po-stroitelstvu-gazoprovoda-zastoporilas-iz-za-tseno.html> (дата обращения: 01.12.2024).

⁸ Ученые НИУ МЭИ создали инновационный метод производства водорода из газовых отходов. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/Oborudovanie/832302-uchenye-niu-mei-sozdali-innovatsionnyy-metod-proizvodstva-vodoroda-iz-gazovykh-otkhodov/> (дата обращения: 01.12.2024).

Ценовой сравнительный анализ водорода, произведенного различными методами

Водород (в скобках указан метод производства)	Цена, руб. за кг ⁹	1 м ³ = ..., кг	Цена, руб. за м ³	Во сколько раз дороже водорода, произведенного на основе новой технологии, кол-во раз
«Зеленый» (электролиз)	532,56	0,09	47,93	6,85
«Голубой» (паровая конверсия метана)	266,28		23,97	3,42
«Бирюзовый» (пиролиз)	710,08		63,91	9,13
«Серый» (газификация угля)	177,52		15,98	2,28
Новая технология (технология НИУ «МЭИ»)	77,78		7,00	1,00

Примечание: курс доллара к рублю взят за 5 июня 2024 г. (1 долл. США = 88,76 руб.)

Составлено авторами по материалам исследования¹⁰

Технология производства водорода, предлагаемая НИУ «МЭИ», от 2,28 до 9,13 раз дешевле, чем существующие технологии, что может дать толчок отечественной технологии на основе высокотемпературных конвертерных газов сталеплавильного производства.

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПАНИИ HYSATA

Hysata – австралийская электролизерная компания, которая на сегодняшний день создает инновационную технологию по получению водорода методом электролиза. Такая технология способствует тому, что в скором времени «зеленый» водород станет более дешевым и, следовательно, будет обладать наиболее высокой покупательской способностью [8].

Усовершенствованная технология отличается от традиционного электролиза тем, что пузырьки газов водорода и кислорода не налипают на электроды, что значительно снижает энергоемкость процесса электролиза и снижает цену водорода. Как отмечают разработчики, при использовании предлагаемого ими метода на производство 1 кг водорода затрачивается всего 41,5 кВт/ч энергии¹¹.

Электролиз на сегодняшний день считается самым экологически чистым методом производства водорода при нулевом выбросе углекислого газа. Одновременно с этим он является одним из наиболее энергозатратных способов. Эксперты часто отмечают нецелесообразность производства водорода, если на процесс затрачивается слишком много энергии, и указывают на низкий уровень коэффициента полезного действия, равный приблизительно 50–75 %. Однако при вводе в эксплуатацию технологии Hysata разработчики оценивают коэффициент с использованием их технологии в 95 %, что является, на наш взгляд, отличным результатом.

ЭЛЕКТРОЛИЗ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Группа ученых из Ноттингемского университета (Великобритания) предложили усовершенствовать производство водорода методом электролиза с использованием металлической стружки – побочного продукта в металлообработке. На первый взгляд поверхность стружки кажется гладкой, но ученые, применив сканирующий электронный микроскоп, доказали, что в стружке из титанового или никелевого сплава имеются углубления и выступы размером в десятки нанометров. Такая нанотекстурированная поверхность может использоваться для изготовления катализаторов.

Команда ученых исследовала сплавы из нержавеющей стали, никеля и титана. При более детальном исследовании они заметили, что углубления (канавки) можно использовать в качестве платформы для эффективного присоединения атомов платины и кобальта. На поверхности образуется наноскопление атомов, которые ускоряют реакцию. На 1 см² стружки распыляется 28 мкг платины. В таких условиях электролизер работает со 100 % эффективностью: вырабатывается 0,0005 м³ водорода за минуту, то есть

⁹ «Серый» водород в России стоит доллар за кг, «зеленый» – в 10 раз дороже. Режим доступа: <https://globalenergyprize.org/ru/2021/07/07/seryj-vodorod-v-rossii-stoit-dollar-za-kg-zelenyj-v-10-raz-dorozhe/> (дата обращения: 01.12.2024).

¹⁰ Банк России. Официальные курсы валют на заданную дату, устанавливаемые ежедневно. Режим доступа: https://cbr.ru/currency_base/daily/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.To=05.06.2024 (дата обращения: 01.12.2024).

¹¹ Hysata. Our Technology. Режим доступа: <https://hysata.com/our-technology/> (дата обращения: 01.12.2024).

почти за 34 часа на площади поверхности металлической стружки, составляющей всего 1 см², вырабатывается 1 м³ водорода¹². Подобные результаты способствуют ускоренному развитию водородной энергетики по причине того, что производство водорода на основе металлической стружки не будет капиталоемким, следовательно, для потребителя такой водород будет более предпочтительным.

То количество платины, которое используется на сегодняшний день для коммерческих катализаторов, в 10 раз больше, чем необходимое для производства водорода методом электролиза при применении металлической стружки. Этот факт указывает на сокращение затрат при производстве «зеленого» водорода, что будет существенно сокращать цену водорода, произведенного усовершенствованным методом электролиза, как на мировом, так и на национальных энергетических рынках.

ДОБЫЧА ВОДОРОДА

Koloma – американская компания, расположенная в Денвере, специализируется на добыче водорода тем же способом, как на сегодняшний день добываются нефть и газ – бурением скважин. Такая тенденция развития водородной энергетики заинтересовала множество инвестиционных фондов, среди которых:

- Breakthrough Energy Ventures (владелец фонда – Б. Гейтс);
- Energy Impact Partners;
- Evōk Innovations;
- Prelude Ventures;
- Piva Capital¹³.

Подобный интерес инвесторов уже привел к тому, что суммарные вложения в стартап Koloma составили около 91 млн долл. США.

Компания создана в 2021 г. и до 2023 г. вела свою деятельность в условиях повышенной секретности. Однако сегодня стали известны планы создателей и соучредителей стартапа. Т. Дарра – ученый Университета штата Огайо, преподающий геологические дисциплины и имеющий 16 патентов на эффективное обнаружение и добычу чистого водорода, утверждает, что большие объемы водорода содержатся в разломах тектонических плит. Такой водород получил название «геологический». Ученые рассматривают «геологический» водород как наилучшую альтернативу ископаемому топливу, поскольку его добыча не сопровождается выбросами двуоксида углерода.

Владельцы компании и инвесторы видят в этом проекте серьезные прибыли. Однако, по мнению авторов настоящего исследования, необходимо думать о безопасности добычи водорода с применением бурения скважин. Как было отмечено ранее, Т. Дарра указал на большое скопление водорода в разломах тектонических плит. Логично, что при бурении скважины на разломе плит ситуация может привести к негативному результату: разрушение горных пород в районах тектонических разломов может вызвать землетрясения и провалы грунта. Подобная скептическая точка зрения возникла на основе ряда ситуаций.

1. 27 мая 1962 г. произошел крупный пожар в Сентрейлии, штат Пенсильвания, перекинувшийся на угольные шахты и бушующий в угольных пластах до сих пор. По оценкам специалистов, пожар будет продолжаться еще около 250 лет. По причине того, что в городе наблюдается высокая концентрация угарного газа, Сентрейлия получила статус города-призрака¹⁴.

2. «Сланцевая революция» началась в Соединенных Штатах Америки (далее – США) в 2000-е гг. и продолжалась примерно до 2012 г. С 2012 г. эксперты стали говорить о спаде экономической эффективности добычи нефти и газа из сланцевых пород. «Сланцевая революция» заключалась в добыче сланцевой нефти и сланцевого газа. Такой метод требовал применения ряда необходимых технологий, среди которых гидравлический разрыв пласта (далее – ГРП) и горизонтальное бурение.

ГРП заключается в том, что в скважину закачивается вода с химическими присадками и песком. Такая смесь предотвращает смыкание трещин в сланцевых породах, которые представляют собой глинистые структуры на большой глубине. Метод ГРП загрязняет грунтовые воды, поэтому в некоторых странах, таких как Франция, Германия, Болгария, был выпущен запрет на использование технологии.

¹² АРМК. Из грязи в князи или водород на отходах. Режим доступа: <https://armk.pro/about/news/iz-gryazi-v-knyazi-ili-vodorod-na-otxodax> (дата обращения: 01.12.2024).

¹³ Как засекреченный стартап с инвестициями от Билла Гейтса ищет топливо будущего. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/tehnologii/493146-kak-zasekrecennyj-startap-s-investiciami-ot-billa-gejtisa-iset-toplivo-budusego> (дата обращения: 01.12.2024)

¹⁴ 60 лет в огне: как подземные пожары превратили Сентрейлию в «город-призрак». Режим доступа: <https://www.forbes.ru/society/493211-60-let-v-ogne-kak-podzemnye-pozaryi-prevratili-sentrejliu-v-gorod-prizrak> (дата обращения: 01.12.2024).

В 2019 г. Великобритания также отказалась от ее использования при добыче нефти и газа, но из-за введения в отношении России санкционных ограничений на экспорт нефти и газа в страны Европейского союза (далее – ЕС) она решила подстраховаться и сняла запрет.

Технология добычи сланцевого газа и сланцевой нефти, которая оказалась довольно эффективной на территории США, может дать обратный эффект на территории ЕС, ведь на разных континентах горно-геологические и физико-технические характеристики пород сильно различаются, поэтому утверждать со 100 % вероятностью об эффективности технологии ГРП на территории других стран сложно. С 2012 г. эксперты стали утверждать, что «сланцевая революция» на территории США подходит к концу, так как эксплуатируемые породы были практически исчерпаны.

Также отдельно стоит отметить разрушительное воздействие ГРП на окружающую среду:

- как было отмечено выше, пропанты, используемые при применении технологии ГРП и способствующие несмыканию сланцевых пород, загрязняют грунтовые почвы;
- в 2014 г. произошли землетрясения на территориях штатов, на которых активно велась добыча сланцевой нефти и сланцевого газа: Огайо, Оклахома, Техас, Арканзас;
- в результате сжигания сланца в атмосферу выбрасывается большой объем токсичных соединений: оксид серы, азот, сероводород, фенолы, бензолы и т.д.

Технология добычи «геологического» водорода, представленная Koloma, заставляет задуматься о ее безопасности в отношении окружающей среды. Проекты, описанные выше, стремились к максимизации прибыли, забывая о сохранении природы. Как бы экологическая составляющая ни отрицалась бизнесменами ввиду дополнительных капиталовложений, она имеет одно из главенствующих положений в развитии бизнеса, особенно если это касается энергетической отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергетические компании мира нацелены развивать водородную энергетику с нулевым выбросом двуокиси углерода. Пока что продвижению такой тенденции способствует метод производства водорода, называемый электролизом [9]. Однако первичные технологии электролиза демонстрировали низкий коэффициент полезного действия, составляющий примерно 50–75 %, что указывает на низкую эффективность метода производства водорода в качестве ВИЭ. В связи с этим ранее отмеченные в настоящем исследовании технологии производства «зеленого» водорода, а также технология НИУ «МЭИ» могут вывести водородную энергетику на новый уровень развития.

Проект по добыче «геологического» водорода является альтернативой произведенному водороду с использованием методов электролиза, паровой конверсии метана, пиролиза, газификации угля, йодо-серного цикла с использованием высокотемпературных реакторов на АЭС. Тем не менее нет доказательств тому, что добыча водорода методом бурения скважин на разломах тектонических плит будет действительно безопасной технологией. Следовательно, подобная технология, по мнению авторов настоящего исследования, должна пройти серьезную экспертизу перед началом ее использования.

Водородная энергетика, обладающая колоссальным потенциалом, сможет достичь высокого уровня развития наравне с используемыми на сегодняшний день классическими углеводородами лишь при достаточном финансировании, поддержке государства, а также заинтересованности бизнеса.

Список литературы

1. Вечкинзова Е.А., Стеблякова А.П., Сумарокова Е.В. Обзор мировых и российских тенденций развития водородной энергетики. Управление. 2022;4(10):26–37. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-37>
2. Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Энергосбережение и энергоэффективность. Москва: Русайнс; 2022. 334 с.
3. Серегина А.А. Стратегическое целевое управление в энергетике. Управление. 2024;4(12):5–12. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2024-12-4-5-12>
4. Линник В.Ю., Байкова О.В., Фаляхова Е.А. Анализ состояния рынка водородного сырья в Российской Федерации и мире. Управление. 2024;1(12):81–94. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2024-12-1-81-94>
5. Максимов А.А., Пашков А.Г., Пименов А.А., Романов К.В., Михайлов А.М., Колошкин Е.А. Физико-химические аспекты и углеродный след получения водорода из воды и углеводородов. Записки Горного института. 2024;265:87–94.
6. Трубило В.С. Производство водорода на атомных электрических станциях. В кн.: Актуальные проблемы энергетики: материалы 79-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2023 г. Минск: БНТУ; 2023. С. 96–99.

7. *Акаев А.А., Рудской А.И., Кораблев В.В., Сарыгулов А.И.* Технологические и экономические барьеры роста водородной энергетики. Вестник РАН. 2022;12:1133–1144.
8. *Романов А.С.* Водородная энергетика: сравнительный анализ способов получения водорода. Научные записки молодых исследователей. 2023;3(11):73–80.
9. *Максимова М.А.* Водородная энергетика в России: современное положение и перспективы развития. Молодой ученый. 2023;11(458):97–100.

References

1. *Vebkinzova E.A., Steblyakova L.P., Sumarokova E.V.* Review of global and Russian trends in the hydrogen energy development. *Upravlenie / Management (Russia)*. 2022;4(10):26–37. (In Russian). <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-37>
2. *Linnik Yu.N., Linnik V.Yu.* Energy saving and energy efficiency. Moscow: Rusains; 2022. 334 p. (In Russian).
3. *Seregina A.A.* Strategic target management in the energy sector. *Upravlenie / Management (Russia)*. 2024;4(12):5–12. (In Russian). <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2024-12-4-5-12>
4. *Linnik V.Yu., Baikova O.V., Falyakbova E.D.* The state of the market of hydrogen raw materials in Russia and the world. *Upravlenie / Management (Russia)*. 2024;1(12):81–94. (In Russian). <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2024-12-1-81-94>
5. *Maksimov A.L., Ishkov A.G., Pimenov A.A., Romanov K.V., Mikhbailov A.M., Kolosbkin E.A.* Physico-chemical aspects and carbon footprint of hydrogen production from water and hydrocarbons. *Journal of Mining Institute*. 2024;265:87–94. (In Russian).
6. *Trubylo V.S.* Hydrogen production at nuclear power plants. In: *Current issues of energy: Proceedings of 79th Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduate Students, April 2023*. Minsk: BNTU; 2023. Pp. 96–99. (In Russian).
7. *Акаев А.А., Рудской А.И., Кораблев В.В., Сарыгулов А.И.* Technological and economic barriers to the growth of hydrogen energy. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2022;12:1133–1144. (In Russian).
8. *Romanov A.S.* Hydrogen energy: comparative analysis of methods for producing hydrogen. *Scientific notes of young researchers*. 2023;3(11):73–80. (In Russian).
9. *Максимова М.А.* Hydrogen energy in Russia: current status and prospects for development. *Molodoi uchenyi*. 2023;11(458):97–100. (In Russian).