

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В России отменили модернизацию электростанции из-за санкций URL: <https://lenta.ru/news/2024/09/20/otmena/> (дата обращения 28.10.2024).
2. **Коновалов, Ю.В.** Развитие солнечной энергетики в России и мире / Ю.В. Коновалов, А.А. Козина // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. – С. 156-160.
3. **Чаронов, В.Я.** Совершенствование режима потребления электроэнергии на нефтедобывающих предприятиях / В.Я. Чаронов, Б.Н. Абрамович, В.П. Ганский, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов // Нефтяное хозяйство. 1988. № 7. – С. 7-9.
4. **Konovalev, Y.V.** Optimization of power supply system reactive power compensation at the oil field electrical substation / Y.V. Konovalev, D.N. Nurbosynov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings. electronic edition. 2017. – С. 8076228.
5. Декарбонизация отраслей ТЭК: решение климатических задач без ущерба для энергобезопасности URL: <https://energy.policy.ru/dekarbonizacziya-otraslej-tek-resheni-e-klimaticheskikh-zadach-bez-ushherba-dlya-energobezopasnosti/business/2024/15/12/?ysclid=m2li1bv92320932039/> (дата обращения 28.10.2024)
6. Постановление от 9 сентября 2023 г. № 1473 URL: <http://static.government.ru/media/files/xQ1UWgkZNLrI09zNT6PTInfK0EsXfxVS.pdf> (дата обращения 28.10.2024).
7. Будущее водородной энергетики URL: <https://repost.press/news/budushee-vodorodnoj-energetiki> (дата обращения 28.10.2024).

УДК 621.311

*Засухина Ольга Александровна,*

*доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: olga\_a\_z@mail.ru*

*Нефедова Регина Алексеевна, Нефедов Сергей Леонидович  
обучающиеся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический  
университет», e-mail: nefed0v-SL@yandex.ru*

*Малинин Николай Константинович, Терехова Анна Андреевна,  
обучающиеся группы ЭЭ-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический  
университет», e-mail: nikolaymalinin@gmail.com*

## ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

*Zasukhina O.A., Nefedova R.A., Nefedov S.L., Malinin N.K., Terekhova A.A.*

## HYDROGEN ENERGY

**Аннотация.** Рассмотрены назначение, градации, принцип работы, области использования, возможности и перспективы развития водородной энергетики в ближайшие годы в мире и в России.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, водород, установки водородной энергетики, водородное накопление энергии, производство водорода.

**Abstract.** The purpose, gradations, principle of operation, areas of use, opportunities and prospects for the development of hydrogen energy in the coming years in the world and in Russia are considered.

**Keywords:** hydrogen energy, hydrogen, hydrogen energy installations, hydrogen energy storage, hydrogen production.

Водородная энергетика — это альтернатива ископаемому топливу, которая может стать более чистым способом энергоснабжения.

Принцип работы водородной энергетики заключается в производстве, хранении и использовании водорода как основного источника энергии.

Водородная энергетика нужна по следующим причинам [1-7]:

- Альтернатива традиционному топливу. Водород может стать более чистым способом обеспечения энергией.

- Решение проблем, связанных с изменением климата. Использование водорода позволяет сокращать выбросы углекислого газа, снижать загрязнение воздуха в городах и уменьшать зависимость от нефти и газа.

- Энергоэффективность. Водород содержит почти в три раза больше энергии, чем ископаемое топливо, поэтому для выполнения какой-либо работы его требуется гораздо меньше.

- Водородная энергетика может применяться в различных секторах экономики: генерация, хранение и распределение энергии, электричество, тепло и охлаждение для зданий и домашних хозяйств, промышленность, транспорт, добыча и производство сырья.

В отличие от кислорода водород практически не встречается на земле в чистом виде и поэтому извлекается из других соединений с помощью различных химических методов [8].

По этим способам его разделяют на цветовые градации.

**Зеленый** — производится из возобновляемых источников энергии методом электролиза воды. Вода разлагается на водород и кислород при помощи электрического тока. Все, что необходимо для этого: вода, электролизер и надежное снабжение электроэнергией.

**Голубой** — производится из природного газа, а вредные отходы улавливаются для вторичного использования. Природный газ (метан) реагирует с водяным паром, образуя водород и углекислый газ.

**Розовый или красный** — произведенный при помощи атомной энергии.

**Серый** — водород получают путем конверсии метана. При его производстве вредные отходы выбрасываются в атмосферу.

**Коричневый** — водород получают в результате газификации угля. Этот метод также после себя оставляет парниковые газы.

Еще существуют технологии получения биоводорода из мусора и этанола, но их доля чрезвычайно мала.

Таким образом, процесс производства водорода осуществляется следующими мето-

дами:

- Электролиз воды.
- Паровая реформация.
- Термохимические установки. В них

используются термохимические процессы, такие как циклы сорбции и десорбции, для выделения водорода из химических соединений.

Полученный водород затем хранится и транспортируется для использования в энергетических установках [9], в которых водород используется в топливных элементах, где он конвертирует химическую энергию в электрическую.

Пример такой системы — мобильная мини-электростанция Toshiba H2One. Для поддержания электролиза в ней используются солнечные батареи, а излишки энергии накапливаются в аккумуляторах и обеспечивают работу системы в отсутствие солнечного света. Полученный водород либо напрямую подается на топливные ячейки, либо отправляется на хранение во встроенный бак.

Водород используется в различных отраслях:

- В транспорте — в качестве топлива для автомобилей, поездов и летательных аппаратов.

- В промышленности — для производства электричества, хранения энергии и производства удобрений.

- В жилых зданиях — для отопления и горячего водоснабжения.

Преимущества установок водородной энергетики:

- Экологическая чистота. При сгорании водорода не выделяется углекислый газ, что снижает воздействие на климат и окружающую среду.

- Эффективность. Установки водородной энергетики обладают высоким коэффициентом полезного действия при конвертации химической энергии водорода в электрическую энергию.

- Мобильность и переносимость. Возможность использования мобильных генераторов водорода в отдаленных или труднодоступных местах.

- Многообразие источников топлива. Водород можно получать из различных источников, таких как вода, биомасса, природный газ и другие возобновляемые источники.

Текущие вызовы и перспективы:

- Высокие затраты. Это влияет на экономическую целесообразность внедрения установок водородной энергетики.

- Инфраструктурные ограничения. Ограниченность инфраструктуры для производства, хранения и распределения водорода ограничивает доступность и широкое использование установок водородной энергетики.

- Низкая плотность энергии. Несмотря на высокий коэффициент полезного действия, объём водорода на единицу энергии остается ниже по сравнению с традиционными видами топлива.

- Безопасность. Водород является легковоспламеняющимся газом, что предъявляет повышенные требования к безопасному хранению и использованию.

- Зависимость от источников топлива. Производство водорода часто требует энергии, частично от источников, таких как природный газ, что влияет на устойчивость и экологическую чистоту процесса.

Складирование энергии на водороде — это процесс, который включает в себя цепочку, связывающую первичный источник энергии, производство водорода, систему хранения водорода и водородную энергоустановку (вторичный источник электроэнергии).

Выделяют два основных метода хранения водорода:

- Физический метод. В основе метода лежат физические процессы — это компрессирование и сжижение. Сжатый газообразный водород хранят в газовых баллонах, стационарных массивных системах хранения, трубопроводах или стеклянных микросферах. Жидкий водород — в стационарных и транспортных криогенных контейнерах.

- Химический метод. Хранение водорода обеспечивается физическими или химическими процессами его взаимодействия с некоторыми материалами. Например, адсорбционный водород (высокопористые материалы), абсорбция в объеме материала (металлогидриды), химическое взаимодействие (алонаты, фуллерены и органические гидриды).

Водородное накопление энергии рассматривается в качестве буфера между электрической сетью и возобновляемыми источниками энергии и предназначено не только для долговременного хранения энергии, но и для сглаживания существенных изменений

мощности генерации, связанных с переменным характером возобновляемых источников энергии.

Отопление на водороде основывается на электролизной реакции, происходящей внутри оборудования, когда смешиваются молекулы водорода и кислорода. В результате такого взаимодействия выделяется большое количество энергии, больше, чем при сгорании пропана или метана.

Система отопления на водороде состоит из двух основных компонентов: электролизера и отопительного котла [10]. Электролизная установка отвечает за получение водородно-кислородной смеси путём воздействия электрического тока на воду. Котел на водородном топливе представляет собой цельносварную стальную конструкцию, состоящую из камеры сгорания, камеры нагрева и подачи теплоносителя.

Основные преимущества водородных котлов:

- низкий уровень шума благодаря отсутствию открытого пламени;

- в процессе работы не выделяются вещества, наносящие вред экологии, и не формируются продукты сгорания, которые необходимо отводить в атмосферу;

- для работы котла требуются только электричество, катализатор и вода;

- обслуживание агрегата заключается в сезонной замене катализатора.

Недостатками водородных котлов являются:

- возможное взрывное разрушение камеры каталитического окисления при резком росте давления;

- высокие затраты электроэнергии на электролиз;

- сложности с монтажом и техническим обслуживанием из-за отсутствия специализированных компаний;

- проблемы с приобретением и доставкой водорода в баллонах.

Водородная энергетика обладает большим потенциалом для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду, но важно учитывать все аспекты её использования для достижения максимальной пользы при минимальном ущербе для экосистемы:

- Снижение выбросов парниковых газов. Водород — чистый источник энергии без углекислого газа при сгорании, что помо-

гает бороться с изменением климата.

- Уменьшение загрязнения воздуха. Замена традиционных источников энергии водородным топливом позволяет сократить выбросы вредных веществ в атмосферу.

- Устойчивость ресурсов. Водород можно получать из различных источников энергии, что уменьшает зависимость от нефти.

Однако есть и некоторые негативные аспекты использования водорода:

- Производство водорода на основе природного газа. Это приводит к расходованию невозобновляемых источников ценного химического сырья и образованию в качестве побочного продукта значительного количества диоксида углерода.

- Инфраструктура хранения и транспортировки. Необходимо развивать специальную инфраструктуру для хранения и перевозки водорода, что требует дополнительных ресурсов и может повлиять на окружающую среду.

- Энергозатраты на производство. Процесс производства водорода требует энергии, особенно при использовании традиционных методов, что может оказать влияние на окружающую среду, если энергия производится из ископаемых источников.

- Истощение водных ресурсов. Масовое производство «зелёного» водорода требует огромного количества дистиллированной воды, что может истощать водные ресурсы в регионе производства.

Для сокращения выбросов углекислого газа при использовании водорода можно предпринять следующие шаги:

- Внедрение технологий производства водорода с использованием низкоуглеродных технологий. Например, с применением систем улавливания и хранения углекислого газа, а также электролиза воды с помощью энергии объектов атомной, гидро, ветряной и солнечной энергетики. Такой водород может заменить используемый в нефтепереработке и химической промышленности водород, производство которого предполагает выбросы углекислого газа.

- Применение водородсодержащих смесей в теплоэнергетике. Расчётные оценки показывают, что при добавлении 20–30% (по объёму) водорода в существующую систему транспортировки и распределения природного газа можно путём сжигания такой смеси

снизить выбросы углекислого газа в атмосферу на 7–11%. При этом переход на сжигание чистого водорода позволяет обеспечить полную углеродную нейтральность продуктов сгорания.

- Использование конденсационных теплоутилизаторов. Конденсация водяных паров в дымовых газах котлов, работающих на природном газе и водородсодержащих газах, позволит уменьшить расход топлива при сохранении тепловой мощности и одновременно снизить выбросы в атмосферу и углекислого газа, и водяных паров.

Использование водорода может способствовать снижению загрязнения воздуха в городах.

Однако при сжигании водорода выделяется оксид азота, который является одним из парниковых газов и вреден для здоровья. Чтобы снизить его образование, можно использовать технологию рециркуляции газов для снижения температуры пламени. Также можно смешивать газообразный водород с 15–20% природного газа.

Водородная энергетика может помочь снизить зависимость от нефти и газа. Вот некоторые способы:

- Использование водорода в транспорте. Уже существуют автомобили на водороде, поезда и летательные аппараты на водороде.

- Применение водорода в промышленности. Его можно использовать для производства электричества, хранения энергии и производства удобрений.

- Использование водорода в жилых зданиях. В этом случае водород можно применять для отопления и горячего водоснабжения, что позволит уменьшить выбросы вредных веществ и зависимость от нефти и газа.

- Использование водорода в нефтегазовой промышленности. Например, в процессе гидрокрекинга водород помогает улучшить качество тяжёлых нефтепродуктов и повысить выход ценных продуктов, таких как бензин, дизельное топливо и мазут.

Однако для широкого внедрения водородных технологий необходимо решить ряд технических и экономических проблем, таких как производство водорода, его хранение и транспортировка.

Некоторые возможности и перспективы развития водородной энергетики в ближайшие годы:

- Формирование крупного рынка. Характер этого рынка может быть, как глобальным с крупнотоннажными перевозками водорода от центров производства к центрам потребления, так и локальным, при котором производство и потребление будут сосредоточены в рамках одних и тех же стран или небольших регионов.

- Снижение затрат на производство водорода. К 2050 году Международное энергетическое агентство (МЭА) планирует снизить затраты на производство этого экологически чистого вида топлива до 2 долларов за килограмм. Это произойдёт благодаря развитию технологий возобновляемых источников энергии и удешевлению производства энергии ветра и солнца.

- Рост спроса на водород. До 2030 года потребление чистого водорода будет определяться переходом существующих применений с серого на синий и зелёный водород. В период с 2030 по 2040 год ожидается, что потребление водорода в новых приложениях без существующего спроса приведёт к увеличению спроса на чистый водород.

- Развитие крупных экспортных центров по производству водорода и его производных. Разница в затратах между регионами может привести к усилению несоответствия между центрами спроса и предложения и, таким образом, к развитию крупных экспортных центров по производству водорода и его производных.

- Для широкого распространения водородной энергетики необходимо продолжать инвестировать в исследования и разработки.

Некоторые вызовы для ускорения развития водородной энергетики в мире [11]:

- Создание дешёвых и энергоэффективных способов производства и транспортировки водорода. Например, в апреле 2024 года английские учёные создали метод превращения металлических отходов в эффективный катализатор для производства водорода из воды.

- Масштабное внедрение технологий в целях коммерческого получения водорода. Для этого необходимы крупные промышленные установки, каждый проект уникален и зависит от задач потребителя, природных особенностей местности и технических характеристик объекта.

- Создание коммерческих систем

хранения водорода, повышение их энергоэффективности и вместительности. Один из наиболее удобных и наименее затратных вариантов для длительного использования в промышленных масштабах — подземное хранение водорода.

- Усиление мер поддержки производителей и потребителей водорода. Это могут быть целевые субсидии потребителям, которые используют те или иные технологии, субсидирование определённой части цены или нормативная поддержка производителей, чтобы они имели возможность снижать цену.

Россия обладает огромным потенциалом в производстве водорода [12]. Соответствующие производственные мощности создаются в Калининградской области, Краснодарском крае, Мурманской области и на Сахалине. Больше внимание Правительство Российской Федерации обращает на обнаруженные в Воронежской и Липецкой областях запасы природного водорода, добыча которых позволит увеличить роль России на мировом рынке производства водорода.

Некоторые вызовы, которые стоят перед Россией в настоящее время в контексте развития водородной энергетики:

- Ускоренному развитию отрасли мешают отсутствие доступных технологий транспортировки и хранения, ограниченная инфраструктура и проблемы с регулированием и сертификацией.

- Отсутствие достаточного финансирования и субсидирования со стороны государства. Также сложно создать внутренний и внешние рынки сбыта для потенциальных производителей.

- Ограниченность нормативно-правовой базы в области водородной энергетики, в том числе норм обеспечения безопасности.

Для решения этих проблем в России на государственном уровне была утверждена Концепция развития водородной энергетики до 2035 года.

Водородная энергетика имеет большой потенциал для решения многих проблем, связанных с изменением климата и ограниченными запасами нефти и газа. Однако для ее широкого распространения необходимо продолжать инвестировать в исследования и разработки, а также строить новые заправочные станции и расширять действующие сети. В целом, использование водорода как источ-

ника энергии имеет большой потенциал для создания устойчивой и экологически чистой

энергетической системы в будущем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крюков, А.В.** Применение интеллектуальных технологий для электротехнических комплексов на нефтегазодобывающих предприятиях / А.В. Крюков, Ю.В. Коновалов / А.В. Крюков, Ю.В. Коновалов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т.1. № 15. – С. 162-169

2. **Коновалов, Ю.В.** Анализ качества электроэнергии на предприятии / Ю.В. Коновалов, И.И. Воробьев // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. – С. 57-60.

3. **Чаронов, В.Я.** Совершенствование режима потребления электроэнергии на нефтедобывающих предприятиях / В.Я. Чаронов, Б.Н. Абрамович, В.П. Ганский, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов // Нефтяное хозяйство. 1988. № 7. – С. 7-9.

4. **Коновалов, Ю.В.** Автоматизация и цифровизация объектов электроэнергетики / Ю.В. Коновалов, А.Е. Вайгачев, А.А. Уваров // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2021. № 15. – С. 51-55.

5. **Konovalev, Yu.V.** Cloud technologies in energy / Yu.V. Konovalev, O.A. Zasukhina // Journal of Physics: Conference Series. 13. Ser. "Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics". 2020. – С. 012024.

6. **Коновалов, Ю.В.** Искусственный интеллект в электроэнергетике / Ю.В. Коно-

валов, А.Е. Вайгачев // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. – С. 225-226

7. Что такое водородная энергетика? URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.48f8fc6f-6722ec17-58dd7b66-74722d776562/https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-hydrogen-energy](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.48f8fc6f-6722ec17-58dd7b66-74722d776562/https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-hydrogen-energy) (дата обращения 28.10. 2024).

8. Водородная энергетика URL: <https://www.renwex.ru/ru/ii/vodorodnaya-ehnergetika/> (дата обращения 28.10. 2024)

9. Установки водородной энергетики URL: <https://apni.ru/article/8559-ustanovki-vo-dorod-noj-energetiki> (дата обращения 28.10.2024).

10. Водородное отопление дома – выбор в пользу качества, надежности и экономичности URL: <https://akvahit.ru/articles/vodorodnoe-otoplenie-doma-vybor-v-polzu-kachestva-nadezhnosti-i-ekonomichnosti/> (дата обращения 28.10.2024).

11. Перспективы и недостатки водородной энергетики URL: <https://journal.tinkoff.ru/news/review-vodorod/> (дата обращения 28.10.2024).

12. Новак допустил производство водорода из угля для снижения выбросов CO2 URL: <https://www.rbc.ru/business/15/04/2021/607808e99a7947cb4f5815a4> (дата обращения 28.10.2024).