

МЕЖДУНАРОДНЫЕ, ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ
Международные отношения, глобальные
и региональные исследования
INTERNATIONAL, GLOBAL AND REGIONAL PROCESSES
International relations, global and regional studies

Научная статья

Политические науки

УДК: 327

[https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3\(9\)-71-87](https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3(9)-71-87)

Новые тенденции и перспективы водородной энергетики в мире и в Казахстане

Айгерим Ергалиевна Ибраева✉

Международный университет «Астана», Астана, Республика
Казахстан

айгеримibraeva7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1341-753X>

Аннотация. Данная статья исследует новые тенденции и перспективы водородной энергетики как в мировом масштабе, так и в контексте Казахстана. Автор рассматривает растущий интерес к водородной энергетике в свете необходимости снижения выбросов парниковых газов и поиска альтернативных источников энергии. Статья анализирует ключевые международные и национальные инициативы в области водородной энергетики, включая разработку технологий производства, хранения и использования водорода. Особое внимание уделяется роли Казахстана в развитии водородной энергетики и его сотрудничеству с другими странами, особенно с ЕС и Японией, имеющей значительный опыт в этой области. В заключение автор подводит итоги и делает выводы о будущих перспективах водородной энергетики, основываясь на текущих трендах и развитии в Казахстане и в мире.

Ключевые слова: энергетическая трансформация, водородная энергетика, экономическая эффективность, международные акторы, водородная экономика

Благодарности: Статья подготовлена по результатам исследований, финансируемых Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19175789 «Развитие водородной энергетики в Казахстане и международная энергетическая безопасность: опыт стран Европейского Союза»).

© Ибраева А.Е., 2023

© Россия и мир: научный диалог / Russia & World: Scientific Dialogue, 2023

Для цитирования: Ибраева А.Е. Новые тенденции и перспективы водородной энергетики в мире и в Казахстане // Россия и мир: научный диалог. 2023. № 3(9). С. 71-87, [https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3\(9\)-71-87](https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3(9)-71-87)

Original article

Political sciences

[https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3\(9\)-71-87](https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3(9)-71-87)

New Trends and Prospects of Hydrogen Energy in the World and in Kazakhstan

Aigerim E. Ibrayeva✉

«Astana» International University, Astana, Republic of Kazakhstan
aigerimibrayeva7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1341-753X>

Abstract. The article explores the trends in the development of hydrogen energy both in the world in general and in Kazakhstan in particular. The author considers the growing interest in hydrogen energy in the context of the need to reduce greenhouse gas emissions and search for alternative energy sources. The article analyzes key international and national initiatives in the field of hydrogen energy, including the development of technologies for the production, storage and use of hydrogen. Particular attention is paid to the role of Kazakhstan in the development of hydrogen energy and its cooperation with other countries, especially with the EU and Japan, which has significant experience in this area. The author draws conclusions about the prospects for hydrogen energy.

Keywords: energy transformation, hydrogen energy, economic efficiency, international actors, hydrogen economy

Acknowledgments: The article is based on the results of research funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP19175789 "Development of hydrogen energy in Kazakhstan and international energy security: the experience of the countries of the European Union").

For citation: Ibrayeva A.E. New Trends and Prospects of Hydrogen Energy in the World and in Kazakhstan. Russia & World: Scientific Dialogue. 2023;3(9):71-87, [https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3\(9\)-71-87](https://doi.org/10.53658/RW2023-3-3(9)-71-87)

Введение

В последние годы водородная энергетика стала одним из ключевых направлений в области альтернативных источников энергии. Водород обладает потенциалом стать чистым и устойчивым источником энергии, не производя при этом выбросов парниковых газов. Этот фактор делает его особенно привлекательным для стран, стремящихся сократить свою зависимость от ископаемого топлива и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Новые тенденции в мире

В мире наблюдается значительный рост интереса к водородной энергетике. Многие развитые страны активно инвестируют в исследования и разработки в этой области, а также разрабатывают национальные стратегии и законодательство, способствующее развитию водородной экономики. Одной из важных тенденций является увеличение масштабов производства водорода на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Технологии электролиза, позволяющие получать водород из воды с использованием электричества, становятся все более эффективными и экономически целесообразными. Кроме того, растет спрос на водород в различных отраслях, включая транспорт, химическую, стекольную, пищевую и нефтеперерабатывающую промышленность, металлургию и энергетику [6, с. 38]. Водородные топливные элементы становятся все более популярными в автомобильной промышленности, а также используются в процессах производства и как источник энергии для сетей электроснабжения.

В последние годы мировое сообщество все больше обращает внимание на водородную энергетику в связи с постепенным истощением традиционных ископаемых и стремлением к снижению выбросов парниковых газов. Согласно прогнозу Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA)¹, водород может стать ключевым элементом энергетической системы будущего и снизить зависимость от ископаемых ресурсов. В прогнозе предлагается убедительный способ декарбонизации во всех областях энергопотребления, при котором электрификация и энергоэффективность должны стать главными движущими факторами, основанными на возобновляемых источниках энергии, «зеленом» водороде и устойчивой современной биоэнергии². Возможно, что уже к 2050 г. на водородную энергетику будет приходиться около 12 процентов мирового потребления энергии [10, с. 35].

Многие страны уже начали инвестировать в водородную энергетику и разрабатывать соответствующие национальные стратегии. Например, Япония, Германия, Соединенные Штаты и Австралия активно развивают водородные технологии и создают инфраструктуру для использования водорода в автотранспорте. Одна из главных причин переключения на водород – предотвращение глобального потепления, вызванного использованием ископаемых топлив [2, с. 217].

Данная сфера исследования широко изучена российскими и зарубежными авторами. В части российского взгляда на водородную энергетику, ее роль в мировом энергобалансе и важность для Российской Федерации обратим внимание на работы М.Г.Борисова [1], Г.Н.Доленко [2], А.Конопляника [3], Ю.Н.Линник и Е.Д.Фалыховой

¹ International Renewable Energy Agency (IRENA) – межгосударственная международная организация, основанная в 2009 г. для поддержки использования всех форм возобновляемых источников энергии. IRENA облегчает доступ ко всей необходимой информации о возобновляемых источниках энергии, в том числе к техническим данным.

² Прогноз преобразования мировой энергетической системы. URL: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_Summary_2021_RU.pdf?rev=bbc217fbc6ea48b69a318b6475cc96e4.

[4], Е.Б.Малых и В.А.Плотникова [5], Д.К.Чугунова и Р.А.Касьянова [9] и других авторов. Из зарубежных авторов отметим: A.Alsalman [11], P.Atanassov [12], A.Boretti [13], M.Genovese [16], J.Nowotny [17] и др.

В то же время среди казахстанских исследователей в плане вклада Казахстана в развитие мировой водородной энергетики эта тема еще новая. В этой связи цель данной статьи – рассмотреть основные тренды водородной энергетики и показать, каким образом Казахстан развивается в данной сфере с учетом международного опыта. Задачами исследования являются: 1) изучить мировой опыт внедрения водородной энергетики; 2) описать достижения, препятствия и общий курс развития Казахстана в данном направлении.

Материалы и методы

Для решения поставленной цели – описать достижения и курс Казахстана в сфере развития водородной энергетики – использовались исторический, аналитический методы и метод дискурс-анализа статей в СМИ, научных статей в рецензируемых российских, казахстанских и зарубежных изданиях, прогнозных отчетов, нормативно-правовых актов и программ развития.

Результаты исследования

Основные игроки на мировом водородном рынке. Компании являются основными игроками на мировом водородном рынке и играют важную роль в развитии и коммерциализации водородных технологий. Множество компаний в разных странах активно вкладывают ресурсы и проводят исследования в области производства, хранения, транспортировки и использования водорода. Среди ключевых компаний на мировом водородном рынке можно выделить следующие:

Крупные нефтегазовые компании, такие как Shell, Total Energies, BP, Exxon Mobil, разрабатывают водородные технологии и инвестируют в инфраструктуру для производства и использования водорода. Они также работают над развитием проектов по производству водорода с использованием возобновляемых источников энергии³.

³ Hydrogen. URL: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/new-energies/hydrogen.html>; Hydrogen & renewable hydrogen. URL: <https://gasmobility.totalenergies.com/gas-fuel-products/hydrogen-renewable-hydrogen> Energy Outlook; URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/./hydrogen.html>; Advancing climate solutions. URL: <https://corporate.exxonmobil.com/what-we-do/delivering-industrial-solutions/advancing-climate-solutions>.

Производители электролизеров. Компании, такие как Nel Hydrogen, ITM Power, Siemens Energy, Ballard Power Systems, являются ведущими производителями электролизеров, устройств, которые разлагают воду на водород и кислород. Они разрабатывают электролизеры различных мощностей и технологий, чтобы обеспечить эффективное производство водорода⁴.

Производители топливных элементов. Компании, такие как Ballard Power Systems, Plug Power, Hydrogenics, Toyota, Hyundai, разрабатывают и производят топливные элементы, которые используют водород для производства электричества. Они специализируются на различных типах топливных элементов, включая полимерно-электролитные мембранные топливные элементы (ПЭМТЭ), окисно-керамические топливные элементы (СОТЭ) и др.

Автомобильные производители. Крупные автомобильные компании, такие как Toyota, Hyundai, BMW, Daimler, Audi, разрабатывают и выпускают автомобили на водородном топливе (водородные топливные элементы или горючие элементы). Они инвестируют в развитие водородной инфраструктуры и работают над созданием доступных и эффективных водородных автомобилей.

Производители и поставщики водородной инфраструктуры. Компании, такие как Air Liquide, Linde, Air Products, предоставляют решения для хранения, транспортировки и распределения водорода. Они специализируются на разработке и строительстве заправочных станций для водородных автомобилей, а также на развитии трубопроводов и хранилищ для водорода⁵.

Компании по производству возобновляемого водорода. С увеличением интереса к экологически чистым источникам водорода компании, такие как Orsted, Iberdrola, NextEra Energy, Engie, разрабатывают и внедряют проекты по производству водорода с использованием возобновляемых источников энергии, включая ветряную и солнечную энергию⁶.

Транспортные компании и логистические операторы. Компании в сфере транспорта и логистики, такие как DHL, UPS, Amazon, разрабатывают планы и реализуют проекты по применению водородных технологий в своих операциях. Это может включать использование водородных грузовиков, дронов или других средств транспорта для доставки товаров⁷.

Компании по производству и хранению водородного топлива для стационарных приложений. Компании, такие как Bloom Energy, FuelCell Energy, Mitsubishi

⁴ Nel Hydrogen. URL: <https://nelhydrogen.com/>; TM Power. URL: <https://www.itm-power.com/>; Siemens Energy. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/innovation/hydrogen.html>; Ballard Power Systems. URL: <https://www.ballard.com/>.

⁵ Air Liquide. URL: <https://www.airliquide.com/hydrogen>; Linde. URL: <https://www.linde.com/en/what-we-do/hydrogen-energy>; Air Products. URL: <https://www.airproducts.com/industries/energy/hydrogen-energy>.

⁶ Orsted. URL: <https://orsted.com/>; Iberdrola. URL: <https://www.iberdrola.com/>; NextEra Energy. URL: <https://www.nexteraenergy.com/>; Engie. URL: <https://www.engie.com/>.

⁷ DHL. URL: <https://www.dhl.com/global-en/home/our-divisions/ecommerce/innovation/hydrogen-fuel-cell-vehicles.html>; UPS. URL: <https://www.ups.com/us/en/services/technology-integration/fuel-cell-technology.page>; Amazon. URL: <https://www.aboutamazon.com/sustainability/sustainable-operations/transportation/alternative-fuels>.

Power, разрабатывают и предлагают системы генерации электричества на основе водорода для стационарных приложений, таких как электростанции, склады энергии и домашние системы питания⁸.

Рост водородной экономики требует значительных инвестиций, и финансовые и инвестиционные компании играют важную роль в привлечении капитала и финансировании проектов. Венчурные капиталы, банки и инвестиционные фонды активно инвестируют в стартапы и компании, связанные с водородными технологиями.

Водородные энергетические установки автомобиля (баллон со сжатым водородом + топливный элемент (ТЭ) + электромотор) на первый взгляд в перспективе выглядят крайне привлекательно как по цене, так и по эксплуатационным характеристикам. Однако все же основным стимулом их развития является снижение выбросов в атмосферу парниковых газов. Отсутствие водородной инфраструктуры является одним из основных препятствий для развития водородного транспорта. Решением проблемы может стать применение водорода в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания или смесей топлива с водородом.

Создание широкой водородной инфраструктуры автозаправочных станций при современном уровне технологий – крайне дорогая (порядка пяти млрд долларов для охвата 10% автомобилей США) и в полной мере не решенная в техническом, экономическом и в плане безопасности задача [19]. Опасность взрывов «гремучей смеси» в случае утечки водорода с кислородом воздуха при массовом использовании сжатого водорода очень высока. Безопасные методы хранения водорода либо слишком дороги, либо нетехнологичны. Тем не менее идут интенсивные разработки в этом направлении.

Использование водородных топливных элементов в воздушном транспорте

Компания ZeroAvia работает над разработкой электрических самолетов с использованием водородных топливных элементов [13, р. 6]. Они стремятся заменить традиционные авиационные двигатели настолько, чтобы самолеты могли полностью полететь на водороде без выброса углекислого газа или других вредных веществ⁹.

HES Energy Systems разрабатывает водородные системы энергоснабжения для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они создают мощные компактные системы, которые позволяют БПЛА летать на большие расстояния с использованием водородных топливных элементов¹⁰.

Крупная авиационная компания Airbus проводит исследования по использованию водородных топливных элементов в воздушном транспорте. Специалисты ком-

пании исследуют возможности создания водородных самолетов и разрабатывают концепции, которые могут быть реализованы в будущем¹¹.

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) также занимается исследованиями по применению водородных топливных элементов в воздушном транспорте. Они изучают возможности использования ВТЭ в беспилотных летательных аппаратах и разрабатывают прототипы, чтобы проверить их работоспособность и эффективность¹².

Атомно-водородная энергетика

Атомно-водородная энергетика имеет потенциал и перспективы в контексте снижения выбросов парниковых газов¹³, устойчивого развития и диверсификации источников энергии. Вот некоторые из перспектив данной энергетической концепции:

Низкоуглеродная энергия: использование атомной энергии в сочетании с производством водорода позволяет снизить выбросы парниковых газов и других загрязнителей в атмосферу. Атомная энергия является низкоуглеродным источником энергии, поскольку при ее производстве не выделяются значительные объемы углекислого газа.

Энергетическая независимость: развитие атомно-водородной энергетики может помочь снизить зависимость от импорта нефти и газа. Водород может быть произведен из воды, что делает его доступным и потенциально независимым от иностранных поставщиков энергии [8, с. 174].

Возобновляемый источник водорода: водород можно производить из возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Это позволяет использовать атомно-водородную энергетику в качестве одной из форм хранения и использования возобновляемой энергии.

Эффективность и высокая энергетическая плотность: водород обладает высокой энергетической плотностью, что означает, что он может предоставить большой объем энергии при сравнительно небольшом весе. Это делает его привлекательным для применения в различных отраслях, включая транспорт и электроэнергетику.

Развитие инфраструктуры: развитие атомно-водородной энергетики потребует создания соответствующей инфраструктуры, включая сеть атомных реакторов, системы электролиза воды, хранения и распределения водорода. Это может способствовать развитию технологий и инноваций в связанных отраслях и созданию новых рабочих мест.

Несмотря на перспективы, следует отметить несколько важных аспектов и вызовов, связанных с атомно-водородной энергетикой:

¹¹ Airbus. URL: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-zeroemission-concept-aircraft-powered-by-hydrogen.html>.

¹² Space Applications of Hydrogen and Fuel Cells. URL: <https://www.nasa.gov/content/space-applications-of-hydrogen-and-fuel-cells>.

¹³ Ядерная энергетика чистой энергии, 30.09.2020. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/20-02283r.pdf>.

⁸ Bloom Energy. URL: <https://www.bloomenergy.com/>; Fuel Cell Energy. URL: <https://www.fuelcellenergy.com/>; Mitsubishi Power. URL: <https://power.mhi.com/>.

⁹ ZeroAvia. URL: <https://www.zeroavia.com/>.

¹⁰ HES Energy Systems. URL: <https://hes.sg/>.

Безопасность. Атомная энергетика требует строгих мер безопасности для предотвращения возможных аварий и утечек радиоактивных материалов. Необходимы надежные системы контроля, регулирования и безопасности для защиты окружающей среды и общества.

Управление отходами. Производство электроэнергии и водорода на основе атомной энергии сопровождается образованием радиоактивных отходов. Эти отходы требуют специальной обработки и управления для минимизации их воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

Публичное мнение. Атомно-водородная энергетика вызывает различные точки зрения и мнения в обществе. Необходимо проводить информационные кампании и обсуждения с широкой публикой, чтобы достичь согласия и понимания относительно преимуществ и рисков данной технологии.

Финансирование и экономическая эффективность. Внедрение атомно-водородной энергетики требует значительных инвестиций в строительство и обслуживание атомных реакторов, систем электролиза и инфраструктуры. Это также связано с вопросами экономической эффективности и конкурентоспособности с другими источниками энергии.

Регулирование и международное сотрудничество. Развитие атомно-водородной энергетики требует установления соответствующих правовых и регуляторных рамок на национальном и международном уровне. Координация и сотрудничество между странами в области ядерной безопасности и использования водорода являются важными аспектами для успешной реализации данной концепции.

Все эти аспекты являются важными для развития и внедрения атомно-водородной энергетики. При совместных усилиях, научных и технологических достижениях и поддержке со стороны правительств и общества атомно-водородная энергетика может стать значимым фактором в решении энергетических и экологических вызовов будущего.

Программы по развитию водородной энергетики в мире

В США существуют несколько программ и инициатив, направленных на развитие водородной энергетики. Ниже перечислены некоторые из них:

Программа H2@Scale. Эта программа, запущенная Департаментом энергетики США (DOE), направлена на ускорение развития и коммерциализации технологий водородной энергетики [18, р. 46]. Она включает в себя исследования и разработки, демонстрационные проекты и партнерства с промышленностью для интеграции водородных систем в различные отрасли, включая электроэнергетику, транспорт и промышленность¹⁴.

Национальная лаборатория по водородной энергетике (National Hydrogen and Fuel Cell Laboratory). Этот лабораторный комплекс, расположенный в Нью-Йорке, пре-

доставляет уникальные возможности для исследований, разработки и тестирования водородных технологий. Здесь проводятся исследования в области электролиза воды, хранения водорода, топливных элементов и других связанных технологий.

Инициатива «H2USA» – это партнерство между правительством, промышленностью и другими заинтересованными сторонами с целью развития инфраструктуры водородной энергетики в США [11]. Члены этого партнерства работают вместе для создания условий для развертывания технологий водородной энергетики, включая развитие стандартов, сертификации и обмена информацией¹⁵.

Программа «Fuel Cell Technologies Office» («Офис технологий топливных элементов»), проводимая DOE, фокусируется на исследовании, разработке и демонстрации технологий топливных элементов, включая водородные топливные элементы. Она поддерживает проекты в области транспорта, стационарных приложений и систем энергоэффективности с целью улучшения производительности и снижения стоимости технологий топливных элементов.

Программа «Hydrogen and Fuel Cells Program» также работает в сотрудничестве с промышленными партнерами, академическими институтами и научными организациями для разработки и внедрения новых технологий. Целью программы является создание экономически конкурентоспособных и устойчивых решений в области водородной энергетики, способных применяться в различных отраслях, таких как энергетика, транспорт и промышленность.

Программы и инициативы, проводимые в США, направлены на стимулирование развития и внедрения водородных технологий, создание необходимой инфраструктуры и улучшение технологических решений в этой области. Благодаря такому подходу США активно продвигаются в развитии водородной энергетики и играют важную роль в формировании глобального рынка водородных технологий [18].

В Японии существует несколько программ и инициатив, нацеленных на развитие водородной энергетики. Япония активно поддерживает промышленное, исследовательское и инфраструктурное развитие водородных технологий. Ниже перечислены некоторые из них:

Программа «Водородная инфраструктура для устойчивой энергетической системы» (Hydrogen Infrastructure Development for the Sustainable Energy System), проводимая Министерством экономики, торговли и промышленности (METI) Японии, целенаправленно развивает водородную инфраструктуру для поддержки развертывания водородных технологий. В рамках программы строятся водородные заправочные станции, разрабатываются системы хранения и доставки водорода, а также проводятся исследования по оптимизации инфраструктуры¹⁶.

Программа «Водородные топливные элементы и технологии хранения водорода» (Hydrogen Fuel Cells and Hydrogen Storage Technologies), проводимая Нацио-

¹⁴ U.S. Department of Energy. (n.d.). H2@Scale. URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/h2scale>.

¹⁵ United States Department of Energy, July 2016. URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/07/f33/fcto_h2usa_factsheet.pdf.

¹⁶ Analyzing the necessity of hydrogen imports for net-zero emission scenarios in Japan. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921006814>.

нальным институтом науки и технологии промышленности (AIST), фокусируется на исследованиях и разработках в области водородных топливных элементов и технологий хранения водорода. Цель программы – повышение эффективности топливных элементов, улучшение долговечности, разработка новых материалов и технологий хранения водорода¹⁷.

Программа «Стратегия водородного общества» (Hydrogen Society Strategy). Япония разработала стратегию развития водородного общества с целью ускорить внедрение водородных технологий в различные сферы, включая энергетику, транспорт и промышленность. Стратегия включает в себя финансовую поддержку и субсидии для исследований, разработок и демонстрационных проектов в области водорода и топливных элементов [17]¹⁸.

Программа «Водородные энергетические острова» (Hydrogen Energy Islands) предполагает наличие регионов, полностью оснащенных водородной инфраструктурой, включая производство, хранение, транспортировку и использование водорода. Они будут использовать водород в различных сферах, таких как электроэнергетика, транспорт, промышленность и бытовые цели. Программа «Водородные энергетические острова» является частью стратегии развития водородной энергетики в Японии и направлена на создание модельных регионов, где водородные технологии будут широко использоваться и демонстрироваться [20]¹⁹.

В Европейском союзе (ЕС) существует несколько программ и инициатив, нацеленных на развитие водородной энергетики с целью снижения зависимости от углеводородов [9, с. 151]. ЕС активно поддерживает исследования, разработки и демонстрационные проекты, связанные с водородными технологиями. Ниже перечислены некоторые из них:

План восстановления и устойчивости ЕС (Next Generation EU). В рамках этого плана ЕС выделяет значительные инвестиции на развитие водородной энергетики. Цель заключается в создании экологически устойчивой, конкурентоспособной и инновационной водородной экономики, способной снизить выбросы парниковых газов и ускорить переход к чистой энергетике [16].

Водородная стратегия ЕС. Эта стратегия, представленная в 2020 г., определяет водород как ключевой элемент в достижении климатических и энергетических целей ЕС. Стратегия устанавливает цели по развитию водородной экономики, включая увеличение производства водорода, развертывание водородной инфраструктуры и поддержку водородных технологий в различных отраслях.

Программа «Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking» также финансирует и поддерживает исследования, разработки и демонстрационные проекты в области

17 Japan Science and Technology Agency – “Hydrogen and Fuel Cells – Toward a Sustainable Hydrogen Society”. URL: <https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/hydrogen/en/index.html>.

18 Japan's Ministry of the Environment – “Hydrogen Society”. URL: <https://www.env.go.jp/en/focus/attach/060403-5.pdf>.

19 Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) – “Hydrogen Energy Island Concept”. URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0108_002.html.

систем хранения водорода. Она способствует развитию технологий топливных элементов и систем хранения водорода, а также их коммерциализации.

Инициатива «European Clean Hydrogen Alliance» («Альянс чистого водорода Европы»): в 2020 г. Европейская комиссия запустила эту инициативу для мобилизации инвестиций и содействия развитию водородной энергетики в Европе [12, р. 57]. Альянс объединяет различных заинтересованных сторон, включая предприятия, исследовательские организации, правительственные институты и общественные организации, для создания конкретных проектов и решений в области водородной энергетики.

Программа «Clean Energy for All Europeans» («Чистая энергия для всех европейцев»), проводимая Европейской комиссией, включает в себя меры по стимулированию развития чистых источников энергии, включая водородную энергетику [14]. Она нацелена на обеспечение энергетической эффективности, снижение выбросов парниковых газов и создание устойчивой и конкурентоспособной энергетической системы в Европе²⁰.

Эти программы и инициативы, проводимые в Европейском союзе, демонстрируют амбициозные планы и стратегическое внимание к развитию водородной энергетики. Акцент делается на производство чистого зеленого водорода без выбросов углекислого газа [3]. Они направлены на создание благоприятной среды для инноваций, развертывание водородной инфраструктуры, разработку новых технологий и привлечение инвестиций в эту перспективную область.

В России, богатой природными ресурсами и энергоносителями, необходимость развития водородной энергетики важна, так как от этого напрямую зависит будущее страны как мировой энергетической державы. Российские ученые отмечают, что энергетика напрямую влияет на геополитику. Так, в основе геополитики XIX и XX вв. лежат паровая и угольная энергетика. В период перехода к четвертой индустриальной революции, контуры и драйверы которой еще точно не определены, важно изучать все ее возможные локомотивы, в том числе водородную энергетику [1, с. 49]. В случае перехода мира к водороду и увеличению доли генерации электроэнергии из него Россия может также сохранить свои лидирующие позиции на энергетическом рынке и стать глобальным экспортером водорода [5, с. 216] в сочетании с природным газом, на который даже при уменьшении доли нефти в энергопотреблении сохранится спрос.

Программы и стратегии по водородной энергетике в Казахстане

В Казахстане существует несколько программ и стратегий, направленных на развитие водородной энергетики. Казахстан активно исследует и внедряет водородные технологии в свою энергетическую систему. Ниже перечислены некоторые из них:

20 European Commission – “A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe”. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy-and-energy-union/hydrogen-strategy_en.

Стратегия «Kazakhstan Energy 2050» («Энергетика Казахстана 2050») является долгосрочным планом развития энергетического сектора Казахстана. Она включает в себя развитие водородной энергетики в качестве одного из ключевых направлений. Целью стратегии является диверсификация энергетической системы Казахстана, увеличение энергоэффективности и использование экологически чистых источников энергии, включая водород.

В 2013 г. были сформулированы конкретные цели развития сектора ВИЭ и, как следствие, определен объем рынка ВИЭ и потенциал по снижению парниковых газов от ВИЭ. В Концепции перехода Казахстана к «зеленой» экономике и «Стратегии Казахстана – 2050» эти цели заключаются в том, чтобы довести долю альтернативных и возобновляемых видов энергии в энергобалансе страны до 3% в 2020 г., до 15% в 2030 г., и до 50% в 2050 г.²¹.

Программа «National Hydrogen Energy Development and Introduction Program» («Национальная программа развития и внедрения водородной энергии») была запущена с целью разработки и внедрения водородной энергетики в Казахстане. Она включает в себя исследования, разработки и демонстрационные проекты в области водородных технологий, включая производство, хранение, транспортировку и использование водорода.

В рамках развития водородной энергетики Казахстан планирует создать водородный кластер – инновационный центр, объединяющий предприятия, исследовательские организации и правительственные институты для сотрудничества и развития водородных технологий. Кластер будет способствовать обмену знаниями, разработке новых технологий и созданию благоприятных условий для развертывания водородной инфраструктуры.

Казахстан также активно развивает международное сотрудничество в области водородной энергетики. В рамках этого сотрудничества страна проводит совместные исследования, обменивается опытом и передовыми практиками с другими странами и международными организациями.

Например, Казахстан сотрудничает с Японией, которая имеет значительный опыт и экспертизу в области водородной энергетики. В 2019 г. Казахстан и Япония подписали соглашение о сотрудничестве в области водородной энергетики, которое предусматривает обмен техническими знаниями, опытом и технологиями, а также совместную реализацию проектов²².

Казахстан также активно участвует в работе Международного агентства по водородной энергии (IPHE), которое является международной платформой для сотрудничества в области водородной энергетики. В рамках IPHE Казахстан обменивается информацией и опытом с другими странами-участниками, а также участвует в совместных

исследовательских проектах и программных инициативах. Немецко-шведская компания SVEVIND Energy Group намерена инвестировать в производство зеленого водорода в Казахстане 50 млрд долларов. Это позволит выпускать до 3 млн тонн водорода²³.

Все эти программы, стратегии и международное сотрудничество в области водородной энергетики отражают стремление Казахстана к развитию экологически чистых источников энергии и созданию устойчивой энергетической системы [7]. Казахстан признает потенциал водородной энергетики и активно работает над ее внедрением в своей национальной энергетической стратегии.

Выводы

В рамках данной статьи был изучен мировой опыт стран, которые наиболее отличились в вопросе развития водородной энергетики, и исследован путь Казахстана в данной сфере, его достижения и проблемы. В мире наблюдается значительный рост интереса к водородной энергетике. Многие развитые страны активно инвестируют в исследования и разработки в этой области, а также разрабатывают национальные стратегии и законодательство, способствующие развитию водородной экономики. Такие страны, как Германия, Япония, Южная Корея и Австралия, уже внедряют проекты, связанные с производством, хранением и использованием водорода [4, с. 36].

Одной из важных тенденций является увеличение масштабов производства водорода на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Технологии электролиза, позволяющие получать водород из воды с использованием электричества, становятся все более эффективными и экономически целесообразными.

Кроме того, растет спрос на водород в различных отраслях, включая транспорт, промышленность и энергетику. Водородные топливные элементы становятся все более популярными в автомобильной промышленности, а также используются в процессах производства и как источник энергии для сетей электроснабжения.

Казахстан, обладая обширными запасами природных ресурсов и значительным потенциалом для развития возобновляемых источников энергии, имеет все предпосылки для развития водородной энергетики. Одним из ключевых аспектов развития водородной энергетики в Казахстане является анализ существующих и планируемых проектов. В стране уже реализуются проекты по производству водорода на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Эти проекты позволяют улучшить энергетическую эффективность и снизить выбросы парниковых газов.

Казахстан также активно разрабатывает законодательную базу и национальные стратегии в области водородной энергетики. Власти страны предоставляют финансовую поддержку и налоговые льготы для инвесторов, которые заинтересованы

²¹ Развитие возобновляемых источников энергии. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/activities/4910?lang=ru>.

²² О подписании Соглашения между Правительством Республики Казахстан и Правительством Японии о сотрудничестве в области мирного использования атомной энергии и Согласованного протокола к нему. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P100000093>.

²³ Проект на 50 млрд долларов: Казахстан начинает производить зеленый водород. URL: <https://el.kz/ru/proekt-na-50-mlrd-dollarov-kazahstan-nachinaet-proizvodit-zelenyy-vodorod79364/>.

в развитии этого сектора. Это создает благоприятную среду для инвестиций и стимулирует развитие водородной инфраструктуры.

Кроме того, Казахстан обладает значительным научно-исследовательским потенциалом в области водородной энергетики. В стране функционируют научные институты, которые занимаются исследованиями и разработкой новых технологий в этой области. Это способствует инновационным решениям и способам оптимизации процессов производства водорода.

Однако, развитие водородной энергетики в Казахстане также сталкивается с вызовами и препятствиями. Это включает в себя следующие аспекты:

Для успешной реализации водородных проектов необходимо развивать соответствующую инфраструктуру, включающую производственные мощности, сети транспортировки, хранения и заправки водорода. Создание такой инфраструктуры требует значительных инвестиций и стратегического планирования.

Стоимость производства водорода и связанных технологий остается одним из основных вызовов. Необходимо снизить затраты на производство, повысить эффективность процессов и разработать модели бизнеса, которые будут экономически жизнеспособными.

Развитие водородной энергетики требует наличия квалифицированных специалистов, которые будут знакомы с современными технологиями, методами и безопасностью в этой области. Образовательные программы и тренинги должны быть разработаны для подготовки специалистов, необходимых для развития данного сектора.

Сотрудничество с международными партнерами может играть важную роль в развитии водородной энергетики. Обмен опытом, технологиями и лучшими практиками с другими странами, активными в этой сфере, может способствовать более быстрому развитию в Казахстане.

Все эти аспекты требуют комплексного и согласованного подхода со стороны правительства, бизнеса, научных и образовательных институтов для успешного развития водородной энергетики в Казахстане.

В целом совместные усилия правительства, бизнеса и академического сообщества могут способствовать развитию водородной энергетики в Казахстане. При благоприятных условиях и правильной стратегии Казахстан может стать лидером в области водородной энергетики в регионе и сделать значительный вклад в глобальное развитие этой отрасли. Развитие водородной энергетики в Казахстане также способствует достижению национальных и международных целей в области устойчивого развития, сокращения выбросов парниковых газов и снижения зависимости от нестабильных энергетических источников.

Список источников

1. Борисов М.Г. Новая энергетика и геополитика [New energy and geopolitics] // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2022. № 5-1. С. 49–54.
2. Доленко Г.Н. Перспективы водородной энергетики [Perspectives of hydrogen energetic] // Проблемы современной науки и образования. 2020. № 4-1 (149). С. 21–23.

3. Конопляник А. Альтернативный внешнеэкономический сценарий для российского водорода [Russian hydrogen energy economy: an alternative external trade scenario] // Энергетическая политика. 2021. № 3(157). С. 20–33.
4. Линник Ю.Н., Фаляхова Е.Д. Водородная энергетика и перспективы ее развития [Hydrogen energy and prospects for its development] // Вестник университета. 2023. № 4. С. 33–39. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-4-33-39>.
5. Малых Е.Б., Плотноков В.А. Водородная энергетика: оценка перспектив развития [Hydrogen energy: assessment of development prospects] // ЕГИ. 2022. № 41(3). С. 216–220.
6. Местников Н.П., Давыдов Г.И., Альзакап А.М. Водородная энергетика в условиях Севера и Арктики [Hydrogen energy in North and Arctic] [Электронный ресурс] // учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера». Якутск: Издательский дом СВФУ, 2022. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48690434>.
7. Нечаева Е.Л., Байгондин Р.Т., Батырбаев К.М. Проблемы и перспективы торгово-экономического сотрудничества между Казахстаном и Китаем [Problems and perspectives of trade and economic cooperation between Kazakhstan and China] // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия «Политические науки. Регионоведение. Востоковедение. Тюркология». 2023. № 2(143). С. 82–93.
8. Орлов А.А., Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С. Обзор перспектив водородной энергетики [Overview of perspectives of hydrogen energy] // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. М., 2022. С. 173–177. <https://doi.org/10.34755/IROK.2022.96.53.039>.
9. Чугунов Д.К., Касьянов Р.А. Новейшие тенденции европейского регулирования водородной энергетики в контексте обеспечения российских интересов [The latest trends of the European regulation of hydrogen energy in the context of ensuring Russian interests] // Правоприменение. 2022. № 1. С. 150–161.
10. Юдин Д.А. Анализ развития водородной энергетики в мире [Analysis of the development of hydrogen energy in the world] // Инновации и инвестиции. 2022. № 6. С. 34–38.
11. Alsaman A. et al. Users, planners, and governments perspectives: A public survey on autonomous vehicles future advancements // Transportation Engineering. 2021. Vol. 3. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100044>.
12. Atanassov P. et al. From Hydrogen Manifesto, through Green Deal and Just Transition, to Clean Energy Act // The Electrochemical Society Interface, 30(4): 57–60. <https://doi.org/10.1149/2.F142141F>.
13. Boretti A. Progress of hydrogen subsonic commercial aircraft // Frontiers in Energy Research. 2023. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1195033>.
14. Capurso T., Stefanizzi M., Torresi M., Camporeale S. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition // Energy Conversion and Management. 2022. Vol. 251. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114898>.
15. Doe K., Hulvey Z., Rustagi N., Satyapal S. US Department of Energy hydrogen and fuel cell technologies perspectives // MRS Bulletin. 2020. Vol. 45(1). P. 57–64. <https://doi.org/10.1557/mrs.2019.312>.
16. Genovese M. et al. Power-to-hydrogen and hydrogen-to-X energy systems for the industry of the future in Europe // International Journal of Hydrogen Energy. 2023. Vol. 48(44). P. 16545–16568. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.194>.
17. Nowotny J. et al. Sustainable practices: Solar hydrogen fuel and education program on sustainable energy systems // International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Vol. 39(9). P. 4151–4157. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.114>.
18. Miller E.L., Papageorgopoulos D., Stetson N. et al. U.S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program: Progress, Challenges and Future Directions // MRS Advances. 2016. Vol. 1. P. 2839–2855. <https://doi.org/10.1557/adv.2016.495>.
19. Polyakova T.V. State and prospects of development of hydrogen energy // Vestnik MGIMO. 2012. Vol. 1(22). P. 156–164. <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2012-1-22-156-164>.
20. Shoji K., Motohiko N., Eichi H. Study on Introduction of CO2 Free Energy to Japan with Liquid Hydrogen // Physics Procedia. 2015. Vol. 67. P. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.06.004>.

Информация об авторе

ИБРАЕВА Айгерим Ергалиевна. Доктор философии (PhD). Постдокторант по проекту «Жас ғалым» Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, Международный Университет «Астана», <https://orcid.org/0000-0002-1341-753X>. Адрес: 010000, Республика Казахстан, г. Астана, Кабанбай батыра, 8. aigerimibrayeva7@gmail.com

Раскрытие информации о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 31 марта 2023. Одобрена после рецензирования: 25 мая 2023. Принята к публикации: 15 июня 2023. Опубликовано: 15 сентября 2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о рецензировании

«Россия и мир: научный диалог» благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы.

References

1. Borisov M.G. New energy and geopolitics. Greater Eurasia: development, security, cooperation. 2022; 5–1:49–54. [In Russian].
2. Dolenko G.N. Perspectives of hydrogen energy. Problems of modern science and education. 2020; 4–1(149):21–23. [In Russian].
3. Konoplyanik A. Russian hydrogen energy economy: an alternative external trade scenario. Energy policy. 2021; 3(157): 20–33. [In Russian].
4. Linnik Yu.N., Falyakhova E. D. Hydrogen energy and prospects for its development. Bulletin of the University. 2023; 4:33–39. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-4-33-39> [In Russian].
5. Malykh E.B., Plotnikov V.A. Hydrogen energy: assessment of development prospects. Natural Humanities Research. 2022; 41(3):216–220. [In Russian].
6. Mestnikov N.P., Davydov G. I., Al-Zakkar A. M. Hydrogen energy in North and Arctic. Textbook on the discipline “General Energy” and the elective “Fundamentals of Energy Saving and Resource Efficiency in the North”. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2022. [Electronic resource]. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48690434> [In Russian].
7. Nechaeva E.L., Baigondin R. T., Batyrbaev K. M. Problems and perspectives of trade and economic cooperation between Kazakhstan and China). Bulletin of the Eurasian National University named after L. N. Gumilyov. Series Political sciences. Regional studies. Oriental studies. Turkology. 2023; 2(143):82–93. [In Russian].
8. Orlov A.A., Nesterenko G.A., Nesterenko I.S. Overview of perspectives of hydrogen energy. Development of science and practice in a globally changing world under the conditions of risks: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference, Moscow, 2022:173–177. Available from: <https://doi.org/10.34755/IROK.2022.96.53.039>. [In Russian].
9. Chugunov D.K., Kasyanov R. A. The latest trends of the European regulation of hydrogen energy in the context of ensuring Russian interests. Pravoprimerenije. 2022; 1:150–161. [In Russian].
10. Yudin D.A. Analysis of the development of hydrogen energy in the world. Innovation and investments. 2022; 6:34–38. [In Russian].
11. Alsalman A. et al. Users, planners, and governments perspectives: A public survey on autonomous vehicles future advancements. Transportation Engineering, 2021, Vol. 3. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100044>. [In English]

12. Atanassov P. et al. From Hydrogen Manifesto, through Green Deal and Just Transition, to Clean Energy Act. The Electrochemical Society Interface, 30(4):57–60. <https://doi.org/10.1149/2.F142141F> [In English].
13. Boretti A. Progress of hydrogen subsonic commercial aircraft, Frontiers in Energy Research, 2023, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1195033>. [In English].
14. Capurso T., Stefanizzi M., Torresi M., Camporeale S. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition, Energy Conversion and Management, 2022, Vol. 251. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114898>. [In English].
15. Doe K., Hulvey Z., Rustagi N., Satyapal S. US Department of Energy hydrogen and fuel cell technologies perspectives, MRS Bulletin, 2020 45(1):57–64. <https://doi.org/10.1557/mrs.2019.312> [In English].
16. Genovese M. et al. Power-to-hydrogen and hydrogen-to-X energy systems for the industry of the future in Europe, International Journal of Hydrogen Energy, 2023, 48(44):16545–16568. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.194>. [In English].
17. Nowotny J. et al. Sustainable practices: Solar hydrogen fuel and education program on sustainable energy systems, International Journal of Hydrogen Energy, 2014, 39(9):4151–4157. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.114>. [In English].
18. Miller E.L., Papageorgopoulos D., Stetson N. et al. U. S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program: Progress, Challenges and Future Directions. MRS Advances , 2016; 1:2839–2855. <https://doi.org/10.1557/adv.2016.495>. [In English].
19. Polyakova T.V. State and prospects of development of hydrogen energy. Vestnik MGIMO, 2012; 1(22):156–164. <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2012-1-22-156-164>. [In English].
20. Shoji K., Motohiko N., Eichi H. Study on Introduction of CO2 Free Energy to Japan with Liquid Hydrogen. Physics Procedia, 2015; 67:11–19. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.06.004>. [In English].

About the author

Aigerim E. IBRAYEVA. PhD. Postdoctoral student on the Zhas Galym project of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Astana International University, <https://orcid.org/0000-0002-1341-753X>. Address: 8 Kabanbay Batyr, Astana, Republic of Kazakhstan, 010000, aigerimibrayeva7@gmail.com

Contribution of the author

The author declares no conflicts of interests.

Article info

Submitted: Marth 31, 2023. Approved after peer reviewing: May 25, 2023. Accepted for publication: June 15, 2023. Published: September 15, 2023.

The author has read and approved the final manuscript.

Peer review info

«Russia & World: Scientific Dialogue» thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work.