

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ РОССИИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ОТРАСЛЕВОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

И.П. Савельева, savelevaip@susu.ru

Е.Л. Корниенко, kornienkoel@susu.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В статье исследованы основные условия для развития водородной энергетики с учетом зарубежного и отечественного опыта. Авторы сконцентрировали внимание на особенностях отраслевого использования водорода в регионах России, в контексте перестройки действующей национальной энергетической системы в направлении снижения ресурсоемкости и повышения энергодостаточности территорий, в том числе за счет использования возобновляемых источников и развития водородной энергетики. Целью исследования является определение условий развития водородной энергетики в регионах России с учетом природно-географического положения, отраслевой специализации экономики и экспортных возможностей территории. Объектом исследования является экономика субъектов РФ. Методы исследования – систематизация, анализ и компаративистика аналитических данных зарубежных и отечественных исследований, прикладного опыта в развитии водородной энергетики. Гипотеза исследования заключается в том, что неоднородность объективных условий развития водородной энергетики в субъектах РФ определяет разный потенциал и стартовые преимущества, а именно: локализация добывающей промышленности, сильная промышленная база и высокие показатели энергодостаточности являются катализаторами для внедрения водородных технологий. Основное внимание в статье уделено идентификации как общих, так и специфических условий, способствующих развитию водородной энергетики в субъектах РФ, оценке успешных мировых практик в российской экономике, отдельных регионах. Результаты исследования позволяют дополнить теоретические аспекты и систематизировать данные прикладных кейсов развития водородной энергетики, выделить особенности пространственного развития инфраструктуры водородной энергетики, что позволит субъектам РФ диверсифицировать ресурсные источники роста ВРП, интегрировать инновационные решения и повысить эффективность промышленности и экономики в целом.

Ключевые слова: развитие водородной энергетики, региональная диверсификация топливно-энергетического комплекса, пространственное развитие водородной энергетики, стратегии социально-экономического развития регионов

Для цитирования: Савельева И.П., Корниенко Е.Л. Перспективы использования водородной энергетики в регионах России с учетом особенностей отраслевой специализации экономики // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2024. Т. 18, № 3. С. 39–55. DOI: 10.14529/em240303

Original article
DOI: 10.14529/em240303

PROSPECTS FOR THE USE OF HYDROGEN ENERGY IN RUSSIAN REGIONS TAKING INTO ACCOUNT THE SECTORAL SPECIALIZATION OF THEIR ECONOMIES

I.P. Savelyeva, savelevaip@susu.ru

E.L. Kornienko, kornienkoel@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This article studies the conditions for developing hydrogen energy, taking into account foreign and domestic experience. It focuses on the sectoral usage of hydrogen in Russian regions given the

restructuring of the energy sector to reduce resource capacity and increase energy efficiency, including through the use of renewable sources and the development of hydrogen energy. The study determines the conditions for developing hydrogen energy in Russian regions, taking into account location, sectoral specialization, and export opportunities. The research uses methods of the systematization, analysis, and comparison of analytical data from Russian and international studies on the development of hydrogen energy. The hypothesis is that the heterogeneity of the conditions for the development of hydrogen energy in Russian regions determines their different potential: the localization of the extractive industry, a strong industrial base, and energy efficiency are starting advantages for the introduction of hydrogen technologies. The article focuses on the identification of the general and specific conditions contributing to the development of hydrogen energy in Russian regions and an assessment of successful world practices for the national economy and individual regions. The results supplement the theoretical aspects and systematize the data of cases of hydrogen energy development and highlight the spatial development of hydrogen energy infrastructure. This allows regions to diversify sources of GRP growth, integrate innovative solutions, and improve the efficiency of industry and the economy as a whole.

Keywords: hydrogen energy development, regional diversification of fuel and energy complex, spatial development of hydrogen energy, strategies of socio-economic development of regions

For citation: Savelyeva I.P., Kornienko E.L. Prospects for the use of hydrogen energy in Russian regions taking into account the sectoral specialization of their economies. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2024, vol. 18, no. 3, pp. 39–55. (In Russ.). DOI: 10.14529/em240303

Введение

Российская экономика исторически развивается в соответствии с экспортно-сырьевыми трендами, негативные последствия которых широко представлены в трудах российских ученых. Так, Пчелинцев О.С. (2001) уделяет внимание необходимости повышения устойчивого развития; Глазьев С.Ю. (2007) выделяет особенности сырьевой модели развития российской экономики, Полтерович В.М. (2009) акцентирует внимание на комплексе негативных эффектов «ресурсной зависимости». В то же время исследуются и конкурентные преимущества, анализируются направления повышения эффективности использования ресурсного потенциала страны, например, в работах Татаркина А.И. (2006), за счет формирования региональных стратегий, учета различий в ресурсной базе (труды Анимцы Е.Г. и др. (2015)), совершенствования экспортно-сырьевой модели развития экономики в публикациях Губина В.В. (2021).

Стремительное развитие технологий, нарастающее мировое энергопотребление (с 541 ЭДж в 2010 г. до 632 ЭДж в 2022 г. (IEA)), увеличение эмиссии углекислого газа (CO₂) (с 32 877 Mt в 2010 г. до 36 930 Mt в 2022 г. (IEA)) акцентируют внимание правительств развитых стран мира на необходимости структурной перестройки, прежде всего, энергетических отраслей экономики, развитию возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), важности перехода к водородной энергетике, что позволит в перспективе реализовать курс на декарбонизацию промышленности.

Усложняющиеся требования по соблюдению обязательств в мировой экономике, направленные

на сокращение выбросов CO₂, переход на устойчивые источники энергии, необходимы для пересмотра принципов промышленного развития, в том числе топливно-энергетического комплекса, что относится и к России. Адаптация к изменениям глобального спроса и ужесточение экологических стандартов, развитие альтернативных энергетических технологий, включая водородную энергетику, позволят сохранить конкурентоспособность в новой ситуации на мировом рынке.

Актуальность исследования условий развития водородной энергетики в РФ на региональном уровне обусловлена следующими обстоятельствами:

1) использование водорода как альтернативного экспортного продукта позволит реализовать новые возможности для диверсификации региональной экономики, сохранить статус участника мирового энергетического рынка в условиях сокращения использования нефтегазовых ресурсов;

2) обеспечить повышение экономической и экологической эффективности в промышленности: металлургии – декарбонизация производства стали; нефтехимической промышленности – упрощение переработки углеводородов и улучшение экологических характеристик продукции; энергетике – обеспечение отдаленных территорий или энергодефицитных субъектов РФ с помощью объектов малой генерации (на основе водорода); транспортном секторе – альтернативное топливо в двигателях внутреннего сгорания и т. д.

Целью исследования является определение условий развития водородной энергетики в регионах России с учетом природно-географического

положения, отраслевой специализации экономики и экспортных возможностей. Объектом исследования является экономика субъектов РФ.

Задачи исследования:

– провести анализ производства водорода и эффективности использования различных его видов в разрезе отраслей экономики; проанализировать зарубежный опыт размещения и типы производства водорода, особенности использования в различных отраслях экономики;

– определить условия локализации водорода в регионах РФ с учетом природно-географических и экспортных возможностей, специфики отраслевой специализации.

Методы исследования – систематизация, анализ и компаративистика аналитических данных зарубежных и отечественных исследований, прикладного опыта в развитии водородной энергетики.

Гипотеза исследования заключается в том, что неоднородность объективных условий развития водородной энергетики в субъектах РФ определяет разный потенциал и стартовые преимущества, а именно: локализация добывающей промышленности, сильная промышленная база и высокие показатели энергодостаточности являются катализаторами для внедрения водородных технологий.

Теория и методы

Научная дискуссия относительно содержания, направлений и перспектив развития водородной энергетики в регионах затрагивает и экономику в целом, и энергетическую отрасль, стратегию и текущие политические процессы (Мастепанов А.М. (2020), Новак А.В. (2021) и др.). На глобальном рынке перспективные направления развития представлены в деятельности и документах международных организаций (Международного энергетического агентства (IEA), Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA)), которые уделяют повышенное внимание проблемам сокращения выбросов углекислого газа¹, поиску альтернативных решений в развитии экологически чистых источников энергии, процессам декарбонизации промышленного и транспортного секторов. Тренд на развитие водородной энергетики представлен внедрением национальных водородных стратегий ведущими индустриальными странами мира, такими как Япония (2017 г.)², Республика Корея (2019 г.)³, Австралия (2019 г.)⁴, США (2021 г.)⁵, Россия (2021 г.)⁶ и др.

¹ IEA World Energy Outlook 2023. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-sets> (дата обращения: 23.05.2024)

² Japan's Hydrogen Industrial Strategy (October 21, 2021). URL: <https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy> (дата обращения: 23.05.2024)

³ Korea Hydrogen Economy Roadmap 2040. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/policies/>

И российские, и зарубежные исследователи акцентируют внимание на ключевых проблемах водорода как нового источника энергии и фактора роста ВВП, а именно:

– использование водорода в отраслях промышленности, особенности нормирования затрат, применение разных технологий для производства – Nyangon J., Darekar A. (2024), интеграция в общую систему возобновляемых источников энергии – Brandon N.P. & Kurban Z. (2017), перспективы роста спроса на водород в энергоемких отраслях промышленности (например, Германии – Neuwirth M. et al. (2022)), и др.;

– развитие водородной инфраструктуры в территориальном аспекте – Okunlola A. et al. (2022), в том числе в рамках интеграций – Neumann F. et al. (2023); пространственное моделирование развития водородной энергетики в системе ВИЭ – Котов А.В. (2021), Демидионов М.Ю. (2023) и др.;

– технико-экономическое обоснование экспорта водорода – Okunlola A. et al. (2022); оценка конкурентоспособности экспорта водорода для повышения устойчивости экономики – Hjejij D. et al. (2023) и др.; применительно к экономике России – Холкин Д., Чаусов И. (2021), Веселов Ф., Соляник А. (2022); Вечкинзова Е.А. (2022) и др.;

– стратегическое планирование развития водородной энергетики в разрезе отраслей экономики, в инфраструктурном секторе – Prest. J. et al. (2021), Serna, S. et al. (2022) и Cheng W. et al. (2022) и др.; в России анализируется в контексте развития металлургии – Седнин В.А. (2022), Галингер, А.А. (2023) и др.; в сфере транспорта: особые акценты на водородных топливных элементах

6566-korea-hydrogen-economy-roadmap-2040 (дата обращения: 20.07.2024)

⁴ AUSTRALIA'S NATIONAL HYDROGEN STRATEGY. COAG Energy Council Hydrogen Working Group (2019). URL: <https://policy.asiapacific-energy.org/sites/default/files/Australia%E2%80%99s%20National%20Hydrogen%20Strategy.pdf> (дата обращения: 21.06.2024)

⁵ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap // U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2021. URL: <https://www.hydrogen.energy.gov/library/roadmaps-vision/clean-hydrogen-strategy-roadmap> (дата обращения: 23.05.2024)

⁶ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения: 21.06.2024), План мероприятий по развитию водородной энергетики. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/19194> (дата обращения: 21.06.2024); Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 № 2162-п <Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_392518/ (дата обращения: 21.06.2024)

на водном транспорте – Розов И.В., Титов С.В. (2023), транспортных средствах – Корнилов С.В. и др. (2022), железнодорожном транспорте – Лапидус Б.М. (2019).

Наиболее актуальным в условиях неоднородности экономики РФ является анализ специфики применения водорода с учетом отраслевой специализации регионов, среди наиболее перспективных территориальных направлений можно выделить:

1) регионы с преобладающей долей обрабатывающей промышленности в структуре ВРП (внутренний рынок РФ):

– повышение энергодостаточности субъектов РФ на основе применения водорода для локального, резервного и аварийного энергоснабжения (объекты малой генерации энергетики);

– технологическое использование водорода в нефтехимической (гидродесульфурация и гидрокрекинг) и металлургической промышленности (производство железа прямого восстановления);

– наращивание использования водорода при эксплуатации автомобильного, железнодорожного, водного, морского, авиационного и космического транспорта и т. д., масштабное потребление которого в России ожидается после 2030 года;

2) субъекты РФ с преобладающей долей добывающей промышленности (внешний рынок РФ):

– развитие производства водорода и вхождение Российской Федерации в число мировых лидеров по его производству и экспорту (с 0,2 млн тонн в 2024 году до 2,0 млн тонн к 2035 году)⁷.

Контент-анализ подходов и особенностей сложившейся практики производства и использования водорода в зарубежных и отечественных публикациях проведен в следующей последовательности.

На первом этапе проанализирован мировой опыт в области производства и использования водорода в различных отраслях экономики.

На втором этапе проведена аналитика и систематизированы практические аспекты реализации водородных проектов в субъектах Российской Федерации с учетом природно-географического положения, отраслевой специализации экономики и экспортных возможностей.

Результаты

Общая информация о ситуации востребованности водорода и как энергоресурса, и как технологического компонента промышленного производства (рис. 1), а также себестоимость его производства представлена в отчетах IEA⁸ (табл. 1).

⁷ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения: 21.06.2024)

⁸ International Energy Agency. Reports. – URL: <https://www.iea.org/analysis?type=report> (22.05.2024)

Исследования условий применения и развития водородной энергетики позволяют сделать выводы относительно размещения производства водорода, влияния основных факторов на себестоимость, акцентируют внимание на:

а) доступности ресурсов и инфраструктурной обеспеченности для производства, транспортировки, потребления, хранения и сервисного обслуживания технологий и результатов применения водородных технологий – Neuwirth M. et al. (2022), Neumann F. et al. (2023));

б) природно-климатических условиях Дегтярев К.С. (2021) и Котов А.В. (2021);

в) уровне энергодостаточности территории для производства водорода – Yunze Hui et al. (2024);

г) степени развития науки и технологий в стране – Hjej D. et al. (2023).

При оценке эффективности производства и использования водорода в экономике применяются следующие универсальные показатели:

1) уровень выброса углекислого газа (CO₂), который считается основной мерой эффективности при производстве водорода, оказывает значительное влияние на общую «углеродную» оценку и устойчивость технологий водородного производства;

2) стоимость производства водорода (долл. США за кг H₂), которая зависит от источников сырья, а также от энергодостаточности территории, где размещено производство;

3) коэффициент полезного действия (КПД), в процентах (представляет собой отношение полезной работы или энергии, полученной от системы, к энергии, затраченной на её работу);

4) эксергетическая эффективность, в процентах (показывает, насколько эффективно система использует доступный потенциал энергии для выполнения полезной работы).

В табл. 1 систематизированы данные способа и стоимости производства, КПД и эксергетической эффективности, что показывает преимущества и сопряженные ограничения каждого из вариантов производства.

В целях анализа российских регионов и пространственных особенностей локализации размещения водородной энергетики авторами проведена систематизация географии его производства с учетом отраслевого разреза промышленности (на примере КНР, Канады, ЕС).

Китай демонстрирует лидерство в развитии ВЭ⁹, более 300 предприятий отрасли представляют

⁹ Brown A., Grünberg N. CHINA'S NASCENT GREEN HYDROGEN SECTOR: How policy, research and business are forging a new industry. MERICS. URL: <https://merics.org/en/report/chinas-nascent-green-hydrogen-sector-how-policy-research-and-business-are-forging-new> (дата обращения: 19.06.2024)

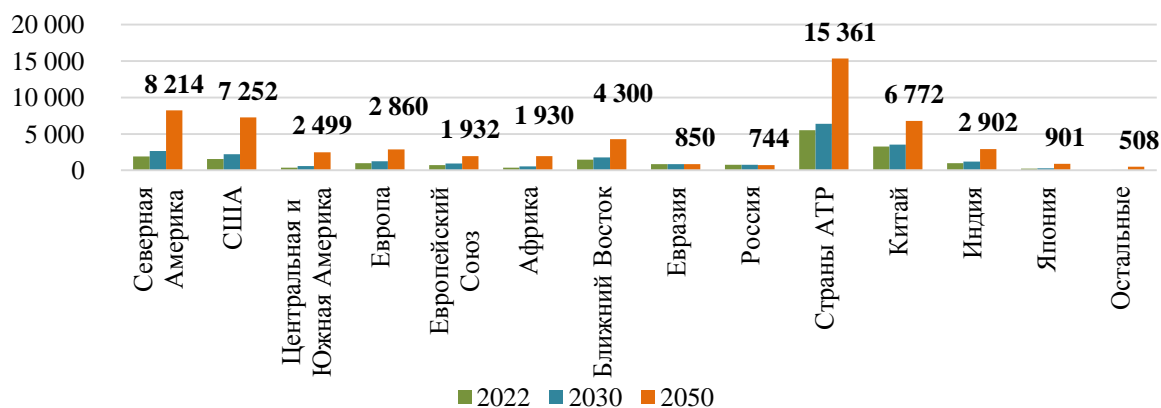


Рис. 1. Общая потребность в водороде (ПДж) (IEA)

IEA World Energy Outlook 2023. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-sets> (дата обращения: 21.06.2024)

Особенности производства H₂ и его эффективность

Таблица 1

| Цвет водорода | Способ производства | г CO ₂ / моль H ₂ | Стоимость производства H ₂ , в долл. США за кг (2020–2025) / (2030–2050) | КПД, в % | Эксергетическая эффективность, в % |
|------------------------|---|---|---|----------|------------------------------------|
| Зеленый | Электролиз воды с ВИЭ* | 0 | 10,0–12,0 / 3,0–5,6 | 20–60 | 15–40 |
| Голубой (серый) | Природный газ с улавливанием CO ₂ или без (паровая конверсия метана) | 7,9 | 0,7–2,1 / 0,7–1,5 | 50–80 | 60–80 |
| Бирюзовый | Пиролиз метана | н/д | 1,0–3,0 / 1,6 | 60–70 | 60–70 |
| Розовый | Электролиз воды с атомной энергией | н/д | н/д / 2,3 | до 85 | до 80 |
| Коричневый | Газификация угля | 22 | 1,9–2,6 / – | 60–80 | до 60 |

Составлено авторами на основе использования отчетов IEA; Аминова А.Д. и др. (2022); Nyangon J., Darekar A. (2024); Yunze Hui et al. (2024) и др.

* ВИЭ (возобновляемые источники энергии: ГЭС – гидроэлектростанция, СЭС – солнечная электростанция, ВЭС – ветряная электростанция; ПЭС – приливная электростанция, биогаз/биомасса)

полный цикл – от исследований и разработок до производства, хранения и транспортировки водорода с концентрацией в экономически развитых районах (дельта реки Янцзы и район Большого залива Гуандун-Гонконг-Макао, регион Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй) на основе гидроэнергетики, ВИЭ и биомассы – Yunze Hui et al. (2024). Основными отраслями использования являются: нефтехимия (CNPC, Sinopec, CNOOC); металлургия (Hegang Group, Ansteel, Baowu); аэрокосмическая (CZ-5); транспортная (SAIC Motor Corporation, BYD Auto, Foton Motor и др.).

Канада обладает сильным конкурентным преимуществом в производстве водорода с использованием технологий улавливания и хранения углерода (CCS), а также обладает значительными запасами природного газа, ресурсами гидроэнергетики,

ветра и солнечной энергии. Является страной с самой низкой стоимостью производства электроэнергии в мире и может производить все виды водорода. Канада использует свою развитую инфраструктуру трубопроводов, а также развитые технологии ВИЭ практически во всех своих провинциях¹⁰ – Okunlola A. et al. (2022). Водород используется в нефтехимии (Suncor Energy, Imperial Oil и др.); металлургии (ArcelorMittal Dofasco, Hatch Ltd., Green Steel Canada, SSAB и др.); транспорте (Hydro-Québec, Cummins Inc., CNR и др.).

¹⁰ HYDROGEN STRATEGY FOR CANADA. URL: <https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen> (дата обращения: 19.06.2024)

В 2020 г. Европейский Союз представил стратегический план по продвижению водородной экономики (*European Hydrogen Backbone*¹¹), основной акцент – развитие водородной инфраструктуры, которая должна соединить страны ЕС и создать интегрированную сеть для транспортировки водорода, полученного из разных источников (преимущественно ВИЭ). Предусмотрено использование развитой инфраструктуры трубопроводов, основными отраслями использования водорода являются: нефтехимия (Shell, BP и др.); металлургия (Thyssenkrupp, SSAB, Salzgitter AG, ArcelorMittal и др.); аэрокосмическая (ESA, Lufthansa, Air Liquide и др.); транспорт: Mercedes-Benz, Alstom, Renault, H2 Energy и др.).

Анализ зарубежных публикаций позволил выделить не случайность локализации производства, наличие территориально-географических, природно-ресурсных особенностей, специфическую «привязку» к основным отраслевым специализациям индустрии территорий в рамках конкретных стран. Данный вывод авторы применили к ситуации российских регионов и анализу пространственного развития водородной энергетики.

Второй этап исследования посвящен оценке практических кейсов развития водородной энергетики в субъектах РФ с акцентом на отраслевые специализации. Следует отметить, что водородная энергетика относится к одному из приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации¹². Курс на развитие водородной энергетики закреплён в «Энергетической стратегии Российской Федерации»¹³, в Плане мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»¹⁴, а также в Концепции развития водородной энергетики¹⁵, где определены цели, задачи, стратегические инициативы, ключевые меры по развитию водородной энергетики в РФ на перспективу (до 2050 г.).

¹¹ European Hydrogen Backbone. URL: <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-Implementation-Roadmap-Part-1.pdf> (дата обращения: 19.06.2024)

¹² Указ Президента РФ от 18 июня 2024 года № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755> (дата обращения: 20.07.2024)

¹³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения: 21.06.2024)

¹⁴ Правительство Российской Федерации утвердило План мероприятий по развитию водородной энергетики. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/19194> (дата обращения: 21.06.2024)

¹⁵ Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 № 2162-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_392518/ (дата обращения: 21.06.2024)

Россия располагает важными конкурентными преимуществами для развития водородной энергетики, которые включают значительную ресурсную базу и энергетический потенциал, недозагруженные генерирующие мощности, географическую близость к потенциальным потребителям водорода (страны АТР (рис. 1)), общеизвестны научные достижения в области его производства и хранения. Кроме того, развитая транспортная инфраструктура РФ является катализатором для развития и эффективной реализации водородных проектов.

Как известно, для производства водорода используются разные способы, необходимы специфические условия, и сам водород имеет качественные отличия, например, для производства «зеленого» водорода как наиболее перспективного метода производства (методом электролиза) необходимо достаточное производство электроэнергии на основе ВИЭ. Фактическая установленная мощность электрических станций, структура генерирующих мощностей, а также фактический объем производства электрической энергии электростанциями в России по состоянию на 01.01.2023 г. представлены на рис. 2.

На основании данных рис. 2 видно, что в России основным источником электроэнергии остаются ТЭС, что не является экологически чистым производством электроэнергии (угольные электростанции в расчете на 1 кг условного топлива дают в 2 раза больше выбросов CO₂ по сравнению с газовыми)¹⁶. По данным АО «Системный оператор ЕЭС» (по состоянию на 01.01.2022), только 21 субъект РФ относится к энергодостаточным регионам (производство электроэнергии больше потребления электроэнергии)¹⁷, что важно для понимания отраслевой специфики его производства, анализа возможностей развития ВЭ в контексте значительной дифференциации в инновационном, научно-технологическом развитии регионов.

Авторами систематизированы региональные условия развития водородной энергетики (табл. 2–4), при этом представлены разные ракурсы состояния проблемы: достаточно «продвинутые регионы» (регионы-лидеры) как бенчмарки для экономического пространства РФ, субъекты РФ с потенциалом развития, в частности с позиции энергетической инфраструктуры, и регионы в стадии единичных кейсов, реализуемых или планируемых в инициативном порядке. При этом с учетом доступности данных в рамках каждого ракурса

¹⁶ Экология, энергетика, энергосбережение: бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. М.: ПАО «Мосэнерго», 2022. URL: <https://mos-energo.gazprom.ru/d/textpage/45/837/03-uglekislyj-gaz.pdf> (дата обращения: 19.07.2024)

¹⁷ Энергодостаточность регионов в 2021 году. АО «Системный оператор ЕЭС». URL: <https://riarating.ru/regions/20220315/630218945.html> (дата обращения: 21.06.2024)

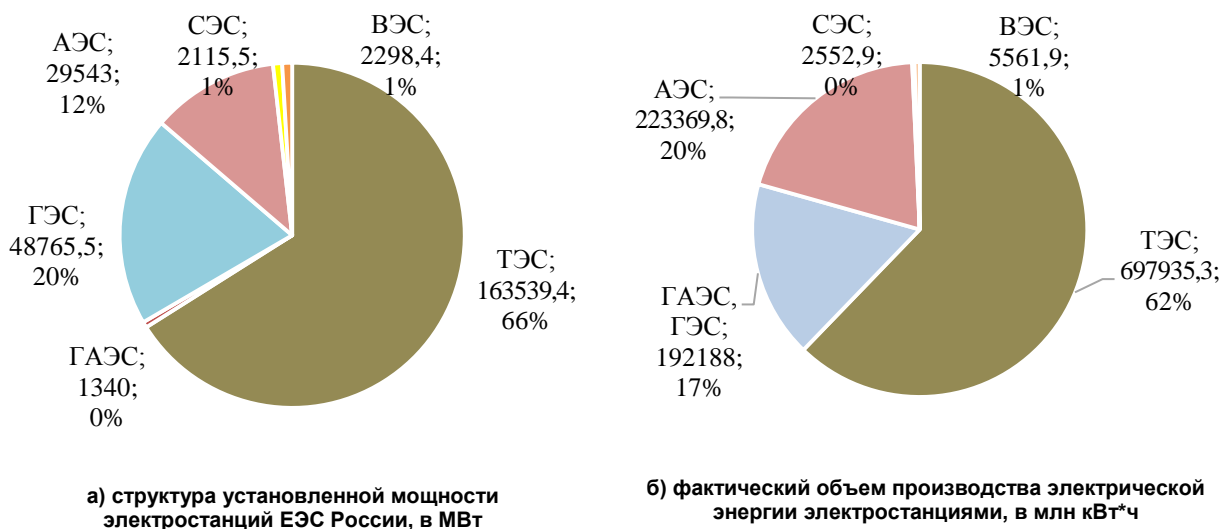


Рис. 2. Мощность, структура электрических станций и фактический объем производства электроэнергии в России по состоянию на 01.01.2023 г.

Составлено авторами на основе данных АО «Системный оператор ЕЭС». URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/public_discussion/2023/final/00_public_sipr_ups_2023-28_fin.pdf (дата обращения 20.07.2024)

исследования проведено разграничение субъектов РФ в отраслевом разрезе промышленности (добывающая/обрабатывающая) и концентрации отраслевой структуры (моно- и диверсифицированная промышленность).

Распределение субъектов РФ по категориям проведено с учетом структуры ВРП (2021 г.): моноспециализированные регионы, для которых характерно доминирование одной отрасли (более 20 % от ВРП), таких как «Добывающая промышленность» и «Обрабатывающая промышленность»; субъекты с более сбалансированным распределением между добывающим и обрабатывающим секторами, где доля одного из них превышает 20 %, а другого – более 15 % от ВРП. К диверсифицированным регионам отнесены те, в которых ни «Добывающая промышленность», ни «Обрабатывающая промышленность» не преобладают, и все сектора экономики представлены в примерно равных долях с долей ключевых секторов около 15 % от ВРП.

Группа 1. «ЛИДЕРЫ», представляющие собой регионы с наиболее значительными проектами в области низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака, базой для анализа явилась информация Атласа проектов Минпромторга России (табл. 2).

Оценка производства водорода в группе «ЛИДЕРЫ» подтверждает преимущества регионов: они энергодостаточны и способны эффективно использовать свои ресурсные возможности (уголь, природный газ), характеризуются инфраструктурной обеспеченностью (атомная энергетика) и обладают благоприятными природно-

климатическими (ВИЭ) условиями для производства водорода. Субъекты РФ (Ленинградская обл., Мурманская обл., Саратовская обл., Архангельская обл. и др.) обладают необходимыми условиями не только для генерации водорода, но и для его дальнейшего применения в обрабатывающей промышленности, что способствует развитию внутреннего рынка водорода в РФ. К тому же потенциал наращивания экспорта водорода в рамках добывающей промышленности и других секторов экономики открывает дополнительные возможности для экономического роста на основе развития экспорта таких приграничных субъектов РФ, как: Сахалинская обл., Ямало-Ненецкий АО, Магаданская обл., Амурская обл., Хабаровский кр., Камчатский кр. и др. Таким образом, каждый регион, включенный в группу «ЛИДЕРЫ», при условии эффективного использования потенциала может стать центром водородной энергетики в России.

Группа 2. Субъекты РФ с инфраструктурными перспективами – «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ» территории с развитой энергетической системой согласно данным АО «Системный оператор ЕЭС», к которым относятся энергодостаточные регионы (табл. 3).

«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ», отличаются развитой инфраструктурой для производства водорода на основе ВИЭ (преимущественно ГЭС и СЭС) и наличием атомной энергетики. При этом отдельные субъекты РФ (Ханты-Мансийский АО – Югра и Кемеровская обл.) обладают значительными ресурсными преимуществами, связанными с добывающей промышленностью, что также способствует к наращиванию их потенциала в производстве

Оценка потенциалов производства водорода в группе субъектов РФ Группа 1. «ЛИДЕРЫ» (фрагмент)**

| Субъект РФ | Энергодостаточность | Ресурс для производства водорода | | | | | Н ₂ в стратегии субъекта РФ |
|---|---------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| | | Уголь (Коричневый Н ₂) | Природный газ (Голубой Н ₂) | Метан (Бирюзовый Н ₂) | Атомная энергия (Розовый Н ₂) | ВИЭ (Зеленый Н ₂) | |
| «Добывающая промышленность» | | | | | | | |
| Сахалинская обл. | > 100 | | + | + | | ВЭС | + |
| Ямало-Ненецкий АО | > 100 | | + | + | | ВЭС | |
| Магаданская обл. | > 100 | | | | | ГЭС | + |
| Респ. Коми | > 100 | | | + | | | + |
| Иркутская обл. | > 100 | | | | | ГЭС | |
| Респ. Саха (Якутия) | > 100 | | | | | | |
| «Обрабатывающая промышленность» | | | | | | | |
| Ленинградская обл. | > 100 | | | + | * | ГЭС, ВЭС | |
| Мурманская обл. | > 100 | | | | + | ГЭС, ВЭС | |
| Саратовская обл. | > 100 | | | + | * | СЭС | |
| Архангельская обл. | 50–100 | | | | | | |
| «Добывающая / Обрабатывающая промышленность» | | | | | | | |
| Красноярский кр. | > 100 | * | | | | ГЭС | |
| Респ. Карелия | 50–100 | | | | | ГЭС | |
| Респ. Татарстан | 50–100 | | | | | ГЭС | |
| «Диверсифицированные» | | | | | | | |
| Амурская обл. | > 100 | | | + | | ГЭС | |
| Хабаровский кр. | 50–100 | | | + | | ПЭС | + |
| Московская обл. | 50–100 | | | | | ГЭС | |
| Респ. Крым | 50–100 | | | | | ВЭС | + |
| Камчатский кр. | н/д | | | | | ПЭС | + |
| Калининградская обл. | > 100 | | | | | ГЭС | |
| Забайкальский кр. | 50–100 | | | | | СЭС | |
| Краснодарский кр. | <50 | | | | | СЭС | |

Примечание к таблице: Минпромторг России. Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака (15.10.2021). URL: <https://minpromtorg.gov.ru/storage/797ced43-043d-4b4e-b72b-3d36984adb7/documents/663f0df0-8439-4152-a8ea-2c4d0d36ffe4/008cee19-8ce0-4107-9013-74288ef21298.pdf> (дата обращения: 20.07.2024)

* – в субъекте РФ есть необходимая инфраструктура для производства водорода, но производство данного вида водорода не включено в Атлас Минпромторга России;

+ – проект включен в Атлас Минпромторга России и/или проект включен в стратегию социально-экономического развития субъекта РФ или инициирован отдельными предприятиями региона.

** Составлено авторами на основе данных:

Энергодостаточность регионов в 2021 году. АО «Системный оператор ЕЭС». URL: <https://titarating.ru/regions/20220315/630218945.html> (дата обращения: 21.06.2024);

Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205> (дата обращения: 21.06.2024)

Таблица 3
Оценка потенциалов производства водорода в группе субъектов РФ Группа 2. «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ» (фрагмент)**

| Субъект РФ | Энергодостаточность | Ресурс для производства водорода | | | | | Н ₂ в стратегии субъекта РФ |
|---|---------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| | | Уголь (Коричневый Н ₂) | Природный газ (Голубой Н ₂) | Метан (Бирюзовый Н ₂) | Атомная энергия (Розовый Н ₂) | ВИЭ (Зеленый Н ₂) | |
| «Добывающая промышленность» | | | | | | | |
| Ханты-Мансийский АО – Югра | > 100 | | * | | | | + |
| Астраханская обл. | 50–100 | | | | | ВЭС, СЭС | |
| Оренбургская обл. | 50–100 | | | | | ГЭС, СЭС | |
| Курская обл. | > 100 | | | | * | | |
| Чукотский АО | н/д | | | | * | | |
| Кемеровская обл. | 50–100 | * | | | | | + |
| «Обрабатывающая промышленность» | | | | | | | |
| Респ. Башкортостан | > 100 | | | | | ГЭС, СЭС | |
| Тверская обл. | > 100 | | | | * | | |
| Свердловская обл. | > 100 | | | | * | | |
| «Добывающая / Обрабатывающая промышленность» | | | | | | | |
| Тюменская обл. без АО | > 100 | | * | | | | |
| «Диверсифицированные» | | | | | | | |
| Ростовская обл. | > 100 | | | | * | ВЭС | + |
| Ставропольский кр. | > 100 | | | | | ГЭС, ВЭС, СЭС | |
| Воронежская обл. | > 100 | | | | * | | |
| Смоленская обл. | > 100 | | | | * | | |
| Респ. Бурятия | 50–100 | | | | | СЭС | |
| Кабардино-Балкарская Респ. | <50 | | | | | ГЭС | |
| Респ. Северная Осетия-Алания | <50 | | | | | ГЭС | |
| Карачаево-Черкесская Респ. | <50 | | | | | ГЭС | |
| Респ. Алтай | н/д | | | | | СЭС | |

Примечание к таблице:

* – в субъекте РФ есть необходимая инфраструктура для производства водорода;

+ – проект включен в стратегию социально-экономического развития субъекта РФ или инициирован отдельными предприятиями региона.

** Составлено авторами на основе данных:

Энергодостаточность регионов в 2021 году. АО «Системный оператор ЕЭС». URL: <https://tiarating.ru/regions/20220315/630218945.html> (дата обращения: 21.06.2024);

Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205> (дата обращения: 21.06.2024)

водорода. В эту группу входят регионы, обладающие диверсифицированной структурой ВРП и инфраструктурой для производства водорода (Ростовская обл., Ставропольский кр., Воронежская и Смоленская обл.). Однако для эффективного развития необходимы значительные инвестиции в модернизацию технологий и создание логистических цепочек для транспортировки и хранения водорода, что требует активных решений со стороны органов власти.

Группа 3. «ИНИЦИАТИВНЫЕ», где отсутствует необходимая инфраструктура для производства водорода, однако развитие водородной энергетики представлено инициативно отдельными

предприятиями региона, помимо этого такое направление включено в стратегию социально-экономического развития субъекта до 2030–2035 гг. (табл. 4).

Последняя группа анализируемых субъектов РФ («ИНИЦИАТИВНЫЕ») демонстрирует активность в формировании стратегических направлений развития ВЭ, несмотря на отсутствие достаточных энергетических ресурсов. При этом наличие развитой инфраструктуры ВИЭ в отдельных регионах создает предпосылки для реализации заявленных инициатив, конечными целями которых являются как технологическое развитие, так и решение проблем энергетической безопасности.

Таблица 4
Оценка потенциалов производства водорода в группе субъектов РФ Группа 3. «ИНИЦИАТИВНЫЕ»
(фрагмент)**

| Субъект РФ | Энергодостаточность | Ресурс для производства водорода | | | | | Н ₂ в стратегии субъекта РФ |
|--|---------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|---|-------------------------------|--|
| | | Уголь (Коричневый Н ₂) | Природный газ (Голубой Н ₂) | Метан (Бирюзовый Н ₂) | Атомная энергия (Розовый Н ₂) | ВИЭ (Зеленый Н ₂) | |
| «Добывающая промышленность» | | | | | | | |
| Томская обл. | <50 | | | | | | + |
| «Обрабатывающая промышленность» | | | | | | | |
| Ульяновская обл. | <50 | | | | * | | + |
| Нижегородская обл. | 50–100 | | | | | | + |
| Омская область | 50–100 | | | | | | + |
| Липецкая обл. | <50 | | | | | | + |
| Челябинская обл. | 50–100 | | | | | | |
| «Диверсифицированные» | | | | | | | |
| Волгоградская обл. | 50–100 | | | | | ГЭС, ВЭС, СЭС | + |
| Респ. Калмыкия | 50–100 | | | | | ГЭС, ВЭС, СЭС | + |
| Респ. Дагестан | 50–100 | | | | | ГЭС, СЭС | + |
| Респ. Адыгея | <50 | | | | | СЭС | |

Примечание к таблице:

* – в субъекте РФ есть необходимая инфраструктура для производства водорода;

+ – проект включен в стратегию социально-экономического развития субъекта РФ или инициирован отдельными предприятиями региона.

** Составлено авторами на основе данных:

Энергодостаточность регионов в 2021 году. АО «Системный оператор ЕЭС». URL: <https://iarating.ru/regions/20220315/630218945.html> (дата обращения: 21.06.2024);

Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205> (дата обращения: 21.06.2024)

Подобное распределение позволяет детально оценить концентрацию потенциала производства и потребления водорода в субъектах РФ. На основании данных табл. 2–4 очевидно, что потенциал в эффективном производстве и использовании водорода проявляется у энергодостаточных регионов («ЛИДЕРЫ» и «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ»), у которых в структуре ВРП доминирует добывающая промышленность. В то же время большинство субъектов РФ демонстрируют эффективность на основании гидроэнергетики (ГЭС), развитой в данном регионе, что также может быть дополнительным стимулом для диверсификации энергетики в субъекте РФ с развитием ВЭ и передачи излишних мощностей соседним регионам, нуждающимся в дополнительных источниках энергии. Для субъектов РФ, где энергодостаточность менее 100 процентов, но есть необходимая инфраструктура, внедрение водородных технологий позволит стабилизировать энергетические балансы, решить проблемы с дефицитом электроснабжения для отдаленных территорий, а также раскроет возможность для декарбонизации «тяжелого» промышленного сектора для регионов с преобладанием обрабатывающей промышленности в структуре ВРП.

Визуализация по группам «ЛИДЕРЫ», «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ» и «ИНИЦИАТИВНЫЕ» представлена на рис. 3. При этом передовыми субъектами РФ по количеству пилотных проектов, включенных в «Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака» (Группа «ЛИДЕРЫ») ¹⁸ являются (общее количество проектов): Мурманская обл. (6); Сахалинская обл. (5); Ямало-Ненецкий АО (4); Иркутская обл. (4); Забайкальский кр. (3); Ленинградская обл. (3) и др. К сожалению, реализация некоторых проектов, расположенных в северо-западной части России, немного усложнилась после 2022 года, но при этом окончательно не снята с повестки их реализации, так как большая их часть предусматривает производство и сбыт водорода на внутреннем рынке (рис. 3).

Одновременно развитие глобальных проектов ВЭ и ВИЭ требует значительных инвестиций и возможно лишь при совместном участии федеральных органов управления, Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», АО «РОСНАНО» и крупнейших компаний ТЭК России.

Отдельно следует отметить, что инноваторами по количеству организаций, включенных в Ка-

талог научно-исследовательских проектов, оборудования и комплектующих в государствах-членах ЕАЭС в сфере ВЭ ¹⁹ являются субъекты РФ, обладающие высоким инновационным и инвестиционным потенциалом (общее количество организаций): г. Москва (36), г. Санкт-Петербург (18), Московская обл. (12), Нижегородская обл. (6), Новосибирская обл. (5), Респ. Татарстан (5), Свердловская обл. (5) и др.

В табл. 5 представлена краткая информация о предполагаемых проектах по развитию ВЭ в субъектах РФ («ЛИДЕРЫ»), включенных в перечень Минпромторга России, а также об основных компаниях-участниках в разрезе их основных отраслей специализации.

Следует отметить, что около 20 субъектов РФ в стратегиях социально-экономического развития субъекта включили проекты по развитию водородной энергетики на своих территориях, например: Ханты-Мансийский АО – Югра («Стратегия 2050 – водородная энергетика»); Кемеровская обл. («ПК «Водородная энергетика»); Омская обл. («Электроавтомобиль и водородный автомобиль»); Томская обл. («Создание кластера альтернативной энергетики, включая ВЭ»); Сахалинская обл. («Водородный кластер», «Сахалинская научная школа водородных технологий»); Магаданская обл. «Завод по производству водорода»; Камчатский кр., Хабаровский кр., Амурская обл. («Водородный кластер»); Нижегородская обл. («Институт водородной энергетики»); Пермский кр. («Производство водородных и газомоторных топливных элементов»); Респ. Марий Эл («Производство водорода»); Респ. Дагестан и Ростовская обл. («Создание отрасли водородной энергетики»); Липецкая обл. («Производство зеленой стали») и др.

Выводы

Перспективам и проблемам развития водородной энергетики в отечественных и зарубежных исследованиях уделяется значительное внимание. Вместе с тем, как показал анализ, зарубежные ученые считают, что ускоренное развитие данного сектора энергетики зависит от: природно-географических условий, возможности развития ВИЭ, наличия доминирующих отраслей специализации экономики, которые формируют экономический ландшафт, а также приверженности к экономике, ориентированной на производство без выбросов CO₂, что создает стимулы для привлечения инвестиций и внедрения технологических новшеств в сфере ВИЭ и ВЭ.

¹⁸ Минпромторг России. Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака (15.10.2021). URL: <https://minpromtorg.gov.ru/storage/797ced43-043d-4b4e-b72b-3d36984adb7/documents/663f0df0-8439-4152-a8ea-2c4d0d36ffe4/008cee19-8ce0-4107-9013-74288ef21298.pdf> (дата обращения: 20.07.2024)

¹⁹ Каталог научно-исследовательских проектов, оборудования и комплектующих в государствах-членах ЕАЭС в сфере водородной энергетики. Евразийская экономическая комиссия. URL: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/e15/hydrogen_catalog.pdf?ysclid=lyysbto3a8174453901 (дата обращения: 20.07.2024)



Рис. 3. Проекты, потенциалы и инициативы по развитию водородной энергетики в субъектах Российской Федерации

Составлено авторами на основании:

1. Атласа российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака. Минпромторг России.
2. Анализа энергодостаточности субъектов РФ и развитой энергетической системы на территории субъекта РФ (по данным АО «Системный оператор ЕЭС»). URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/>.
3. Анализа стратегий социально-экономического развития субъектов до 2030–2035 гг.

Таблица 5
Проекты по производству водорода в субъектах РФ («ЛИДЕРЫ») с учетом отраслевой специализации производства и применения водорода (фрагмент)

| Ресурс для производства водорода | Субъект РФ (реализация проекта) | Компании, производители и/или потребители H ₂ | Отрасль применения в субъекте РФ |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| ВИЭ | Магаданская обл. | ПАО «РусГидро» | Энергетика |
| | Иркутская обл. | АО «Росхим» (ранее – АО «Русский водород») | Химпром |
| | Московская обл. | ФКП «НИЦ РКП», АО «ЛГР», ООО «Русский водород», ООО «Грасис-Тех» | Аэрокосмическая Химпром, НИР, Машиностроение |
| | Респ. Карелия | En+ Group | Энергетика |
| | Респ. Крым | АО «Росхим» | Энергетика, Химпром |
| | Камчатский кр. | ООО «H ₂ Чистая Энергетика» | Химпром |
| | Калининградская обл. | Росатом, ООО «ИТР» (ранее – Группа Кронштадт) | Энергетика |
| | Архангельская обл. | АО «ПО СЕВМАШ» | Судостроение |
| | Респ. Татарстан | Госкорпорация «Росатом», АО «ОКБМ Африкантов» (г. Нижний Новгород) | Энергетика |
| Забайкальский кр. | ООО «Юнигрин Энерджи», АО «СКТБЭ» | Энергетика, НИР | |
| ВИЭ и атомная энергетика | Мурманская обл. | ООО «H ₂ Чистая Энергетика» ООО «Газпром энергохолдинг» ООО «Газпром Энергохолдинг Литейные Технологии» | Химпром, Энергетика, Металлургия |

Окончание табл. 5

| Ресурс для производства водорода | Субъект РФ (реализация проекта) | Компании, производители и/или потребители H ₂ | Отрасль применения в субъекте РФ |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|---|
| ВИЭ и уголь | Красноярский кр. | ПАО «Лукойл», АО «Норильскгазпром», ПАО «ГМК «Норильский никель», АО «РусАл», ПАО «РусГидро», АО «СУЭК», ООО «Северная Звезда» | Добывающая пром., Металлургия, Энергетика, Химпром |
| ВИЭ, природный газ и метан | Сахалинская обл. | Восточный водородный кластер Госкорпорация «Росатом», ПАО «РусГидро», ОАО «РЖД», ООО «Трансмашхолдинг», АО «Газпромнефть», ООО «Сахалинская энергия» | Энергетика, Машиностроение, Добывающая пром., Химпром |
| ВИЭ и метан | Ленинградская обл. | Агентство экономического развития Ленинградской области, АО «Роснано», ООО «ВЭС Свирица», ООО «Энел Грин Пауэр Рус», ПАО «Газпром», АО «РусГазДобыча», ООО «РусХимАльянс» | Энергетика Добывающая пром., Химпром |
| | Ямало-Ненецкий АО | ПАО «Новатэк», ОАО «Ямал СПГ», ПАО «Северсталь», ООО «АФК «Система», АО «Тяжмаш» | Добывающая пром., Химпром, Машиностроение, Металлургия |
| | Амурская обл. | ООО «Сибур» | Энергетика Химпром, |
| | Хабаровский кр. | АФК «Система», АО «Тяжмаш» | Химпром, Машиностроение |
| Метан | Саратовская обл. | СПК Горный, ОАО «Саратовский НПЗ» (ДП ОАО «НК «Роснефть») | Химпром |
| | Респ. Коми | Коми Центр развития предпринимательства, «Сосногорский газоперерабатывающий завод» «Газпром переработка» | Химпром |
| | Респ. Саха (Якутия) | ООО «СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ АЛЬЯНС», ПАО «ЯТЭК», АО «Сахатранснефтегаз», ООО «СПГ» | Добывающая пром., Энергетика, НИР |

В Российской Федерации наблюдается схожая динамика, однако пилотные проекты по внедрению водородных технологий преимущественно сосредоточены в субъектах РФ с высокой долей добывающей и/или обрабатывающей промышленности в структуре ВРП, а также обладающими территориальными преимуществами с развитыми инфраструктурными цепочками для наращивания экспортного потенциала и возможностью интеграции водорода в существующие производственные процессы.

На основании проведенного исследования были выделены общие и специфические условия для развития водородной энергетики в субъектах РФ.

Общими условиями для развития ВЭ в субъектах РФ являются:

– государственная политика и инициативы на уровне субъекта РФ, поддерживающие внедрение водородных технологий;

– энергоресурсы для производства водорода в избытке (достаточном количестве), а также инфраструктура для транспортировки и хранения;

– возможности для интеграции в существующие энергосистемы субъекта РФ, а также развитый внутренний рынок потребления водородной энергии;

– инвестиционная привлекательность и инновационная активность, создающая условия для разработки, обмена опытом и/или трансфера водородных технологий между субъектами РФ.

В качестве специфических условий, способствующих развитию ВЭ, выделены следующие:

– природно-ресурсный потенциал, а также благоприятные климатические условия для внедрения водородных технологий, основанных на ВИЭ;

– выгодные территориально-географические условия, близость к основным транспортным путям и внешним рынкам для экспорта водорода;
– отраслевая специализация промышленного

и добывающего сектора региона, в том числе сектора с высоким уровнем выбросов CO₂ и необходимостью к декарбонизации процессов добычи, производства и потребления и т. д.

Список литературы

1. Пчелинцев О.С. Регионы России: современное состояние и проблема перехода к устойчивому развитию // Проблемы прогнозирования. 2001. № 1. С. 102–115.
2. Глазьев С.Ю. О стратегии развития российской экономики // Россия и современный мир. 2007. № 3 (56). С. 103–123.
3. Полтерович В.М. Эффект «ресурсного проклятия» // Прямые инвестиции. 2009. № 1 (81). С. 17–19.
4. Татаркин А.И. Формирование конкурентных преимуществ регионов // Регион: Экономика и Социология. 2006. № 1. С. 141–154.
5. Анимациа Е.Г., Силин Я.П., Сбродова Н.В. Теории регионального и местного развития. Екатеринбург, 2015.
6. Губин В.В. Исследование ресурсообеспеченности в современной экономической литературе // Вестник гуманитарного университета. 2021. № 1 (32). С. 105–116.
7. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергетическая политика. 2020. № 12 (154). С. 54–65. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_12154_54
8. Новак А. Водород: энергия «чистого» будущего // Энергетическая политика. 2021. № 4 (158). С. 6–11. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_4158_6
9. Nyangon J., Darekar A. Advancements in hydrogen energy systems: A review of levelized costs, financial incentives and technological innovations // Innovation and Green Development. September 2024. Vol. 3, Issue 3. 100149. DOI: 10.1016/j.igd.2024.100149. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949753124000262>.
10. Brandon N. P., Kurban Z. Clean energy and the hydrogen economy // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2017. 375(2098). DOI: 10.1098/rsta.2016.0400.
11. The future potential hydrogen demand in energy-intensive industries: a site-specific approach applied to Germany / M. Neuwirth, T. Fleiter, P. Manz, R. Hofmann // Energy Conversion and Management. 2022. Vol. 252. 115052. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115052.
12. The potential role of a hydrogen network in Europe / F. Neumann, E. Zeyen, M. Victoria, T. Brown // Joule. 2023. Vol. 7(8). P. 1793–1817. DOI: 10.1016/j.joule.2023.06.016.
13. Котов А.В. Перспективы развития водородной экономики в регионах России // Труды II Гранберговской конференции: сборник докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти академика А.Г. Гранберга «Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность». Новосибирск: СО РАН, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2021. С. 271–283. DOI: 10.53954/9785604607893_271
14. Демидионов М.Ю. Пространственное моделирование потенциала развития альтернативной энергетики на примере острова Сахалин // Тихоокеанская география. 2023. № 4 (16). С. 82–92. DOI: 10.35735/26870509_2023_16_8.
15. Techno-economic assessment of low-carbon hydrogen export from Western Canada to Eastern Canada, the USA, the Asia-Pacific, and Europe / A. Okunlola, T. Giwa, G. Di Lullo et al. // International Journal of Hydrogen Energy. 1 February 2022. Vol. 47, Iss. 10. P. 6453–6477. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.12.025.
16. Hydrogen export competitiveness index for a sustainable hydrogen economy / D. Hjejj, Y. Bicer, M.B.S. Al-Sada, M. Koç // Energy Reports. 2023. Vol. 9. P. 5843–5856. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.05.024.
17. Холкин Д., Чаусов И. Три ловушки российской водородной стратегии // Энергетическая политика. 2021. № 3(157). С. 44–57. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_3157_44
18. Веселов Ф., Соляник А. Экономика производства водорода с учетом экспорта и российского рынка // Энергетическая политика: общественно-деловой научный журнал. 2022. № 4(170). С. 58–67. DOI: 10.21122/10.46920/2409-5516_2022_4170_58
19. Вечкинзова Е.А., Стеблякова Л.П., Сумарокова Е.В. Обзор мировых и российских тенденций развития водородной энергетики // Управление. 2022. Т. 10, № 4. С. 26–37. DOI: 10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-3
20. Prest J., Woodyatt J., Pettit J. Comparing the Hydrogen Strategies of the EU, Germany, and Australia // Legal and Policy Issues / The Hydrogen Economy. 2021. Vol. 19, issue 2.

21. Serna S., Gerres T., Cossent R. National hydrogen strategies in a global context: common design elements across country specific visions // Preprint. May 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.13276.05769
22. Cheng W., Lee S. How Green Are the National Hydrogen Strategies? // Sustainability. 2022. 14. DOI: 10.3390/su14031930
23. Розов И.В., Титов С.В. Возможности широкого применения водородных топливных элементов на водном транспорте // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. № 1. С. 113–119.
24. Перспективы развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе / С.В. Корнилов, Э.Р. Зверева, А.А. Федорова и др. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14, № 4 (56). С. 3–18.
25. Лapidус Б.М. Повышение энергоэффективности и перспективы использования водородных топливных элементов на железнодорожном транспорте // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2019. Т. 78, № 5. С. 274–283. DOI: 10.21780/2223-9731-2019-78-5-274-283.
26. Энерготехнологическая установка на базе нагревательной печи прокатного стана с опцией производства водорода / В.А. Седнин [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2022. Т. 65, № 2. С. 127–142. DOI: 10.21122/1029-7448-2022-65-2-127-142
27. Галингер А.А. Оценка условий внедрения водородных технологий в металлургии России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2023. Т. 21, № 4. С. 165–181. DOI: 10.47711/2076-3182-2023-4-165-181.
28. Дегтярев К.С. Географические основы возобновляемой энергетики // Окружающая среда и энергетика. 2021. № 3 (11). С. 25–42. DOI: 10.5281/zenodo.5547007
29. Comprehensive review of development and applications of hydrogen energy technologies in China for carbon neutrality: Technology advances and challenges / Y. Hui, M. Wang, S. Guo et al. // Energy Conversion and Management. 1 September 2024. Vol. 315. 118776. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118776.
30. Аминова А.Д., Казакова А.И., Мухтаров И.Р. На сколько зеленый голубой водород? / Вестник молодого ученого УГНТУ. Химическая и биотехнология. 2022. № 1. С. 61–77.

References

1. Pchelintsev O.S. Regions of Russia: current state and the problem of transition to sustainable development. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 2001, no. 1, pp. 102–115. (In Russ.)
2. Glazyev S.Yu. On the strategy for the development of the Russian economy. *Rossiia i sovremennyy mir* [Russia and the Modern World], 2007, no. 3 (56), pp. 103–123. (In Russ.)
3. Polterovich V.M. The effect of the “resource curse”. *Pryamyie investitsii* [Direct Investments], 2009, no. 1 (81), pp. 17–19. (In Russ.)
4. Tatarin A.I. Formation of competitive advantages of regions. *Region: Ekonomika i Sotsiologiya*. [Region: Economics and Sociology], 2006, no. 1, P. 141–154. (In Russ.)
5. Animitsa E.G., Silin Ya.P., Sbrodova N.V. *Teorii regional'nogo i mestnogo razvitiya* [Theories of regional and local development]. Ekaterinburg, 2015.
6. Gubin V.V. Study of resource availability in modern economic literature. *Vestnik gumanitarnogo universiteta* [Bulletin of the Humanitarian University], 2021, no. 1 (32), pp. 105–116. (In Russ.)
7. Mastepanov A.M. Hydrogen energy in Russia: status and. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2020, no. 12 (154), pp. 54–65. (In Russ.) DOI: 10.46920/2409-5516_2020_12154_54
8. Novak A. Hydrogen: Energy of the “Clean” Future. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2021, no. 4 (158), p. 6–11. (In Russ.) DOI: 10.46920/2409-5516_2021_4158_6.
9. Nyangon J., Darekar A. Advancements in hydrogen energy systems: A review of levelized costs, financial incentives and technological innovations. *Innovation and Green Development*. September 2024, vol. 3, iss. 3, 100149. DOI: 10.1016/j.igd.2024.100149. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949753124000262>.
10. Brandon N.P., Kurban Z. Clean energy and the hydrogen economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2017. 375(2098). DOI: 10.1098/rsta.2016.0400.
11. Neuwirth M., Fleiter T., Manz P., Hofmann R. The future potential hydrogen demand in energy-intensive industries: a site-specific approach applied to Germany. *Energy Conversion and Management*, 2022, vol. 252, 115052. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115052.
12. Neumann F., Zeyen E., Victoria M., Brown T. The potential role of a hydrogen network in Europe. *Joule*, 2023, vol. 7(8), pp. 1793–1817. DOI: 10.1016/j.joule.2023.06.016

13. Kotov A.V. Prospects for the Development of the Hydrogen Economy in the Regions of Russia. *Prostranstvennyy analiz sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: istoriya i sovremennost'* [Spatial analysis of socio-economic systems: history and modernity]. Novosibirsk, 2021. pp. 271–283. (In Russ.) DOI: 10.53954/9785604607893_271.
14. Demidionov M.Yu. Spatial modeling of the potential for alternative energy development using the example of Sakhalin Island. *Tikhookeanskaya geografiya* [Pacific Geography], 2023, no. 4 (16), pp. 82–92. (In Russ.) DOI: 10.35735/26870509_2023_16_8.
15. Okunlola A., Giwa T., Di Lullo G., Davis M., Gemechu E., Kumar A. Techno-economic assessment of low-carbon hydrogen export from Western Canada to Eastern Canada, the USA, the Asia-Pacific, and Europe. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1 February 2022, vol. 47, iss. 10, pp. 6453–6477. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.12.025.
16. Hjeij D., Bicer Y., Al-Sada M.B.S., Koç M. Hydrogen export competitiveness index for a sustainable hydrogen economy. *Energy Reports*, 2023, vol. 9, pp. 5843–5856. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.05.024.
17. Kholkin D., Chausov I. Three traps of the Russian hydrogen strategy. *Energeticheskaya politika* [Energy policy], 2021, no. 3 (157), pp. 44–57. (In Russ.) DOI: 10.46920/2409-5516_2021_3157_44.
18. Veselov F., Solyanik A. Economics of hydrogen production taking into account exports and the Russian market. *Energeticheskaya politika: obshchestvenno-delovoy nauchnyy zhurnal* [Energy Policy: Social and Business Scientific Journal], 2022, no. 4 (170), pp. 58–67. (In Russ.) DOI: 10.21122/10.46920/2409-5516_2022_4170_58.
19. Vechkinzova E.A., Steblyakova L.P., Sumarokova E.V. Review of world and Russian trends in the development of hydrogen energy. *Upravleniye* [Management], 2022, vol. 10, no. 4, pp. 26–37. (In Russ.) DOI: 10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-3.
20. Prest J., Woodyatt J., Pettit J. Comparing the Hydrogen Strategies of the EU, Germany, and Australia. *Legal and Policy Issues. The Hydrogen Economy*, 2021, vol. 19, iss. 2.
21. Serna S., Gerres T., Cossent R. National hydrogen strategies in a global context: common design elements across country specific visions. *Preprint*. May 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.13276.05769
22. Cheng W., Lee S. How Green Are the National Hydrogen Strategies? *Sustainability*, 2022. 14. DOI: 10.3390/su14031930
23. Rozov I.V., Titov S.V. Possibilities of Wide Application of Hydrogen Fuel Cells in Water Transport. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific Problems of Transport of Siberia and the Far East], 2023, no. 1, pp. 113–119. (In Russ.)
24. Kornilov S.V., Zvereva E.R., Fedorova A.A., Gumerov I.F., Fardeev L.I., Akhmetova I.G., Solovieva O.V. Prospects for the Development of Hydrogen Energy and the Market of Hydrogen Fuel Vehicles. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Power Engineering University], 2022, vol. 14, no. 4 (56), pp. 3–18. (In Russ.)
25. Lapidus B.M. Improving energy efficiency and prospects for using hydrogen fuel cells in railway transport. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Research Institute of Railway Transport], 2019, vol. 78, no. 5. pp. 274–283. (In Russ.) DOI: 10.21780/2223-9731-2019-78-5-274-283.
26. Sednin V.A. et al. Power engineering installation based on a heating furnace of a rolling mill with a hydrogen production option. *Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy i energ. ob'yedineniy SNG* [Power Engineering. News of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS], 2022, vol. 65, no. 2, pp. 127–142. (In Russ.) DOI: 10.21122/1029-7448-2022-65-2-127-142.
27. Galinger A.A. Assessment of the conditions for the implementation of hydrogen technologies in the metallurgy of Russia. *Nauchnyye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN* [Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences], 2023, vol. 21, no. 4, pp. 165–181. (In Russ.) DOI: 10.47711/2076-3182-2023-4-165-181.
28. Degtyarev K.S. Geographical foundations of renewable energy. *Okruzhayushchaya sreda i energovedeniye* [Environment and Energy Science], 2021, no. 3 (11), pp. 25–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.5547007>.
29. Hui Y., Wang M., Guo S., Akhtar S., Bhattacharya S., Dai B., Yu J. Comprehensive review of development and applications of hydrogen energy technologies in China for carbon neutrality: Technology advances and challenges. *Energy Conversion and Management*. 1 September 2024, vol. 315, 118776. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118776.
30. Amineva A.D., Kazakova A.I., Mukhtarov I.R. How green is blue hydrogen? *Vestnik molodogo uchenogo UGNTU. Khimicheskaya i biotekhnologiya*. [Bulletin of the Young Scientist of Ufa State Petroleum Technological University. Chemical and Biotechnology], 2022, no. 1, pp. 61–77.

Информация об авторах

Савельева Ирина Петровна, доктор экономических наук, профессор, проректор по аналитике и стратегическому планированию, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; savelevaip@susu.ru

Корниенко Елена Леонидовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры таможенно-го дела, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kornienkoel@susu.ru

Information about the authors

Irina P. Saveljeva, DSc (Economics), Professor, Vice-Rector for Analytics and Strategic Planning, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; savelevaip@susu.ru

Elena L. Kornienko, PhD (Economics), Associate Professor of the Department of Customs Affairs, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kornienkoel@susu.ru

Статья поступила в редакцию 12.08.2024

The article was submitted 12.08.2024