

НА ГОРИЗОНТЕ УСТОЙЧИВОСТИ: РОЛЬ ВОДОРОДА В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ В КАЗАХСТАНЕ

Айгерим Ибраева

Доктор PhD, международный университет «Астана»,
e-mail: aigerimibrayeva7@gmail.com

<https://doi.org/10.52536/2415-8216.2024-2.07>

Аннотация. Водородная энергетика представляет собой перспективное направление в области энергетической промышленности будущего. Статья представляет обзор исследований, в которых, анализируя актуальность развития водородной энергетики в мире и в Казахстане, выявляется ее значимость в контексте современных вызовов, таких как изменение климата, необходимость устойчивого развития и диверсификации энергетического сектора. Анализируется международный опыт внедрения водородной энергетики, с фокусом на США и Европейский союз. Рассматриваются национальные программы и проекты, разработанные для стимулирования развития водородных технологий, создания инфраструктуры и привлечения инвестиций. Основываясь на проведенном анализе, выделяются некоторые проблемные вопросы, которые требуют дальнейших исследований и разработок. Они включают в себя разработку более эффективных и экономически выгодных технологий производства водорода, создание надежной системы хранения и транспортировки, а также развитие соответствующего законодательства и политики. В заключении делаются рекомендации для развития водородной энергетики в Казахстане. Они включают в себя необходимость усиления международного сотрудничества, образовательных программ и информационных кампаний, а также поддержки со стороны правительств и финансовых организаций.

Ключевые слова: водородная энергетика, энергетическая промышленность, США, Европейский союз, национальные программы, устойчивое развитие, экологическое равновесие.

**ТҰРАҚТЫЛЫҚ КӨКЖИЕКТЕРІ: ӘЛЕМДІК
ЭНЕРГЕТИКАДАҒЫ СУТЕГІНІҢ РӨЛІ ЖӘНЕ ОНЫҢ
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ДАМУ БОЛАШАҒЫ**

Әйгерім Ібраева

PhD докторы, Астана халықаралық университеті, e-mail: aigerimibraeva7@gmail.com

Аңдатпа. Сутегі энергетикасы болашақтың энергетикалық өнеркәсібі саласындағы перспективалы бағытты білдіреді. Мақала Қазақстандағы және жалпы әлемдегі өзектілігін талдай отырып, зерттеулерге шолу жасайды, климаттың өзгеруі, энергетика секторын орнықты дамыту және әртараптандыру қажеттілігі сияқты қазіргі заманғы сын-қатерлер контекстінде сутегі энергетикасының маңыздылығы анықталады. АҚШ пен Еуропалық Одаққа назар аудара отырып, сутегі энергетикасын енгізудің халықаралық тәжірибесі талданады. Сутегі технологияларының дамуын ынталандыру, инфрақұрылым құру және инвестициялар тарту үшін әзірленген ұлттық бағдарламалар мен жобалар қарастырылуда. Жүргізілген талдауға сүйене отырып, қосымша зерттеулер мен әзірлемелерді қажет ететін кейбір проблемалық мәселелер ерекшеленеді. Олар тиімдірек және үнемді сутегі өндіру технологияларын әзірлеуді, сенімді сақтау және тасымалдау жүйесін құруды және тиісті заңнама мен саясатты дамытуды қамтиды. Мақаланың қорытындысында сутегі энергетикасын одан әрі дамыту бойынша ұсыныстар жасалады. Олар халықаралық ынтымақтастықты, білім беру бағдарламалары мен ақпараттық науқандарды, сондай-ақ үкіметтер мен қаржы ұйымдарының қолдауын күшейту қажеттілігін қамтиды.

Түйін сөздер: сутегі энергетикасы, энергетика өнеркәсібі, АҚШ, Еуропалық Одақ, ұлттық бағдарламалар, тұрақты даму, экологиялық теңестірілу.

HORIZONS OF SUSTAINABILITY: THE ROLE OF HYDROGEN IN THE WORLD ENERGY AND PROSPECTS FOR ITS DEVELOPMENT IN KAZAKHSTAN

Aigerim Ibraeva

Doctor PhD, Astana International University, e-mail: aigerimibraeva7@gmail.com

Abstract. Hydrogen energy is a promising direction in the field of the energy industry of the future. The article presents a review of research, analyzing the relevance in Kazakhstan and in the world as a whole, reveals the importance of hydrogen energy in the context of modern challenges, such as climate change, the need for sustainable development and diversification of the energy sector. The international experience of the introduction of hydrogen energy is analyzed, with a focus on the USA and the European Union. National programs and projects designed to stimulate the development of hydrogen technologies, create infrastructure, and attract investment are being considered. Based on the analysis, some problematic issues are highlighted that require further research

and development. They include the development of more efficient and cost-effective hydrogen production technologies, the creation of a reliable storage and transportation system, as well as the development of appropriate legislation and policies. In conclusion, the article makes recommendations for the further development of hydrogen energy. They include the need to strengthen international cooperation, educational programs and information campaigns, as well as support from Governments and financial organizations.

Keywords: *hydrogen energy, energy industry, USA, European Union, national programs, sustainable development, ecological balance.*

Введение

В последние десятилетия энергетическая отрасль сталкивается с проблемами, связанными с исчерпанием традиционных источников энергии и растущими проблемами, связанными с изменением климата. В этом контексте водородная энергетика становится все более привлекательным и многообещающим направлением для энергетического сектора будущего. Водород обладает уникальными характеристиками, которые делают его привлекательным источником энергии, а также многообещающим вариантом для хранения и передачи энергии.

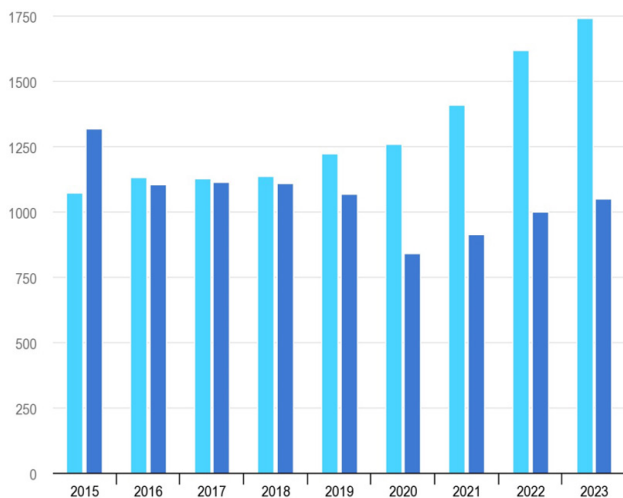
Целью данной статьи является комплексное исследование потенциала водородной энергетики и ее перспектив в энергетической отрасли будущего. Автор проводит анализ основных принципов, преимуществ и проблем, связанных с водородной энергетикой, а также рассматривает различные технологии производства и использования водорода. В статье также представлен обзор успешных проектов, демонстрирующих практическую реализацию водородной энергетики. Анализируются стратегии развитых стран и предлагаются рекомендации по дальнейшему развитию этой инновационной области.

Водород – самый распространенный химический элемент, но его использование в качестве источника энергии стало предметом широкого внимания только в последние годы. Водородная энергетика предлагает чистое и устойчивое решение для удовлетворения различных энергетических потребностей, основанное на производстве и использовании водорода в качестве энергоносителя. Одним из главных преимуществ водорода является его высокая плотность энергии и возможность производства с использованием возобновляемых источников энергии. Ожидается, что к 2023 году глобальные инвестиции в чистую энергетику вырастут до 2,8 трлн долларов США [1].

Согласно отчету МЭА «Мировые энергетические инвестиции за 2023 год», инвестиции в технологии экологически чистой энергетики значительно опережают расходы на ископаемое топливо, поскольку проблемы доступности и безопасности, вызванные глобальным энергетическим кризисом, увеличивают спрос на более устойчивые варианты. Ожидается, что ежегодные инвестиции в экологически чистую энергетику в период с 2021 по 2023 год вырастут на 24% за счет возобновляемых источников энергии и электромобилей, по сравнению с 15% увеличением инвестиций

в ископаемое топливо за тот же период [2].

Рисунок 1. Глобальные энергетические инвестиции в чистую энергетику и ископаемое топливо, 2015–2023 годы



Источник: <https://www.iea.org/data-and-statistics>

Однако, несмотря на высокий потенциал, водородная энергетика также сталкивается с рядом проблем, таких как сложность производства, хранения и транспортировки водорода, высокие затраты на инфраструктуру и технологии, а также необходимость разработки эффективных систем безопасности. Кроме того, важным аспектом развития водородной энергетики является разработка политических, правовых и экономических мер по содействию ее внедрению и расширению.

Несмотря на эти проблемы, мировое сообщество все чаще признает водородную энергетику важным направлением для достижения устойчивого развития и снижения воздействия на окружающую среду. Многие страны уже проводят активные исследования и инновационные проекты, направленные на развитие водородной энергетики и ее применение в различных отраслях промышленности, включая производство электроэнергии, транспорт и промышленность.

В свете этих обстоятельств целью нашего исследования является критическая оценка потенциала и перспектив водородной энергетики в энергетической отрасли, в частности в Казахстане. Мы рассмотрим технологические инновации, экономические факторы, политическую поддержку и регулирование, а также риски и вызовы, связанные с этим направлением развития. Наш анализ будет основан на широком спектре исследований: гайд интервью, научных статьях и практическом опыте, собранном из различных источников.

Методы и методология исследования

Статья основана на таких общенаучных методах, как абстрагирование, сравнительный анализ, синтез, аналогия, обобщение, формализация, систематизация, логический метод. Также было проведено гайд интервью, тематическое исследование и изучение вторичных источников, включая академические публикации, отчеты, монографии, книги, онлайн-статьи, веб-сайты международных организаций и предоставляемые ими базы данных, научная и специализированная литература, связанная с развитием водородной энергетики.

Обзор литературы

В настоящее время энергетическая отрасль сталкивается с рядом вызовов, требующих разработки новых источников энергии, способных обеспечить устойчивое развитие и снизить негативное воздействие на окружающую среду. В этом контексте водородная энергетика становится все более актуальной и перспективной областью исследований и разработок.

Первым фактором, определяющим актуальность водородной энергетики, является исчерпание традиционных ископаемых источников энергии, таких как нефть, газ и уголь. Эти ресурсы не только ограничены, но и связаны с серьезными проблемами для экологии, включая выбросы парниковых газов и изменение климата. Водород, как энергоноситель, является альтернативой традиционным ископаемым источникам, поскольку его производство основано на возобновляемых источниках энергии, таких как солнечная энергия и энергия ветра. Вторым важным аспектом актуальности водородной энергетики является ее потенциал в решении проблемы изменения климата. Водородная энергетика дает возможность сократить выбросы парниковых газов, поскольку при сжигании или использовании водорода в качестве топлива не выделяется углекислый газ или другие вредные вещества. Это может значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду и способствовать достижению международных целей по сокращению выбросов парниковых газов. Третий аспект, подтверждающий актуальность водородной энергетики, связан с развитием новых технологий и инноваций. Водород предлагает широкий спектр возможностей для использования в различных отраслях промышленности, включая производство электроэнергии, транспорт, промышленность и даже энергоснабжение дома. Разработка новых технологий производства, хранения и использования водорода является активной областью исследований и инноваций. Водород может быть использован в топливных элементах для выработки электроэнергии, водородных двигателях для автомобилей, а также в процессах химического и промышленного синтеза. Эти технологии позволяют повысить энергоэффективность, сократить выбросы загрязняющих веществ и повысить независимость от нестабильных рынков ископаемого топлива. Кроме того, использование водорода в качестве энергоносителя может способствовать развитию новых инфраструктурных систем. Это включает в себя создание сетей заправочных станций для водородных автомобилей, систем хранения и транспортировки водорода, а также интеграцию водородной энергетики с существующими энер-

гетическими сетями.

Таким образом, в последние годы водородная энергетика привлекает все больше внимания исследователей, инженеров и экспертов в области энергетике. Анализ зарубежных источников, стратегий в энергетической сфере обусловлен исключительной необходимостью использования и внедрения водородной энергетике в качестве основного вида энергии. В исследовании «Возможности водородной экономики, затраты, барьеры и потребности в исследованиях и разработках» [4] авторы высоко оценили потенциал водородной энергетике для достижения устойчивого развития. Ими были изучены различные источники водорода, методы производства, транспортировки и использования, а также преимущества и ограничения используемых технологий. Результаты исследования показали, что водородная энергетика обладает значительным потенциалом для сокращения выбросов парниковых газов и диверсификации источников энергии.

Не менее интересным является обзор «Текущие и прогнозируемые разработки в области производства водорода: технологический обзор» [5], где авторы исследовали различные технологии производства водорода. В обзоре были рассмотрены такие методы, как паровой риформинг углеводородов, электролиз, солнечный и ветровой электролиз, биологическая ферментация и другие. Результаты показали, что существует широкий спектр технологий, способных эффективно производить водород, и выбор конкретного метода зависит от наличия ресурсов и экономической целесообразности.

В статье «Будущее водородной экономики: светлое или мрачное?» [6] более подробно рассматриваются проблемы и вызовы, связанные с развитием инфраструктуры для водородной энергетике. В этом обзоре исследователи обсудили такие вопросы, как создание инфраструктуры заправки, хранения и транспортировки водорода, а также безопасность его использования. В результате исследования были предложены решения и рекомендации по эффективному развитию инфраструктуры водородной энергетике.

В книге «Водородные топливные элементы для дорожных транспортных средств» [7] основное внимание уделяется использованию водорода в транспортном секторе. Авторы рассмотрели различные виды транспорта, включая автомобильный, авиационный, морской и железнодорожный транспорт, и оценили перспективы использования водорода в каждой области. Обсуждаются преимущества водородного транспорта, такие как нулевые выбросы и дальность поездки, а также такие проблемы, как ограниченная инфраструктура и высокие затраты. В результате подчеркиваются перспективы внедрения водородного транспорта и необходимость дальнейших исследований в этой области.

Эти исследования подтверждают растущий интерес к водородной энергетике и раскрывают ее потенциал для энергетической отрасли будущего. Они также освещают такие важные аспекты, как технологические инновации, экономическая целесообразность, инфраструктурные проблемы и применение в различных отраслях промышленности, которые требуют дальнейших исследований и разработок для успешного внедрения

водородной энергетики.

Российские ученые и инженеры также активно занимаются изучением и разработкой технологий, связанных с водородной энергетикой, и публикуют свои работы в научных журналах, издают учебные пособия. Основное внимание уделяется различным аспектам водородной энергетики, таким как методы производства, хранения, транспортировки водорода, его применение и инфраструктурные решения.

В.С. Литвиненко, П.С. Цветков, М.В. Двойников, Г.В. Буслаев в своей статье «Барьеры на пути реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики» анализируют различные барьеры, с которыми сталкиваются водородные инициативы, связанные с производством, хранением и транспортировкой водорода [8].

В.Н. Фатеев, С.А. Григорьев, Е.А. Серегина в работе «История развития водородной энергетики в СССР и России» рассматривают новые тенденции и перспективы развития водородной энергетики и обобщают основные достижения в области производства, хранения и транспортировки водорода, а также его применения в энергетике и других областях. Основное внимание уделяется аспектам применения наноматериалов и нанотехнологий [9].

Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тульпа в учебной литературе «Водород в энергетике» рассматривают методы получения водорода, его хранения и транспортировки, анализируют различные технологии и системы, используемые в этих процессах, их преимущества, недостатки и потенциал применения в энергетической отрасли [10].

Казахстанские ученые и эксперты также вносят свой вклад в исследование и развитие водородной энергетики, подчеркивая особенности и перспективы этого направления в Казахстане.

В работе «На пути к водородной экономике в Казахстане» (С. Жолдаякова и др.) [11] авторы анализируют перспективы водородной экономики в Казахстане, оценивают водородные технологии в национальном масштабе с акцентом на политические, технологические и экономические аспекты. Авторы оценивают потенциал Казахстана в производстве водорода, включая использование возобновляемых источников энергии, и подчеркивают важность развития инфраструктуры и технологических решений для успешного внедрения водородной энергетики.

Р.С. Жанбулатова в научной работе «Энергетическая дипломатия ЕС в Центральной Азии на примере сотрудничества Франции и Казахстана» [12] исследует вопросы взаимодействия ЕС со странами Центральной Азии в контексте энергетической политики. В частности, в статье анализируется взаимодействие Казахстана и Франции в рамках энергетической дипломатии Европейского союза. Основное внимание уделяется механизмам энергетической политики ЕС, которые играют ключевую роль в сотрудничестве со странами Центральной Азии. В статье исследуются различные аспекты этого взаимодействия и обсуждаются вопросы, связанные с развитием энергетической инфраструктуры, обменом опытом и технологиями, а также содействием внедрению экологически чистых и эффективных энергетических решений.

М. Жиенбаев в статье «Генезис энергетической политики Европейского союза» [13] рассматривает приоритеты общей энергетической политики Европейского союза и исследует такие вопросы, как обеспечение надежными источниками энергии, диверсификацию маршрутов транспортировки углеводородов, повышение энергоэффективности и развитие возобновляемых источников энергии, а также прогресс в области новых технологий и обеспечение энергетической безопасности.

Результаты исследования и их обсуждение

Казахстанские ученые и эксперты активно внедряют водородную энергетику, фокусируясь на исследованиях и проектах с уникальными особенностями страны. Технологии производства и использования водорода подвергаются интенсивному анализу, а успешные проекты служат образцом для более широкого внедрения. Эксперты подчеркивают важность стратегий развития и предостерегают о необходимости учесть специфику Казахстана в контексте водородной энергетики.

На основании проведенного гайд интервью сделан вывод, что использование природного газа в производстве голубого водорода экономически обосновано. Существующая инфраструктура для добычи природного газа в Казахстане облегчает интеграцию голубого водорода в энергетический сектор, а зеленый водород, произведенный с использованием возобновляемых источников, способствует снижению выбросов углерода. Оба вида водорода важны для обеспечения энергетической безопасности и устойчивого развития в Казахстане. Переход к чистым источникам энергии, включая зеленый водород, будет способствовать уменьшению экологического воздействия и содействовать глобальным стратегиям снижения выбросов углерода. В свою очередь, голубой водород может обеспечить плавный переход, учитывая уже существующие ресурсы страны.

Основываясь на анализе источников и проведенного гайд интервью, автор исследовала прогресс в этой области и выявила проблемы и потенциальные пути дальнейшего совершенствования этой технологии, принимая во внимание глобальные вызовы, связанные с изменением климата и устойчивым развитием. Можно уверенно заявить, что водородная энергетика является необходимостью для устойчивого развития Казахстана. Это важный сектор энергетической отрасли, который связан с производством, хранением, транспортировкой и использованием водорода в качестве источника энергии. Водород может быть использован в качестве чистого топлива, особенно в водородных топливных элементах, и является важным аспектом для диверсификации энергетического баланса и сокращения выбросов парниковых газов [14].

Водород обладает высокой плотностью энергии, что позволяет накапливать большое количество энергии в небольшом объеме, обеспечивая удобную транспортировку и хранение. Водород может быть использован в различных промышленных процессах, таких как производство аммиака, металлургические операции (например, восстановление металла), производство метанола и других химических веществ. Это служит формой накопления энергии, особенно в тех случаях, когда другие методы накопле-

ния энергии ограничены или неэффективны. Водород, также используется для временного хранения энергии из возобновляемых источников, таких как солнечная энергия и энергия ветра. Используется в качестве чистого топлива для транспортных средств, включая легковые автомобили, автобусы, поезда и даже самолеты. Водородные транспортные системы обеспечивают низкие выбросы парниковых газов и отсутствие загрязнения воздуха [16].

Однако при использовании водорода существуют некоторые существенные проблемы, такие как высокие затраты на внедрение водородной энергетики и сложность хранения и транспортировки. Вопрос безопасности остается важным, поскольку водород является легковоспламеняющимся газом, который требует соблюдения строгих мер безопасности при его использовании и хранении [17].

В настоящее время можно выделить следующие инициативы, связанные с развитием водородной энергетики в зарубежных странах, чей опыт может оказаться полезным для Казахстана:

- США, Япония и ЕС приняли и реализуют национальные и международные программы по разработке элементов водородной энергетики, включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

- Национальная инициатива по водороду и топливным элементам США (NHFCI) [18]. Эта инициатива, запущенная в 2003 году, направлена на разработку и внедрение технологий использования водорода и топливных элементов в различных секторах, таких как автомобилестроение, стационарная энергетика и промышленность.

- Программа «Водород и топливные элементы и инициативы в области распределенной энергии» (Hydrogen and Fuel Cell and Distributed Energy Initiatives) [19]. Эта программа, запущенная Министерством энергетики США, направлена на разработку и демонстрацию передовых технологий использования водорода и топливных элементов, а также на строительство инфраструктуры для водородной энергетики

- Программа «Водородная инициатива для чистой энергетики будущего» (Hydrogen Initiative for a Clean Energy Future). Эта программа, запущенная Международным энергетическим агентством ОЭСР направлена на поощрение инноваций и исследований в области водородной энергетики с целью создания устойчивой и экологически чистой энергетической системы [20].

- ЕС также активно разрабатывает и реализует национальные водородные программы и проекты. «Водородная Европа» [21] – европейская инициатива, объединяющая членов ЕС для развития водородной энергетики и технологий топливных элементов. Она направлена на создание конкурентоспособного рынка водородной энергетики в Европе и развитие инфраструктуры для водородных технологий.

- «Чистая энергия для всех европейцев» [22] – это пакет мер и директив, предложенных Европейской комиссией, направленных на устойчивую энергетику в Европе. В рамках этой инициативы существуют программы и проекты, которые включают водородную энергетику и технологии топливных элементов.

- «Совместное предприятие по топливным элементам и водороду» (FCH JU) [23] – это совместная инициатива ЕС и промышленных партнеров, которая финансирует и поддерживает исследовательские, опытно-конструкторские и демонстрационные проекты в области водородной энергетики и технологий топливных элементов.

- США и ЕС активно инвестируют в исследования, разработки и инфраструктуру для развития этой перспективной области. Однако, несмотря на значительные достижения, еще предстоит проделать большую работу для того, чтобы водородная энергетика получила широкое распространение и стала экономически конкурентоспособной.

Казахстан обладает богатыми природными ресурсами, включая возможности для производства водорода. Внедрение водородной энергетики в энергетический комплекс Казахстана способствовало бы диверсификации и снижению зависимости от традиционных источников энергии. Такой подход может не только обеспечить энергетическую безопасность страны, но и создать новые возможности для экономического роста и инновационного развития.

Для достижения желаемых изменений в казахстанской энергетической инфраструктуре и реализации концепции водородных энергетических систем необходимо усовершенствовать технологии водородной энергетики таким образом, чтобы они стали конкурентоспособными с точки зрения технических и экономических аспектов. Это требует преодоления пути от исследований и разработок до создания новой водородной инфраструктуры, включающей производственные мощности по производству водорода, системы его хранения, транспортировки, распределения, а также высокоэффективные стационарные и транспортные электростанции.

Реализация такого подхода требует не только технического совершенствования технологий водородной энергетики, но и создания соответствующей инфраструктуры. Это включает в себя разработку производственных мощностей для производства водорода, систем его хранения и транспортировки, а также высокоэффективных электростанций для различных применений.

В результате для успешной реализации концепции водородной энергетики Казахстана необходимо продолжать исследования и разработки, совершенствовать технологии и инвестировать в создание новой водородной инфраструктуры. Это позволит превратить водородную энергетику в конкурентоспособное и устойчивое направление энергетической отрасли будущего. Работа в этом направлении требует как тщательного планирования и координации, так и крупных инвестиций в национальном и международном масштабе.

Водородная энергетика предлагает решение для поддержания экологического баланса. Развитие водородной промышленности в Казахстане имеет потенциал не только снизить воздействие на окружающую среду, но и стать примером экологического лидерства в регионе.

Являясь одним из крупнейших экспортеров углеводородов, Казахстан, тем не менее, заинтересован в переходе экономики на экологически чистые источники энергии. Заявленная с конца 90-х годов заинтересован-

ность страны в сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу была реализована, в том числе, в формате участия Казахстана в Киотском протоколе, Парижском соглашении 2016 года и других перспективных направлениях международного сотрудничества.

Реальная работа, направленная на сокращение выбросов угарного газа в атмосферу, уже ведется. Принципиальное значение в этом отношении имеет использование системы квот на выбросы CO и CO₂, а также увеличение ставок соответствующих платежей в бюджет. Если объективно невозможно сократить выбросы в атмосферу, предприятиям рекомендуется использовать низкоуглеродные технологии. Реализация мер внутренней политики в этой области обобщена, среди прочего, национальной стратегией «Казахстан 2050», которая предусматривает, что к 2050 году до половины потребляемой в стране энергии будет вырабатываться с использованием альтернативных и «зеленых» технологий. А 2060 год определен как год достижения полной углеродной нейтральности экономики.

В этом смысле водородная энергетика является многообещающей альтернативой традиционным видам топлива. Водород может использоваться не только в водородных двигателях, но и в различных отраслях промышленности, особенно там, где требуется большое количество энергии. Это направление, являясь наиболее экологичным (обычная вода выступает в качестве отходов производства энергии), находит широкую поддержку со стороны государства, с чем связано распоряжение Президента страны К.Токаева о создании Центра компетенций по водородной энергетике при Национальной компании «КазМунайГаз».

Водород, используемый в промышленности и энергетике, производится несколькими основными способами. Основными ресурсами для производства «голубого» водорода являются природный газ, попутный нефтяной газ и уголь. Это еще один весомый фактор в пользу перехода на водородную энергетiku – все это сырье доступно на территории Казахстана. В связи с этим данное направление в энергетической отрасли является достаточно перспективным, однако оно содержит ряд технологических вопросов, которые потребуют детального изучения для внедрения данной технологии. Первое, на что обращают внимание эксперты, это наличие фракций CO и CO₂ в синтез-газе, получаемом из первичного сырья. Второе – проблема наличия запасов природного газа, потребление которого, особенно на переходном этапе, значительно возрастет. Правительству Казахстана и отечественным специалистам следует обратить внимание на то, как подобные задачи решаются в мировой практике, в частности в рамках реализации основанного на аналогичной концепции проекта по производству «голубого» водорода в городе Порт-Артур, штат Техас, США.

Но наиболее перспективным и экологически эффективным методом является получение «зеленого» водорода путем электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии. В действующем Экологическом кодексе Казахстана к ним относятся солнечная энергия, энергия ветра, гидроэнергия, энергия биомассы и энергия отходов. Следует отметить, что доля этих видов ресурсов в энергетическом секторе Казахстана постоянно растет: так, если в 2021 году, по данным Kaz Energy, из общей

мощности в 23,6 ГВт, потребляемой в Казахстане, доля ветровой и солнечной энергии в 2022 году составила 1,47 ГВт (около 6%), то в 2028 году мощность возобновляемых источников энергии, по данным Министерства энергетики, должна достичь 4,5 ГВт. Согласно Концепции зеленой экономики, принятой в рамках вышеупомянутой национальной стратегии, к середине 21 века 50% от общего объема производимой в стране электроэнергии должно приходиться на возобновляемые ресурсы [11].

Сезонно возникающие излишки энергии в системе могут быть использованы в качестве источников электроэнергии для производства «зеленого» водорода, но более надежным способом является создание автономных источников энергии для электролизных устройств. Проект немецко-шведской компании Svevind, которая подписала меморандум с Правительством Казахстана, основан на этой концепции, среди прочего, на стадии разработки и утверждения. Проект предполагает строительство солнечной и ветряной электростанции мощностью 45 ГВт для производства «зеленого» водорода в Мангистауской области. Учитывая, что, по оценкам Международной энергетической ассоциации, в ближайшем будущем миру потребуется от 500 до 800 миллионов тонн экологически чистого водорода для обеспечения углеродной нейтральности, трудно переоценить важность этого проекта [24, 25].

На данный момент ожидается, что реализация этого проекта будет осуществляться полностью за счет иностранных инвестиций, несмотря на то, что республика имеет право участвовать в его финансировании наравне с другими организациями и учреждениями. Предварительные оценки указывают на сумму от 40 до 50 миллиардов долларов в качестве стоимости проекта, включая создание необходимой инфраструктуры. Завершение проектных работ запланировано на конец 2026 года, начало поэтапного строительства - на 2027 год, а производство первого «зеленого» водорода ожидается в 2030 году, выход на полную мощность - в 2032 году [24, 25].

Развитие водородной энергетики в Казахстане является перспективным направлением для будущего развития энергетической отрасли. Она сочетает в себе экономические преимущества, устойчивость и активное участие в глобальных усилиях по борьбе с изменением климата. Научные исследования, технологические инновации и международное сотрудничество играют важную роль в успешном осуществлении этого перехода.

Выводы

Водородная энергетика является перспективным направлением развития энергетической отрасли благодаря ее потенциалу в сокращении выбросов парниковых газов и обеспечении энергетической устойчивости. Водородная энергетика обладает рядом преимуществ, включая высокую плотность энергии, возможность хранения и транспортировки, а также использования в различных отраслях промышленности, включая транспорт, стационарные и переносные электростанции. Принимая во внимание глобальные вызовы, связанные с изменением климата и устойчивым развитием, у Казахстана есть шанс стать лидером в области водородной энергетики не только в регионе, но и на мировой арене. Для успешной реализации

этого перспективного направления необходимо сосредоточить усилия на научных исследованиях, инновациях, создании инфраструктуры и международном партнерстве.

В заключение необходимо ответить, что развитие водородной энергетики в Казахстане обещает принести новые технологии, экономический рост и устойчивое будущее для страны, а также внести важный вклад в сохранение экологического баланса. Водородная энергетика в Казахстане способствует сохранению экологического баланса и открывает новые перспективы для страны в области энергетики.

Уникальное положение Казахстана между двумя крупнейшими рынками водородного топлива, Китаем и Европейским союзом, предоставляет стране возможность не только использовать этот вид топлива, но и выступать в качестве его экспортера в эти регионы в будущем. Важным фактором повышения роли водорода как альтернативного и экологически нейтрального источника энергии является существующая нестабильность на рынке нефти и газа. В связи с этим перспективным будет использование возобновляемых источников энергии для производства и экспорта водорода, что обязательно должно быть отражено в специальной стратегии или дорожной карте.

Однако водородная энергетика также сталкивается с некоторыми проблемами, такими как высокие производственные затраты, ограниченная инфраструктура и безопасное хранение и использование. США и ЕС являются лидерами в развитии водородной энергетики. Оба региона активно реализуют национальные программы и проекты, проводят исследования и инвестируют в развитие водородной инфраструктуры. Необходимы более глубокие исследования в Казахстане в области экологических, экономических и социальных аспектов водородной энергетики. Это поможет лучше понять его воздействие на окружающую среду, стоимость и конкурентоспособность. Таким образом, можно заключить:

- Развитие инфраструктуры для производства, хранения, транспортировки и использования водорода является важным шагом. Стандартизация технологий и безопасности также является неотъемлемой частью этого процесса.

- Используя международный опыт, страны могут обмениваться передовыми технологиями в области производства, хранения и использования водорода. Это ускорит разработку и коммерциализацию водородных технологий, а также снизит затраты на исследования и разработки.

- Необходимо усилить образовательные программы и информационные кампании для повышения осведомленности общественности о водородной энергетике. Это поможет создать позитивный настрой и поддержку со стороны общества, и инвесторов.

- Правительство и финансовые организации должны оказывать финансовую поддержку и стимулы для развития водородной энергетики. Это может включать налоговые льготы, гранты на исследования и разработки, а также инвестиции в создание необходимой инфраструктуры.

В целом, чтобы успешно реализовать потенциал водородной энергетики в Казахстане, необходимо объединить усилия в области исследований,

развития технологий, инфраструктуры и политической поддержки. Это позволит создать устойчивую и экологически чистую энергетическую систему, способствующую устойчивому развитию и снижающую негативное воздействие на окружающую среду. Также по мере развития данной отрасли РК необходимо параллельное совершенствование законодательства в области экологических норм и поддержки развития альтернативной энергетики, включая водородную.

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»).

Список литературы

1. Мировые инвестиции в энергетику по итогам 2023 года вырастут на 7,7% — до \$2,8 трлн. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/284618030> (дата обращения: 18.08.2023).
2. Analysis. URL: <https://www.iea.org/analysis?type=report> (дата обращения: 25.10.2023).
3. IEA. Data and statistics. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (дата обращения: 25.10.2023).
4. The Hydrogen Economy Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Need. National Research Council and National Academy of Engineering, 2004, 210 стр.
5. Nnabuife, S. Godfrey, Ugbeh-Johnson, J., Okeke, N., Ogbonnaya, Ch. Present and Projected Developments in Hydrogen Production: A Technological Review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656822000136> (дата обращения: 25.10.2023).
6. Bossel, U., Eliasson, B., Taylor, G. The future of the hydrogen economy: bright or bleak?, 2004, pp. 87-111.
7. Corbo, Pasquale, Migliardini, Fortunato, Veneri, Ottorino. Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles, 2013, 246 p.
8. Литвиненко, В.С., Цветков, П.С., Двойников, М.В., Буслаев, Г.В. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики // Записки Горного института, 2020, т. 244, с. 428-438. DOI:10.31897/PMI.2020.4.5.
9. Российские нанотехнологии, 2020, т. 15, № 3, с. 262-279.
10. Радченко, Р.В., Мокрушин, А.С., Тюльпа, В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014, 229 с.
11. Zholdayakova, S., Abuov, Y., Zhakupov, D., Suleimenova, B., Kim, A. Toward hydrogen economy in Kazakhstan // ADBI Working Paper Series, 2022, 20 с.
12. Жанбулатова, Р.С. Энергетическая дипломатия ЕС в Центральной Азии на примере сотрудничества Франции и Казахстана // CONCORDE, 2018, № 5, с. 66-72.
13. Кожухова, М., Жанбулатова, Р., Жиенбаев, М. Генезис энергетической политики Европейского Союза // Вестник КазНУ. Серия международные отношения и международное право, 2019, т. 84, № 4, с. 27-34.
14. U.S. Department of Energy. (2020). Hydrogen and Fuel Cells. URL: www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cells (дата

- обращения: 25.10.2023).
15. National Renewable Energy Laboratory. Hydrogen and Fuel Cells. URL: <https://www.nrel.gov/hydrogen/> (дата обращения: 25.10.2023).
 16. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. (2020). Hydrogen Applications. URL: www.fch.europa.eu/page/hydrogen-applications (дата обращения: 25.10.2023).
 17. Fellah, A. M., Masmoudi, M., Mhiri, R., Hidouri, N. (2021). A review on hydrogen energy: production, storage, and applications // *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(11), 8827-8852. doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.076.
 18. U.S. Department of Energy. (2020). Hydrogen and Fuel Cells. URL: www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cells (дата обращения: 25.10.2023).
 19. U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap. URL: <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).
 20. Hydrogen Patents for a Clean Energy Future. URL: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-patents-for-a-clean-energy-future> (дата обращения: 25.10.2023).
 21. Hydrogen Europe. URL: www.hydrogeneurope.eu/ (дата обращения: 25.10.2023).
 22. EU Commission. Energy. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/hydrogen-and-fuel-cells_en (дата обращения: 25.10.2023).
 23. Clean Hydrogen Energy. 15 European regions will receive Project Development Assistance. URL: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/15-european-regions-will-receive-project-development-assistance-2023-01-15_en (дата обращения: 25.10.2023).
 24. Abuov, Y., Zhakupov, D., Suleimenova, B., et al. (2024). Realizing the benefits of a hydrogen industry in Kazakhstan // *International Journal of Hydrogen Energy*, 54, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.259>.
 25. Tieubergenova, A., Abuov, Y., et al. (2023). Resource assessment for green hydrogen production in Kazakhstan // *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(43), 16232-16245. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.113>.

References:

1. Mirovye investitsii v energetiku po itogam 2023 goda vyrastut na 7,7% — do \$2,8 trln. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/284618030> (accessed: 18.08.2023).
2. Analysis. URL: <https://www.iea.org/analysis?type=report> (accessed: 25.10.2023).
3. IEA. Data and statistics. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (accessed: 25.10.2023).
4. The Hydrogen Economy Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Need. National Research Council and National Academy of Engineering, 2004, 210 pages.
5. Nnabuiife, S. Godfrey, Ugbeh-Johnson, J., Okeke, N., Ogbonnaya, Ch. Present and Projected Developments in Hydrogen Production: A Technological Review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656822000136> (accessed: 25.10.2023).
6. Bossel, U., Eliasson, B., Taylor, G. The future of the hydrogen economy: bright or bleak?, 2004, pp. 87-111.
7. Corbo, Pasquale, Migliardini, Fortunato, Veneri, Ottorino. Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles, 2013, 246 pages.

8. Litvinenko, V.S., Tsvetkov, P.S., Dvoynikov, M.V., Buslaev, G.V. Bar'ery realizatsii vodorodnykh initsiativ v kontekste ustoychivogo razvitiya global'noi energetiki. Zapiski Gornogo instituta, 2020, vol. 244, pp. 428-438. DOI:10.31897/PMI.2020.4.5.
9. Rossijskie nanotekhnologii, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 262-279.
10. Radchenko, R.V., Mokrushin, A.S., Tyul'pa, V.V. Vodorod v energetike: ucheb. posobie. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2014, 229 pages.
11. Zhodayakova, S., Abuov, Y., Zhakupov, D., Suleimenova, B., Kim, A. Toward hydrogen economy in Kazakhstan. ADBI Working Paper Series, 2022, 20 pages.
12. Zhanbulatova, R.S. Energeticheskaya diplomatiya ES v Tsentral'noi Azii na primere sotrudnichestva Frantsii i Kazakhstana. CONCORDE, 2018, no. 5, pp. 66-72.
13. Kozhukhova, M., Zhanbulatova, R., Zhiyenbaev, M. Genesis energeticheskoi politiki Evropeiskogo Soiuza. Vestnik KazNU. Seriya mezhdunarodnye otnosheniya i mezhdunarodnoe pravo, 2019, vol. 84, no. 4, pp. 27-34.
14. U.S. Department of Energy. (2020). Hydrogen and Fuel Cells. URL: www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cells (accessed: 25.10.2023).
15. National Renewable Energy Laboratory. Hydrogen and Fuel Cells. URL: <https://www.nrel.gov/hydrogen/> (accessed: 25.10.2023).
16. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. (2020). Hydrogen Applications. URL: www.fch.europa.eu/page/hydrogen-applications (accessed: 25.10.2023).
17. Fellah, A. M., Masmoudi, M., Mhiri, R., Hidouri, N. (2021). A review on hydrogen energy: production, storage, and applications. International Journal of Hydrogen Energy, 46(11), 8827-8852. doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.076.
18. U.S. Department of Energy. (2020). Hydrogen and Fuel Cells. URL: www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cells (accessed: 25.10.2023).
19. U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap. URL: <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf> (accessed: 25.10.2023).
20. Hydrogen Patents for a Clean Energy Future. URL: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-patents-for-a-clean-energy-future> (accessed: 25.10.2023).
21. Hydrogen Europe. URL: www.hydrogeneurope.eu/ (accessed: 25.10.2023).
22. EU Commission. Energy. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/hydrogen-and-fuel-cells_en (accessed: 25.10.2023).
23. Clean Hydrogen energy. 15 European regions will receive Project Development Assistance. URL: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/15-european-regions-will-receive-project-development-assistance-2023-01-15_en (accessed: 25.10.2023).
24. Abuov, Y., Zhakupov, D., Suleimenova, B., et al. (2024). Realizing the benefits of a hydrogen industry in Kazakhstan. International Journal of Hydrogen Energy, 54, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.259>.
25. Tleubergenova, A., Abuov, Y. et al. (2023). Resource assessment for green hydrogen production in Kazakhstan. International Journal of Hydrogen Energy, 48(43), 16232-16245. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.113>.

Материал поступил в редакцию 26.02.2024