

К.А. Корнеев, С.М. Шахрай

## Оценка общей эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности институтов, способствующих внедрению водородной энергетики в Японии и Китае. Актуальность такого исследования обусловлена стремлением стран к декарбонизации энергетического сектора и необходимостью системного анализа институциональных механизмов, которые определяют «успешность» перехода на водородные технологии и решения. В качестве теоретической основы применяется авторский индекс оценки институтов, разработанный как комплексный метрический инструмент. Методология его расчета предполагает взвешенную оценку четырех ключевых критериев: правовой эффективности, экономической эффективности, операционной эффективности и социальной эффективности. Для каждого критерия выделены специфические подкритерии, что позволяет учесть такие параметры, как зрелость института, влияние на отрасль и соответствие международным стандартам. Верификация значений и показателей проводилась на основе профильной литературы, статистических данных и экспертных оценок, что обеспечивает высокую достоверность полученных результатов. Предложенный индекс интегрирует количественные и качественные параметры, что позволяет оценить не только текущее состояние институтов, но увидеть «долгосрочный» потенциал.

Общая методология исследования основана на сравнительном анализе двух государств, где Япония выступает примером раннего внедрения водородных технологий, а Китай демонстрирует ускоренное развитие в данной области при активном правительственном регулировании. Особое внимание уделено влиянию институциональной среды на преодоление барьеров, например, высокой стоимости водородных технологий и недостаточного развития инфраструктуры хранения и транспортировки. В статье показано, что предложенный индекс позволяет выявлять структурные уязвимости и сформировать целевые рекомендации для повышения эффективности институтов, а это имеет немалую практическую значимость для стран, стремящихся к внедрению водородных систем в том или ином виде. Результаты исследования явно подтверждают гипотезу о том, что грамотное сочетание технологической и институциональной эффективности является критическим значимым фактором в контексте успешного развития водородной энергетики, и разработанный авторский индекс может стать универсальным инструментом для сравнительного анализа институциональных траекторий в различных странах, конечно, с учетом их национальной специфики.

**Ключевые слова:** Водородная энергетика, стратегии и планы развития, институты и механизмы, индекс оценки, сравнительные характеристики, Япония, Китай.

**Авторы:** Корнеев Константин Анатольевич, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Института Китая и Современной Азии РАН (адрес: 117997, Москва, Нахимовский пр-т, 32). ORCID: 0000-0003-3930-6309. E-mail: korneev@iccaras.ru

*Шахрай Сергей Михайлович*, доктор юридических наук, профессор, Заслуженный юрист Российской Федерации, руководитель Центра сравнительного государственоведения Института Китая и Современной Азии РАН (адрес: 117997, Москва, Нахимовский пр-т, 32); директор Института правоведения РГГУ. ORCID: 0000-0002-5851-8393. E-mail: ezik2002@yandex.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Корнеев К.А., Шахрай С.М. Оценка общей эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае // Японские исследования. 2026. № 1. С. 21—48. DOI: 10.55105/2500-2872-2026-1-21-48.

***K.A. Korneev, S.M. Shakhrai***

## **Assessment of the overall effectiveness of institutions for the development of hydrogen energy in Japan and China**

**Abstract.** This article addresses the issues related to assessing the effectiveness of institutions that contribute to the introduction of hydrogen energy in Japan and China. The relevance of such research is due to these countries' pursuit of decarbonization in their energy sectors and the need for systematic analysis of institutional mechanisms determining the success of transition to hydrogen technologies and solutions. As theoretical foundation, an original index developed by the authors as a comprehensive metric tool is applied. The methodology of its calculation assumes a balanced assessment of four key criteria: legal efficiency, economic efficiency, operational efficiency, and social efficiency. Specific sub-criteria are identified for each criterion, which makes it possible to take into account such parameters as the maturity of the institute, the impact on the industry, and compliance with international standards. Verification of values and indicators was carried out on the basis of relevant literature, statistical data, and expert assessments, which ensures high reliability of the results obtained. The proposed index integrates quantitative and qualitative parameters, which makes it possible to assess not only the current state of institutions, but also their "long-term" potential. This proposed index integrates quantitative and qualitative parameters including access to funding, regulatory framework, and technological development level, allowing evaluation of not only the current state, but also long-term potential of institutions. The general methodology is based on comparative analysis between two states, where Japan serves as an example of early adoption of hydrogen technologies, while China demonstrates accelerated growth in this field with active government regulation. Special attention is given to the impact of institutional environment on overcoming barriers, such as high cost of hydrogen technologies and insufficient infrastructure for storage and transportation. The study demonstrates that the proposed index can identify structural vulnerabilities and provide targeted recommendations to enhance institutional efficiency, which has significant practical implications for countries aiming at implementing various forms of hydrogen systems. The results clearly confirm the hypothesis that combination of technological and institutional efficiency is a critically important factor for successful development of hydrogen energy, making the index developed by the authors a universal tool for comparative analysis of institutional trajectories across different countries, taking into account their specific features.

**Keywords:** Hydrogen energy, strategies and development plans, institutions and mechanisms, evaluation index, comparative characteristics, Japan, China.

**Authors:** *Korneev Konstantin A.*, Candidate of Sciences (world history), Senior Researcher, Institute of China and Contemporary Asia of the RAS (address: 32, Nakhimovsky

Av., Moscow, 117997, Russian Federation). ORCID: 0000-0003-3930-6309.

E-mail: korneev@iccaras.ru

*Shakhrai Sergei M.*, Doctor of Sciences (law), Professor, Honored Lawyer of the Russian Federation, Head of the Center for Comparative Government Studies, Institute of China and Contemporary Asia of the RAS (address: 32, Nakhimovsky Av., Moscow, 117997, Russian Federation); Director of Institute for Law, RSUH.

ORCID: 0000-0002-5851-8393. E-mail: ezik2002@yandex.ru

**Conflict of interests.** The authors declare the absence of the conflict of interests.

**For citation:** Korneev, K.A., Shakhrai, S.M. (2025). Otsenka obshchei effektivnosti institutov razvitiya vodorodnoi energetiki v Yaponii i Kitae [Assessment of the overall effectiveness of institutions for the development of hydrogen energy in Japan and China]. *Yaponskiye issledovaniya* [Japanese Studies in Russia], 2026, 1, 21—48. (In Russian). DOI: 10.55105/2500-2872-2026-1-21-48.

## Введение

Резкое усиление международной напряженности в последние годы негативно отражается на устойчивости глобальных энергетических рынков, оказывая значительное воздействие на процессы формирования цен, надежность снабжения и непрерывность поставок ископаемых видов топлива. Этот фактор выступает одним из ключевых стимулов ускорения перехода на низкоуглеродные источники энергии. Государства Северо-Восточной Азии (СВА) стремятся стать мировыми лидерами в сфере экологически чистой энергетики, и среди перспективных энергоносителей особую значимость приобретает водород. В рамках настоящего исследования рассматриваются Япония и Китай — страны, обладающие сопоставимыми технологическими и законодательными инструментами для осуществления водородных проектов.

Использование низкоуглеродного<sup>1</sup> водорода предполагает формирование комплексной инфраструктуры, включающей его производство различными методами, разнообразные схемы транспортировки (в сжатом и сжиженном виде, по специальным трубопроводам, в составе химических соединений) и хранения. Наличие эффективной нормативно-правовой базы и государственных институтов, обеспечивающих регулирование цепочки создания стоимости, представляется необходимым условием достижения результатов в этой области [Корнеев 2022].

При анализе потенциала и препятствий, стоящих перед Японией и Китаем, особенно в контексте разработки авторского индекса оценки институтов, целесообразно опереться на ключевые факторы, определяющие рациональность переориентации национальной энергетики на низкоуглеродный водород в определенных экономически обоснованных пропорциях. Такого рода анализ включает в себя изучение действующей институциональной среды, формируемой полити-

---

<sup>1</sup> Низкоуглеродным считается водород, получаемый из ископаемого топлива с использованием установок улавливания и хранения углерода, или способом электролиза воды с поставкой электроэнергии от ВИЭ, стандартный критерий — пороговое значение выбросов 9,8—4,4 и ниже кг CO<sub>2</sub>-экв./кг H<sub>2</sub>.

ко-стратегическими документами, правовыми актами, контрактами и прочими формами внутреннего регулирования. На следующем этапе полученные предварительные результаты сегментирования институциональной среды как раз и определяют концептуальную структуру индекса с четким обоснованием уровней значимости и «влиятельности».

## **Сравнительные показатели развития водородной энергетики в Японии и Китае**

Япония стала уделять пристальное внимание развитию водородной энергетики с середины 2010-х гг., Китай серьезно подключился к этому процессу немного позднее, в 2018—2019 гг., однако быстро обогнал Японию по всем характеристикам в плане производства и применения низкоуглеродного водорода. Но и Япония, с поправкой на размер экономики, тоже добилась успехов в разработке водородных технологий и реализации отдельных проектов.

Определяющим стимулом, способствующим общемировому всплеску интереса к тематике водородной энергетики (помимо обязательств развитых стран по переходу к экономической модели с нулевым уровнем выбросов парниковых газов), стало существенное (в 2—3 раза) снижение стоимости ключевых технологических решений за период 2010—2024 гг. Для Японии и Китая значимость низкоуглеродного водорода заключается еще и в том, что он может занять нишу устойчивого собственного энергоносителя, то есть потребность в нем как минимум для энергетических нужд обе страны смогут закрывать самостоятельно на 80 и более процентов. Это разительно отличается от сложившейся ситуации, когда как Япония, так и Китай сильно зависимы от поставок первичных энергоресурсов из-за рубежа.

### **1. Япония**

В 2017 г. вступила в силу первая в мировой практике Национальная стратегия развития водородной энергетики, четко направленная на стимулирование перехода к использованию низкоуглеродного водорода. Конечные цели были сформулированы следующим образом: выпуск порядка 40 тыс. автомобилей на ТЭ к 2020 г., увеличение объема выпуска до 200 тыс. единиц к 2025 г. и масштабирование производства до уровня примерно 800 тыс. к 2030 г. В плане производства низкоуглеродного водорода акцент делался на электролиз воды и паровую конверсию природного газа с применением технологий улавливания CO<sub>2</sub> (УХУГ). По расчетам разработчиков стратегии, ежегодное производство водорода должно достичь не менее 300 тыс. т к 2030 г. Подчеркивалась и важность снижения стоимости водородного топлива с актуальных на 2017 г. 10 долл./кг до 3 долл./кг к 2030 г. с достижением отметки в 2 долл./кг к 2050 г<sup>1</sup>.

Но уже к середине 2020 г. стала очевидной необходимость внесения изменений в первоначально утвержденную стратегию ввиду замедления темпов ее реа-

---

<sup>1</sup> Basic Hydrogen Strategy 2017. Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues. URL: <https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/Basic%20Hydrogen%20Strategy%20%28EN%29.pdf> (дата обращения: 08.06.2025).

лизации. Пересмотр и согласование скорректированного варианта заняли два года, и лишь в июне 2023 г. состоялось официальное представление новой редакции. Внесенные поправки оказались незначительными, поскольку подавляющее большинство первоначальных индикаторов, обозначенных еще в версии 2017 г., были попросту перенесены в актуализированную версию (например, цель довести количество автотранспорта на водородных топливных элементах до 800 тыс. единиц и снизить цену 1 кг низкоуглеродного водорода до 3 долл. к 2030 г). Но в некоторых случаях показатели даже увеличились: ранее установленная норма производства в объеме 300 тыс. т водорода была заменена новым целевым значением — 3 млн т, что свидетельствует о существенном повышении требований к объемам производства<sup>1</sup>.

Пока эти амбициозные показатели, заложенные в обновленную стратегию, очень далеки от реального положения дел. По состоянию на начало 2024 г. стоимость 1 кг низкоуглеродного водорода в Японии варьировалась в диапазоне от 6 до 8 долл., что представляет собой снижение цены всего на 2—3 долл. по сравнению с уровнем 2017 г. Несмотря на достигнутый прогресс, для установления ценового равновесия с природным газом необходима дальнейшая оптимизация затрат, поскольку предварительные расчеты показывают, что конкурентоспособность водорода достижима лишь при снижении его стоимости ниже отметки в 2 долл./кг [Wen, Aziz 2024].

Анализируя ситуацию с расширением автомобильного парка на водородных топливных элементах, важно отметить значительный разрыв между запланированными показателями и фактическими результатами. Так, к середине 2024 г. в эксплуатации находилось лишь 8 тыс. транспортных средств подобного типа, тогда как изначально предполагалось увеличить этот показатель до 40 тыс. к 2020 г. За 2023 г. прирост составил всего 500 машин, что демонстрирует значительное отставание от намеченной траектории<sup>2</sup>.

Что касается производственных мощностей, то Япония располагает немногим более 100 МВт установленной мощности электролизеров различного типа (преимущественно щелочных), обеспечивших производство порядка 30 тыс. т низкоуглеродного водорода в течение 2024 г. Между тем, необходимым условием является расширение производственной базы до 15 ГВт мощности электролизных установок. Стоимость ввода одной единицы мощности электролизера составляет от 1000 до 1200 долл.<sup>3</sup>, что почти вдвое превышает аналогичные затраты в КНР.

Тем не менее нельзя не отметить, что Япония добилась значительного технологического прорыва в области транспортировки сжиженного водорода. Имеется

---

<sup>1</sup> Basic Hydrogen Strategy 2023. Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues. URL: [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_5.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_5.pdf) (дата обращения: 08.06.2025).

<sup>2</sup> Number of New Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) Registrations in Japan from 2015 to 2024. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/682128/japan-fuel-cell-vehicle-new-registrations/> (дата обращения: 10.06.2025).

<sup>3</sup> Japan: Hydrogen Strategy. New Zealand MFAT. URL: <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/japan-hydrogen-strategy-november-2023> (дата обращения: 10.06.2025).

в виду экспериментальная его перевозка морским путем на специализированном судне Suiso Frontier, спроектированном и построенном в Японии. Это судно, введенное в эксплуатацию в 2020 г., оснащено вакуумными цистернами объемом до 1250 м<sup>3</sup> (выдерживают температуру –253 °С, при которой водород переходит в криогенное состояние). Первую партию водорода, произведенного в Австралии методом газификации угля, успешно доставили из порта Гастингс в порт Кобэ в феврале 2022 г. Этот опыт вызвал критику со стороны экологов, которые пришли к выводу, что полный цикл от добычи угля до получения водорода и его транспортировки в конечный пункт потребления сопровождается большими выбросами CO<sub>2</sub> — не менее 100 тыс. т ежегодно [Zhang, Zheng 2025].

Несмотря на указанные проблемы, японское правительство приняло решение перейти к коммерциализации проекта и запустить регулярные поставки водорода из Австралии с выходом на объем до 30 тыс. т в год. Однако в результате практической эксплуатации выяснилось, что текущая себестоимость австралийского водорода существенно превышает целевой уровень, установленный на отметке 1,3 долл./кг, достигая 4–5 долл./кг — и поставки приостановили. Основная причина высоких издержек связана с дорогостоящей логистической составляющей, удорожающей продукцию дополнительно на 2 долл. за каждый кг водорода<sup>1</sup>.

## 2. Китай

Фундаментальные принципы и ключевые направления развития водородной отрасли в Китае изложены в документе под названием «Средне- и долгосрочный план развития водородной энергетики (2021—2035)». Данный документ разработан Национальной комиссией по развитию и реформам Китайской Народной Республики (НКРР), а точнее — подчиненной ей Национальной энергетической администрацией (НЕА)<sup>2</sup>.

Краткосрочные целевые ориентиры, приведенные в документе, выглядят сдержанными, принимая во внимание существующий масштаб потребления водорода в КНР. Производство «чистого» водорода ожидается в объеме от 100 до 200 тыс. т в год к 2025 г., что соответствует примерно 0,5 % общего объема ежегодного его производства разными способами переработки ископаемого сырья (порядка 33 млн т). Вместе с тем, в 2023 г. мировое производство водорода способом электролиза составляло менее 100 тыс. т, и на таком фоне планы Китая смотрятся серьезно. Если рассматривать долгосрочные ориентиры, то Китай планирует производить до 3 млн т экологически чистого водорода к 2030 г. и более 10 млн т к 2040 г. [Lou, Corbeau 2023].

При анализе представленного документа значимым является тот факт, что отдельные провинции КНР разработали самостоятельные программы поддержки и развития водородной энергетики. Оценка общих результатов возможной

---

<sup>1</sup> Maritime Barometer Report 2023—2024. International Chamber of Shipping (ICS). URL: <https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2024/09/ICS-Barometer-2023-2024-Full-report.pdf> (дата обращения: 12.06.2025).

<sup>2</sup> Dokso A. China's Hydrogen White Paper 2022 Reveals Insights and Prospects. H2 Energy News. URL: <https://energynews.biz/chinas-hydrogen-white-paper-2022-reveals-insights-and-prospects/> (дата обращения: 14.06.2025).

реализации всех анонсированных планов демонстрирует, что объединенный потенциал регионального роста значительно превосходит зафиксированный в центральном плане показатель. То есть для реалистичной оценки динамики внедрения водородной энергетики в Китае необходим учет не только общегосударственных стратегических инициатив, но и структуры планов провинций.

Например, суммарный планируемый выпуск низкоуглеродного водорода в двух китайских регионах — Внутренней Монголии и провинции Ганьсу — достигнет приблизительно 700 тыс. т к 2026 г., что явно превосходит объемы, указанные в соответствующем разделе национального «Средне- и долгосрочного плана развития водородной энергетики (2021—2035)» [Lou, Corbeau 2023]. Что касается транспортных средств, то планируется увеличение количества водородного транспорта до 50 тыс. единиц к концу 2025 — началу 2026 г., также предусматривается и строительство по всей стране до 1200 водородных заправочных станций (ВЗС). Реализация этих мер позволит обеспечить увеличение количества действующих ВЗС на территории Китая до уровня, превышающего имеющиеся мировые показатели в полтора раза (это приблизительно 1100 водородных заправочных станций по состоянию на 2024 г.)<sup>1</sup>.

Согласно статистике за 2024 г., Китай является мировым лидером по объему регистраций новых автотранспортных средств на водородных топливных элементах, значительно опережая США, Японию, Южную Корею и ЕС в целом. Количество официально проданных автомобилей указанного типа составило 7113 единиц, что немногим меньше, чем в 2023 г. (7562 единицы)<sup>2</sup>. В основном это пассажирские автобусы и легкий коммерческий транспорт.

Китай заявляет и реализует отдельные амбициозные проекты. Например, это сооружение самого протяженного в мире водородопровода длиной 737 км от предприятия по производству экологически чистого водорода в г. Чжанцзякоу до морского порта Цаофэйдянь в провинции Хэбэй. Проект был утвержден в декабре 2023 г., начало строительных работ запланировано на июнь 2025 г., а завершение — на лето 2027 г.<sup>3</sup> Уже к 2035 г. совокупная длина подобных трубопроводов должна составить 6 тыс. км. Дополнительно Sinopet разрабатывает собственный проект водородопровода протяженностью 400 км, соединяющего город Уланчаб (автономный район Внутренняя Монголия) с нефтеперерабатывающим комплексом в Пекине<sup>4</sup>.

Очевидно, что масштабы и темпы развития водородной энергетики в Китае значительно превосходят аналогичные для Японии. В первую очередь, это обу-

<sup>1</sup> Global Hydrogen Review 2024. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024> (дата обращения: 14.06.2025).

<sup>2</sup> A Total Number of Globally Registered Fuel Cell Electric Vehicles Sold from January to December in 2024. SNE Research. URL: [https://www.sneresearch.com/en/insight/release\\_view/373/page/0](https://www.sneresearch.com/en/insight/release_view/373/page/0) (дата обращения: 16.06.2025).

<sup>3</sup> China to Build World's Longest Hydrogen Pipeline to Transport Green Hydrogen. PTJ. URL: <https://www.pipeline-journal.net/news/china-build-worlds-longest-hydrogen-pipeline-transport-green-hydrogen> (дата обращения: 16.06.2025).

<sup>4</sup> China's First Long-Distance Hydrogen Pipeline. Dialogue Earth. URL: <https://dialogue.earth/en/digest/chinas-first-long-distance-hydrogen-pipeline/> (дата обращения: 18.06.2025).

словлено гораздо большими финансово-экономическими возможностями КНР и значительно более строгим отношением к необходимости выполнять планы (особенно те, которые были анонсированы на самом высоком уровне), чем это принято в Японии. Однако есть и другой очень важный аспект — это зрелость и эффективность соответствующих институтов, формирующих институциональную среду. Такая среда может оказывать как стимулирующее, так и серьезное замедляющее действие на процесс принятия решения по развитию отрасли и переходу от этапа планирования к непосредственно практической реализации проектов.

## **Ключевые институты развития водородной энергетики в Японии и Китае**

Для начала целесообразно привести теоретическое определение институтов, на основе которого они выделяются и анализируются в рамках данного исследования. В общем виде институты — это набор правовых норм и неформальных правил, задающих логику поведения субъектов экономической деятельности (компаний, организаций, отдельных индивидов и т. д.). Это поведение подчиняется рациональным механизмам, например, достижению максимальной эффективности экономической деятельности. Институт имеет три составляющих: причины воздействия, цель воздействия, эффект воздействия [Коммонс 2012]. Предположим, причина воздействия — необходимость декарбонизации нефтеперерабатывающей промышленности, цель воздействия — перевод отдельных предприятий на использование низкоуглеродного водорода вместо «серого» при помощи конкретных организационных мер, эффект — снижение выбросов парниковых газов на дистанции ближайших пяти лет в запланированном объеме.

В рамках статьи институты будут рассматриваться в агрегированном виде, охватывающем уровень национальных экономик, пока без глубокого погружения в отраслевую среду. Потом, по мере дальнейшего расширения базы исследования, возможна и более детальная проработка институциональных аспектов в применении к отдельным сегментам. К тому же как Япония, так и особенно КНР обладают весьма запутанной организационно-институциональной структурой, предметно разобраться в которой с учетом принципов значимости и иерархичности — задача, представляющая несомненный научный интерес.

### **1. Япония**

Выделяются следующие институты для развития водородной энергетики в Японии, которые удалось целевым образом системно классифицировать, исходя из приведенного выше определения. В первую очередь, это Национальная стратегия развития водородной энергетики, впервые опубликованная в 2017 г., и актуализированная в 2023 г. О ней уже шла речь выше — собственно, там заложены целевые ориентиры производства и применения низкоуглеродного водорода до 2030—2035 гг. [Osaki, Hughes 2025].

В 2009 г. правительство Японии инициировало программу Ene-Farm, направленную на стимулирование использования автономных энергетических установок на основе топливных элементов для обеспечения энергией малых и от-

даленных потребителей. Указанная программа предусматривала государственное субсидирование приобретения данных систем в размере до 50 % их стоимости, при этом учитывались и расходы, связанные со стоимостью водородного топлива, находившейся на тот момент в диапазоне 8—10 долл./кг<sup>1</sup> [Matsuzaki 2016].

В 2019 г. был опубликован еще один значимый документ — «Стратегическая дорожная карта для водорода и топливных элементов», направленный на расширение и уточнение ключевых аспектов национальной водородной стратегии. Основным ориентиром документа являлось снижение стоимости низкоуглеродного водорода до уровня, позволяющего ему конкурировать с традиционными источниками энергии (прежде всего, газовой генерацией) — до 4 долл./кг к 2030 г., и до 2 долл./кг к 2035 г. Однако, по состоянию на 2024 г., средняя стоимость производства водорода в Японии по-прежнему находится в диапазоне 6—8 долл./кг<sup>2</sup>.

В октябре 2024 г. в Японии был принят закон под названием «О содействии созданию водородного общества» с целью стимулирования инвестиций со стороны частных компаний в развитие низкоуглеродного водорода. Одним из ключевых направлений документа является реализация мер, направленных на устранение явного ценового разрыва между водородом и традиционными энергоносителями, а также создание масштабной инфраструктуры водородных хабов [Miyagi 2024], [Shirakawa, Tachiiri 2025].

Пока закон еще не заработал в полную силу, поэтому его роль оценить сложно. Но это все-таки закон прямого действия, т. е. прописанные в нем нормы являются обязательными к исполнению для компаний, претендующих на меры государственной поддержки, и за их неисполнение предусмотрены серьезные штрафные санкции. Параллельно актуализируется и действующее законодательство — закон «О мерах безопасности при эксплуатации газовой инфраструктуры», в плане добавления специализированных технических стандартов. Такие стандарты призваны регулировать транспортировку и хранение водорода, отчасти принимая во внимание потенциальную «массовость» его применения в обозримом будущем<sup>3</sup>.

## 2. Китай

Системообразующим институтом самого верхнего уровня в Китае является, естественно, пятилетний план. В настоящее время действует его 14-я по счету редакция (2021—2025). План декларирует стремление к повышению показателей энергосбережения и сокращению выбросов CO<sub>2</sub>, сохранению окружающей среды, переходу к экономике с фокусом на низкоуглеродные источники энергии

---

<sup>1</sup> Success Factors for Demonstration Projects of Small-Scale Stationary Fuel Cells in Residential Buildings. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Commercialisation-of-Ene-farm-stationary-fuel-cell-systems-in-Japan-until-2019-evolution\\_fig5\\_357179183](https://www.researchgate.net/figure/Commercialisation-of-Ene-farm-stationary-fuel-cell-systems-in-Japan-until-2019-evolution_fig5_357179183) (дата обращения: 21.06.2025).

<sup>2</sup> The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council Publication. URL: [https://www.hydrogenenergysupplychain.com/wp-content/uploads/2021/07/0312\\_002b.pdf](https://www.hydrogenenergysupplychain.com/wp-content/uploads/2021/07/0312_002b.pdf) (дата обращения: 22.06.2025).

<sup>3</sup> Joyce A., Konno H. et al. Oil & Gas Laws and Regulations Japan. The International Comparative Legal Guides. URL: <https://iclg.com/practice-areas/oil-and-gas-laws-and-regulations/japan> (дата обращения: 22.06.2025).

(ГЭС, ВИЭ, АЭС, водород, биотопливо). Для конкретизации положений пятилетнего плана в «низкоуглеродной» части в 2021 г. был принят «План по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов»<sup>1</sup> [Herburn, Qi, Stern... 2021], [Wen, Li, Zhang 2022].

Однако «План по энергосбережению» по большей части конкретизирует задачи по развитию ВИЭ, затрагивая водород лишь в общих чертах. В связи с этим в Китае был принят «Средне- и долгосрочный план развития водородной энергетики (2021—2035)»<sup>2</sup> для реализации шагов по производству низкоуглеродного водорода с опорой на собственную технологическую базу [Lou, Corbeau 2023; Wang, Fan... 2025].

В настоящее время в Китае отсутствует специализированный «водородный» закон<sup>3</sup>. Необходимые функции берут на себя другие документы — Решения ЦК Коммунистической партии Китая и Государственного совета КНР об ускорении комплексной зеленой трансформации экономического и социального развития, обнародованные 31 июля 2024 г.<sup>4</sup>

Китайская модель структурно основывается на принципе децентрализации экономических полномочий, в рамках которого провинциям предоставляется значительная автономия в принятии решений. Такой подход удачно сочетает централизованное управление с гибкими рыночными механизмами, трансформируя административную свободу на провинциальном уровне в инструмент экономического роста. При этом система нормативно-правового регулирования Китая опирается на институт совместных решений Канцелярии ЦК КПК и Канцелярии Госсовета, которые интегрируют партийные директивы и государственную политику, обеспечивая их синхронизацию. Эти документы обладают наивысшим юридическим статусом и хорошо гармонизируют интересы центра и регионов, минимизируя противоречия. Таким образом, в КНР институциональный синтез партийного руководства и государственного управления создает вполне устойчивую основу для долгосрочного планирования. Исторически аналогичный механизм существовал в СССР через совместные постановления ЦК КПСС и Совета Министров, однако в Китае он был адаптирован к условиям рыночной экономики.

---

<sup>1</sup> 14th Five-Year Plan: Energy Conservation Emissions Reduction Work Plan 2021-2025 (2021). Climate Change Laws of the World. URL: [https://climate-laws.org/document/14th-five-year-comprehensive-work-plan-for-energy-saving-and-emission-reduction-2021-2025-notice-33\\_b020](https://climate-laws.org/document/14th-five-year-comprehensive-work-plan-for-energy-saving-and-emission-reduction-2021-2025-notice-33_b020) (дата обращения: 24.06.2025).

<sup>2</sup> Medium and Long-Term Planning for the Development of Hydrogen Energy Industry (2021-2035). ИНЕС. URL: [https://hycentre.org.cn/list\\_27/100.html](https://hycentre.org.cn/list_27/100.html) (дата обращения: 25.06.2025).

<sup>3</sup> В отличие от России, где основную нормативную нагрузку несут федеральные законы (ФЗ), в Китае ключевая роль отводится подзаконным актам Госсовета и ведомственным инструкциям (например, поступающим от органов наподобие Госкомитета по развитию и реформам). Даже при наличии «прямых» законов (таких как Гражданский кодекс), их положения носят рамочный характер, а конкретика определяется именно директивными документами госаппарата и внутренними директивами Компартии, которые де-факто имеют силу закона.

<sup>4</sup> The Communist Party of China has issued Opinions on Accelerating Comprehensive Green Transformation. China Development Brief News. URL: <https://chinadevelopmentbrief.org/reports/the-communist-party-of-china-ccpc-has-issued-opinions-on-accelerating-comprehensive-green-transformation/> (дата обращения: 24.06.2025).

Более «приземленными» примерами нормативных институтов могут служить следующие документы: «Технические стандарты для автомобильных заправочных станций и специальных водородных заправочных станций» и «Технические характеристики топлива для автомобилей, работающих на водороде», принятые в 2021 г. Они устанавливают и регламентируют четкие требования к вопросам строительства, эксплуатации и обеспечения безопасности водородных заправочных станций, а также определяют параметры водородного топлива, которое должно использоваться на данных объектах инфраструктуры<sup>1</sup> [Zhao 2025].

## Оценка эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии

Оценка предоставляется на основе специального индекса. Перед демонстрацией того, как он работает на практике, целесообразно представить перечисленные в предыдущем разделе институты (для обеих стран) в формате таблиц (табл. 1, 2).

Таблица 1. Институты развития водородной энергетики в Японии<sup>2</sup>

Институт	Целевые ориентиры	Промежуточные результаты
1. Закон «О содействии созданию водородного общества»	7 трлн иен (53 млрд долл.) на инфраструктуру до 2035 г. Компенсация бизнесу разницы в стоимости водорода по сравнению с ископаемым топливом в течение 10—15 лет Потребление водорода на уровне 12 млн т к 2040 г.	—
2. Стратегия развития водородной энергетики (версия 2023 г.)	Производство 3 млн т водорода ежегодно к 2035 г. Выпуск 200 тыс. автомобилей на ВТЭ к 2025 г. и 800 тыс. к 2035 г. Снижение стоимости водорода с 10 долл./кг до 3 долл./кг к 2030 г.	Фактическое производство не более 30 тыс. т в 2024 г. Всего за период 2014—2024 гг. выпущено 14 тыс. единиц. Фактическая стоимость на 2024 г. в диапазоне 6—8 долл./кг
3. Программа Ene-Farm	Ввод в эксплуатацию не менее 100 МВт мощности мини-ТЭЦ на топливных элементах к 2020 г. Компенсация государством до половины стоимости этих систем	К 2022 г. в эксплуатации находилось более 300 МВт таких мини-ТЭЦ. Компенсации осуществлялись через специальный фонд

<sup>1</sup> Zhang V. Hydrogen Law, Regulations & Strategy in China. CMS Legal Analytics. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/china> (дата обращения: 24.06.2025).

<sup>2</sup> Приведенные показатели касаются исключительно низкоуглеродного водорода.

Институт	Целевые ориентиры	Промежуточные результаты
4. Стратегическая дорожная карта для водорода и топливных элементов (ТЭ)	Использование на 80 % ТЭ отечественного производства, снижение стоимости водорода до 4 долл./кг к 2030 г.	Доля отечественных ТЭ превышает 50 %, сохраняется оптимизм в плане снижения стоимости водорода
5. Закон «О мерах безопасности при эксплуатации газовой инфраструктуры»	Разработка национальных стандартов для производства, транспортировки и хранения водорода	Введена система контроля утечек, приняты стандарты работы ВЗС и протоколы аварийного реагирования

*Источники:* Ohno T., Nishida Yu. et al. Re-examining Japan's Hydrogen Strategy Moving Beyond the "Hydrogen Society" Fantasy 2022. URL: [https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI\\_Japan\\_HydrogenStrategy\\_EN\\_202209.pdf](https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI_Japan_HydrogenStrategy_EN_202209.pdf) (дата обращения: 08.06.2025); Accelerating the Truly Low-Carbon Hydrogen Transition in Japan 2025. Green Hydrogen Organization (GHO) Report. URL: <https://gh2.org/sites/default/files/2025-04/Copy%20of%20Japanese%20Publication%20%28English%20Version%29.pdf> (дата обращения: 10.06.2025); Sold a Total of 200,000 Units of the Ene-Farm Fuel Cell System for Residential Use. Daidas Group. URL: [https://www.osakagas.co.jp/en/whatsnew/\\_ics\\_files/afieldfile/2024/05/10/240410.pdf](https://www.osakagas.co.jp/en/whatsnew/_ics_files/afieldfile/2024/05/10/240410.pdf) (дата обращения: 08.06.2025); [Popov, Baldynov 2018].

Таблица 2. Институты развития водородной энергетики в Китае

Институт	Целевые ориентиры	Промежуточные результаты
1. План по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов	Снижение энергопотребления на единицу ВВП на 13 %. Разработка критериев отнесения водорода к типу «низкоуглеродный»	Энергопотребление снижено на 10 % точно. В 2024 г. были определены такие критерии выбросов CO <sub>2</sub> : 4,9—14,51 кг CO <sub>2</sub> -экв./кг H <sub>2</sub>
2. Средне- и долгосрочный план развития водородной энергетики (2021—2035)	Производство «чистого» водорода в диапазоне 100—200 тыс. т в год к 2025 г. и до 3 млн т к 2035 г. Выпуск до 50 тыс. единиц автомобилей на ВТЭ к 2025 г. и до 1 млн единиц к 2035 г. Ввод не менее 100 ГВт электролизных мощностей к 2035 г.	По итогам 2024 г. получено 125 тыс. т низкоуглеродного водорода именно способом электролиза. Количество транспорта на ВТЭ на дорогах оценивается в диапазоне 30—50 тыс. единиц. По состоянию на 2024 г., в КНР в эксплуатации находится 39 ГВт таких мощностей
3. Решения ЦК КПК и Государственного совета КНР об ускорении комплексной «зеленой» трансформации экономического и социального развития	Использование «чистого» водорода для замены угля и метана в металлургии, химической промышленности, производстве цемента. Использование «чистого» водорода как топлива для грузового транспорта в дополнение к легковому и пассажирскому. Использование «чистого» водорода как носителя энергии для балансирования ВИЭ-генераторов	Заклучения имеют рамочный характер и делают акцент на развитие целого ряда новых энергетических систем, включая и водородные. Также водород позиционируется как стратегический ресурс для обеспечения энергетической безопасности и достижения декарбонизации экономики в долгосрочной перспективе. Говорится и об ускорении реализации крупных научно-технических проектов

Институт	Целевые ориентиры	Промежуточные результаты
4. Технические стандарты для АЗС / ВЗС и технические характеристики топлива для автомобилей, работающих на водороде	Разработка национальных стандартов для производства, транспортировки и хранения водорода с учетом отраслевой специфики	Определены требования к материалам трубопроводов, баллонов и резервуаров для снижения утечек водорода и обеспечения безопасности. Стандартизировано давление на ВЗС при заправке баллонов в диапазоне 35—70 МПа
5. Программы провинций в области развития водородной энергетики	Самые амбициозные планы по производству водорода представили две провинции: Внутренняя Монголия. План производства — 480 тыс. т к концу 2025 г.; Ганьсу. План производства — 220 тыс. т к концу 2025 г.	Суммарно планы этих двух провинций дают показатель в 700 тыс. т водорода. Однако достоверной информации о том, что какая-либо из них достигла хотя бы половины выпуска заявленного объема, не обнаружено

*Источники:* [Lou, Corbeau 2023]; Resolution of the Central Committee of the Communist Party of China on Further Deepening Reform Comprehensively to Advance Chinese Modernization. Ministry of Foreign Affairs (China). URL: [https://www.mfa.gov.cn/eng/xw/zyxw/202407/t20240721\\_11457437.html](https://www.mfa.gov.cn/eng/xw/zyxw/202407/t20240721_11457437.html) (дата обращения: 12.06.2025); 14<sup>th</sup> Five-Year Plan: Energy Conservation Emissions Reduction Work Plan 2021—2025 (2021). Climate Change Laws of the World. URL: [https://climate-laws.org/document/14th-five-year-comprehensive-work-plan-for-energy-saving-and-emission-reduction-2021-2025-notice-33\\_b020](https://climate-laws.org/document/14th-five-year-comprehensive-work-plan-for-energy-saving-and-emission-reduction-2021-2025-notice-33_b020) (дата обращения: 24.06.2025); China's Hydrogen Electrolyzer Industry Facing Technology, Cost Challenges. S&P Global. URL: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/energy-transition/021925-chinas-hydrogen-electrolyzer-industry-facing-technology-cost-challenges> (дата обращения: 24.06.2025); [Liu, Wan 2022]; [Guo, Li 2025].

Для решения поставленной задачи — разработки индекса оценки эффективности институтов — предлагается комплексная методология с использованием иерархической структуры критериев<sup>1</sup>. Ключевым фактором является «вес», а именно, выраженная в процентах характеристика значимости вклада института в траекторию развития отрасли. Основных критериев четыре: правовая эффективность (вес 25 %); экономическая эффективность (вес 30 %); операционная эффективность (вес 25 %); социальная эффективность (вес 20 %). Каждый из этих критериев дополнительно декомпозируется (подразделяется) еще на четыре подкритерия, которым также присваиваются «веса» в зависимости от уровня их значимости и применимости. Для каждого подкритерия предлагается шкала оценки от 0 до 100 баллов, разделенная на четыре сегмента (0—25, 26—50, 51—75, 76—

<sup>1</sup> Речь идет о принципах многокритериального анализа решений (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) и метода анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process, АНП), используемых для декомпозиции сложной проблемы на более простые составные части, сравнения их относительной важности и синтеза итоговых «весов». Пионер данного подхода — американский ученый Т. Саати [Saati, Vargas 2012].

100)<sup>1</sup>; далее в процессе анализа подкритериям присваиваются баллы в этом диапазоне. Общая средневзвешенная оценка для каждого основного критерия выводится в виде суммы оценок для подкритериев, полученных как произведение веса подкритерия (для этого проценты переводятся в доли) и экспертной оценки в баллах от 0 до 100.

**Итоговый индекс эффективности институтов (IEI) рассчитывается по формуле**

$$IEI = (W_1 \times S_1) + (W_2 \times S_2) + (W_3 \times S_3) + (W_4 \times S_4),$$

где  $W$  — вес каждого основного критерия (при расчете проценты переводятся в доли);

$S$  — нормализованная экспертная оценка для каждого критерия верхнего уровня с учетом вклада подкритериев (0 — это минимальная эффективность, 100 — максимальная).

Если рассматривать показательные практики определения критериев/подкритериев и присвоения весов, то качественное представление об этом дает руководство, опубликованное Департаментом по делам общин и местного самоуправления (Лондон) в 2009 г. В документе всесторонне описано применение многокритериального анализа для оценки эффективности реализации государственных программ. Там приводятся этапы выделения и структурирования критериев, присвоения весов и агрегирования оценок [Multi-Criteria Analysis... 2009].

Выбор критериев был сделан по результатам предметного анализа прогнозов мировой энергетики (World Energy Outlook) Международного энергетического агентства, выпускаемых с 1977 г. В них МЭА подчеркивает, что успешная энергетическая политика зависит от четырех факторов: стабильной и предсказуемой правовой базы; экономических механизмов, создающих стимулы к развитию; грамотно выстроенных процессов реализации; общественной поддержки инициатив<sup>2</sup>. Схожей логики в отношении критериев (включая определение весов в долях и/или процентах) придерживаются в своих статьях научные коллективы из разных государств и организаций. Примеры таких публикаций: [Vedung 1998]; [Hjeij, Bicer... 2023]; [Jia, Huang... 2025]; [Zhang, Zhang 2021]; [Baumgarten, Schneider, Most 2025].

Что касается подкритериев, то их формирование и распределение весов были выполнены авторами с привлечением как уже перечисленных выше материалов, так и нескольких других источников, дающих взвешенное представление о том, как именно следует проводить эту работу. Например, для выделения подкритериев в рамках критерия «Правовая эффективность» использовались подходы из книги [Baldwin, Cave, Lodge 2012], для выделения подкритериев в рамках крите-

---

<sup>1</sup> Эти сегменты представляют собой упрощенный вариант «доверительного интервала». Далеко не всегда можно четко определить в баллах уровень «развитости» института по одному или нескольким подкритериям (например, нормативный документ глубоко проработан в части правовой и социальной эффективности, однако с момента опубликования прошло менее года, то есть накопленного опыта его применения пока мало, а значит, показатели экономической и операционной эффективности поддаются оценке не столь хорошо).

<sup>2</sup> World Energy Outlook 2024. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (дата обращения: 26.06.2025).

рия «Экономическая эффективность» — из статей [Mehranvar, Sachs 2023] и [Numan, Ma... 2023], для выделения подкритериев в рамках критерия «Операционная эффективность» — из статей [Kalatha, Dontis-Charitos... 2025] и [Gorzen-Mitka, Wiczorek-Kosmala 2023], для выделения подкритериев в рамках критерия «Социальная эффективность» — из статьи [Dong, Wang, Zhou 2023].

Важно указать на то, что представление методологического подхода именно в таком структурном виде, включая распределение весов для подкритериев с учетом специфики Японии и Китая, как раз и формирует авторский вклад в данную теоретическую область, а также в область практического использования индекса на примере конкретных государств.

Оценки для каждого конкретного института определяются и обосновываются, в первую и главную очередь, на основе детального анализа текста документа (или массива прочих источников, максимальным образом раскрывающих его логику и структуру), а также опыта практического применения — то есть понимания того, как институт интегрируется с задачами развития водородной энергетики «на земле» и стимулирует реализацию проектов. Во вторую очередь, оценки выводятся с привлечением статистических данных, результатов исследований схожего профиля, отраженных в научных публикациях, отраслевых отчетах и аналитических материалах консалтинговых агентств. Немаловажное значение для верификации полученных результатов имеют мнения профильных экспертов, которые были собраны благодаря опросу, специально проведенному авторами статьи<sup>1</sup>. Эти мнения в целом подтвердили правильность предлагаемого подхода.

Работа по формированию индекса и комплексному анализу институтов осуществлялась авторами на протяжении более полугода (принимая также во внимание опыт, накопленный на протяжении нескольких лет) и отражает достаточно зрелый подход, дающий обоснованные научные результаты. Его научная важность заключается в том, что этот подход может быть успешно применен и для анализа институтов, оказывающих влияние на развитие других отраслей народного хозяйства, с целью предметного понимания того (в т.ч. на уровне принятия решений), какие из них являются наиболее эффективными (табл. 3—7).

Таблица 3. Декомпозиция критериев и определение весов для подкритериев

Основной критерий и подкритерии с весами	Краткое обоснование подкритериев
<b>S1: Правовая эффективность (совокупный вес 25 %)</b>	
1.1. Полнота правовых норм (30 %)	Включает цели, ответственность участников, механизмы реализации
1.2. Соответствие международным стандартам (30 %)	Привязка к Парижскому соглашению и целям устойчивого развития ООН

<sup>1</sup> Всего получено 12 мнений от специалистов с высоким уровнем экспертизы (кандидаты и доктора наук), подтвержденными публикациями в авторитетных журналах, 4 по Японии и 8 — по Китаю (включая три мнения непосредственно от китайских ученых).

Основной критерий и подкритерии с весами	Краткое обоснование подкритериев
1.3. Понятная логика применения (20 %)	Четкое разделение полномочий между ведомствами
1.4. Гарантии и санкции для участников (20 %)	Понятные механизмы контроля и ответственности за невыполнение
<b>S2: Экономическая эффективность (совокупный вес 30 %)</b>	
2.1. Снижение транзакционных издержек (25 %)	Упрощение процедур отчетности и получения различных мер поддержки
2.2. Оптимизация финансовых затрат (25 %)	Объем бюджетного финансирования и привлечение частных инвестиций
2.3. Привлекательность для инвесторов (30 %)	Налоговые льготы, субсидии, иные компенсирующие меры
2.4. Бюджетная эффективность (20 %)	Соотношение затрат на реализацию и достигаемых эффектов
<b>S3: Операционная эффективность (совокупный вес 25 %)</b>	
3.1. Скорость реализации проектов (30 %)	Четкое соблюдение сроков (включая промежуточные этапы)
3.2. Качество результатов (30 %)	Достижение конкретных измеримых целей (снижение выбросов CO <sub>2</sub> )
3.3. Координация между участниками (20 %)	Конструктивное межведомственное взаимодействие
3.4. Управление рисками (20 %)	Мониторинг выполнения и адаптация планов к меняющимся условиям
<b>S4: Социальная эффективность (совокупный вес 20 %)</b>	
4.1. Социальные эффекты проектов (30 %)	Создание «зеленых» рабочих мест
4.2. Экологические преимущества (30 %)	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , улучшение качества воздуха
4.3. Прозрачность внутренних процессов (20 %)	Публикация данных, отчетов, общая доступность информации
4.4. Участие представителей общественности (20 %)	Наличие практик общественного обсуждения и «обратной связи»

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

Таблица 4. Оценочная шкала для подкритериев по S1: Правовая эффективность

Подкритерий	Шкала
1.1. Полнота правовых норм	0—25: Отсутствие какого-либо правового статуса 26—50: Декларативный характер документа 51—75: Четкие цели и механизмы, но размытые сроки 76—100: Все элементы должным образом прописаны
1.2. Соответствие международным стандартам	0—25: Отсутствие каких-либо упоминаний 26—50: Упоминания общего характера, без конкретики 51—75: Предметные упоминания и отсылки 76—100: Прямая привязка к национальным планам
1.3. Понятная логика применения	0—25: Полномочия никак не определены 26—50: Формальное (общее) распределение ролей 51—75: Функционал разграничен, но есть пересечения 76—100: Непересекающееся распределение обязанностей
1.4. Гарантии и санкции для участников	0—25: Отсутствие каких-либо упоминаний 26—50: Упоминания общего характера, без конкретики 51—75: Предметные упоминания и отсылки на примеры 76—100: Понятная система с необходимыми механизмами

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

Таблица 5. Оценочная шкала для подкритериев по S2: Экономическая эффективность

Подкритерий	Шкала
2.1. Снижение транзакционных издержек	0—25: Высокие транзакционные издержки 26—50: Есть понимание необходимости их снижения 51—75: Издержки носят контролируемый характер 76—100: Транзакционных издержек практически нет
2.2. Оптимизация финансовых затрат	0—25: Используются только бюджетные средства 26—50: Минимальное привлечение частных инвестиций 51—75: Привлечение частных инвестиций на 25—50 % 76—100: Привлечение частных инвестиций >50 %
2.3. Привлекательность для инвесторов	0—25: Отсутствие льгот и мер поддержки 26—50: Обещания мер поддержки в ближайшем будущем 51—75: Внедрены отдельные стимулирующие меры 76—100: Действует целый комплекс мер поддержки
2.4. Бюджетная эффективность	0—25: Высокие затраты, слабый эффект 26—50: Есть только отложенный долгосрочный эффект 51—75: Эффективное использование средств <sup>1</sup> 76—100: Относится к числу лучших мировых практик

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

<sup>1</sup> Достижение всех поставленных целей в рамках утвержденного бюджета, либо же с минимальными дополнительными затратами (менее 5% от изначально выделенного объема средств).

Таблица 6. Оценочная шкала для подкритериев по S3: Операционная эффективность

Подкритерий	Шкала
3.1. Скорость реализации проектов	0—25: Сроки не соблюдаются без каких-либо пояснений 26—50: Имеет место постоянный перенос сроков 51—75: Сроки сдвигаются незначительно (до 6 мес.) 76—100: Фиксируется полное соблюдение сроков
3.2. Качество результатов	0—25: Обозначенные цели не достигаются 26—50: Достигается выполнение <70 % плана 51—75: Достигается выполнение 70—90 % плана 76—100: Выполнение или перевыполнение плана
3.3. Координация между участниками	0—25: Полное отсутствие координации 26—50: Координация на уровне неформальных встреч 51—75: Регулярные официальные мероприятия 76—100: Постоянно действующие советы/комитеты и т. д.
3.4. Управление рисками	0—25: Не происходит адаптации к меняющимся условиям 26—50: Редкие и нерегулярные изменения 51—75: Регулярная корректировка параметров 76—100: Система, гибко реагирующая на изменения

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

Таблица 7. Оценочная шкала для подкритериев по S4: Социальная эффективность

Подкритерий	Шкала
4.1. Социальные эффекты проектов	0—25: Никаких эффектов не просматривается 26—50: Незначительное количество новых рабочих мест 51—75: Идет подготовка квалифицированных кадров 76—100: Создано 1000 и более новых рабочих мест
4.2. Экологические преимущества	0—25: Цели по снижению выбросов не определены 26—50: Заявлены общие цели, без конкретизации 51—75: Есть конкретные цели (снижение NOx на 10 %) 76—100: Фиксируется достижение конкретных целей
4.3. Прозрачность внутренних процессов	0—25: Отсутствие какой-либо отчетности 26—50: Отчеты общего плана, без измеримых метрик 51—75: Детализированные квартальные и годовые отчеты 76—1—00: Публикация данных в реальном времени
4.4. Участие представителей общественности	0—25: Полное отсутствие участия 26—50: Формальные консультации и встречи 51—75: Организация публичных слушаний 76—100: Учет общественного мнения в работе

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

Ниже приводятся итоговые таблицы с результатами расчетов для Японии и КНР (оценены все 10 институтов, по 5 на каждое государство), и дается объяснение, почему были получены такие результаты. Чем выше в баллах итоговый расчетный показатель, тем более значимым и весомым является рассматриваемый институт. С целью понятной иллюстрации практического применения методологии пошаговой оценки институтов были выбраны два конкретных примера (для Японии и Китая соответственно). Это институты, получившие наивысший ИЕИ; все остальные оценивались по схожей логике с учетом их назначения и специфических черт. Впоследствии предполагается совершенствование методологии расчета индекса при помощи добавления новых критериев и расширения диапазона оценочных характеристик (табл. 8–11).

### 1. Япония. Пример оценки института: «Программа Ene-Farm».

Таблица 8. Расчет взвешенной оценки по каждому критерию (S1, S2, S3, S4)

Подкритерий	Вес	Оценка (0–100)	Взвешенная оценка <sup>1</sup>
<b>S1: Правовая эффективность (вес критерия 25 %)</b>			
1.1. Полнота правовых норм	30 %	80	24
1.2. Соответствие международным стандартам	30 %	90	27
1.3. Понятная логика применения	20 %	90	18
1.4. Гарантии и санкции для участников	20 %	70	14
Итого S1	100 %		Сумма: 83
<b>S2: Экономическая эффективность (вес критерия 30 %)</b>			
2.1. Снижение транзакционных издержек	25 %	85	21
2.2. Оптимизация финансовых затрат	25 %	80	20
2.3. Привлекательность для инвесторов	30 %	85	26
2.4. Бюджетная эффективность	20 %	70	14
Итого S2	100 %		Сумма: 81
<b>S3: Операционная эффективность (вес критерия 25 %)</b>			
3.1. Скорость реализации проектов	30 %	85	26
3.2. Качество результатов	30 %	95	28

<sup>1</sup> Рассчитывается так: вес в % переводится в доли (30% → 0,3) и умножается на оценку, поставленную экспертно согласно шкале от 0 до 100.

Подкритерий	Вес	Оценка (0—100)	Взвешенная оценка
3.3. Координация между участниками	20 %	90	18
3.4. Управление рисками	20 %	70	14
Итого S3	100 %		Сумма: 86
<b>S4: Социальная эффективность (вес критерия 20 %)</b>			
4.1. Социальные эффекты проектов	30 %	80	24
4.2. Экологические преимущества	30 %	85	26
4.3. Прозрачность внутренних процессов	20 %	70	14
4.4. Участие представителей общественности	20 %	68	14
Итого S4	100 %		Сумма: 78

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

#### **Финальный расчет IEI (согласно базовой формуле):**

$$\begin{aligned} IEI &= (0,25 \times 83) + (0,30 \times 81) + (0,25 \times 86) + (0,20 \times 78) = \\ &= 20,7 + 24,3 + 21,5 + 15,5 = 82. \end{aligned}$$

Расчет индекса явно подтвердил статус программы Ene-Farm как высокоэффективной и количественно обосновал ее лидерство, а также показал, чем подкреплен успех программы.

#### **Итоговое распределение институтов в соответствии с показателями (для Японии)**

На основании представленной выше методологии получены следующие результаты для институтов развития водородной энергетики в Японии в контексте их ранжирования по значимости (весомости) (табл. 9).

Таким образом, наивысший IEI обоснованно получает программа Ene-Farm. На 2-м месте со значительным отставанием расположилась Стратегическая дорожная карта для водорода и топливных элементов. Эти два документа выделяются практико-ориентированным подходом, то есть помимо общих установочных целей, они предполагают перечень конкретных мер по реализации, подкрепленных понятным техническим и финансовым обеспечением. Закон «О содействии созданию водородного общества» имеет высокий правовой статус и также вводит перечень конкретных мер, однако этот документ находится в стадии доработки и, естественно, пока не показал сколько-нибудь значимых результатов. Закон «О мерах безопасности при эксплуатации газовой инфраструк-

Таблица 9. Расчет индекса оценки институтов (IEI) для Японии

Институт	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	IEI
Программа Ene-Farm	83	81	86	78	82
Стратегическая дорожная карта для водорода и топливных элементов	70	75	80	60	72
Закон «О содействии созданию водородного общества»	80	70	68	60	70
Закон «О мерах безопасности при эксплуатации газовой инфраструктуры»	70	60	70	60	65
Стратегия развития водородной энергетики	55	56	58	55	56

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

туры» — это отраслевой акт, применимость которого прямо определяется эффектом масштаба. Если производство и потребление низкоуглеродного водорода в Японии заметно вырастет, этот и похожие регулирующие акты будут играть критически важную роль именно в контексте «обращения» с водородом, без чего невозможно обеспечение надежности работы объектов соответствующей инфраструктуры.

Что касается Стратегии развития водородной энергетики, то этот документ в редакции 2017 г. адекватно отражал намерения Японии в данном направлении и внушал сдержанный оптимизм. Однако впоследствии Стратегия все больше и больше превращалась в прокламацию, оторванную от реального положения дел. Конечно, отчасти это произошло ввиду неготовности страны к ускоренному внедрению водородных технологий, но повторение ориентиров 2017 г. в обновленной версии 2023 г. выглядит контрпродуктивно с учетом сложившейся ситуации. Японии следовало бы признать невозможность достижения заявленных целей в поставленные сроки (к 2030—2035 гг.) и снизить уровень амбиций.

К сожалению, в настоящее время действие программы Ene-Farm, зарекомендовавшей себя в качестве наиболее эффективного института, фактически приостановлено. Мало внимания уделяется и дальнейшему совершенствованию механизмов, заложенных в Стратегическую дорожную карту для водорода и топливных элементов ранее [Wen, Aziz 2024]. Правительство, опираясь на положения Стратегии развития водородной энергетики (версия от 2023 г.), сделало ставку на крупнотоннажное производство водорода для получения эффектов в масштабе всей экономики. Однако характер и сроки наступления таких эффектов уходят далеко за горизонт 2030—2035 гг., и нет никаких гарантий, что удастся их получить в таком объеме, который можно было бы измерить с привлечением соответствующих количественных индикаторов.

**2. Китай.** Пример оценки института: «План по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов».

Таблица 10. Расчет взвешенной оценки по каждому критерию (S1, S2, S3, S4)

Подкритерий	Вес	Оценка (0–100)	Взвешенная оценка
<b>S1: Правовая эффективность (вес критерия 25 %)</b>			
1.1. Полнота правовых норм	30 %	85	26
1.2. Соответствие международным стандартам	30 %	80	24
1.3. Понятная логика применения	20 %	75	15
1.4. Гарантии и санкции для участников	20 %	75	15
Итого S1	100 %		Сумма: 80
<b>S2: Экономическая эффективность (вес критерия 30 %)</b>			
2.1. Снижение транзакционных издержек	25 %	70	18
2.2. Оптимизация финансовых затрат	25 %	80	20
2.3. Привлекательность для инвесторов	30 %	85	25
2.4. Бюджетная эффективность	20 %	70	14
Итого S2	100 %		Сумма: 77
<b>S3: Операционная эффективность (вес критерия 25 %)</b>			
3.1. Скорость реализации проектов	30 %	80	24
3.2. Качество результатов	30 %	85	26
3.3. Координация между участниками	20 %	60	12
3.4. Управление рисками	20 %	65	13
Итого S3	100 %		Сумма: 75
<b>S4: Социальная эффективность (вес критерия 20 %)</b>			
4.1. Социальные эффекты проектов	30 %	70	21
4.2. Экологические преимущества	30 %	85	26

Окончание табл. 10

Подкритерий	Вес	Оценка (0—100)	Взвешенная оценка
4.3. Прозрачность внутренних процессов	20 %	65	13
4.4. Участие представителей общественности	20 %	50	10
Итого S4	100 %		Сумма: 70

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

#### Финальный расчет IEI (согласно базовой формуле):

$$\begin{aligned} IEI &= (0,25 \times 80) + (0,30 \times 77) + (0,25 \times 75) + (0,20 \times 70) = \\ &= 20,0 + 23,1 + 18,8 + 14,0 = 76. \end{aligned}$$

Расчет индекса подтверждает статус «Плана» как самого системно значимого документа. Высокий балл демонстрирует, что «План» является основным ориентиром на пути реализации инициатив по развитию водородной энергетики в Китае.

#### Итоговое распределение институтов в соответствии с показателями (для Китая)

На основании представленной выше методологии получены следующие результаты для институтов развития водородной энергетики в Китае в контексте их ранжирования по значимости (весомости) (табл. 11).

Таблица 11. Расчет индекса оценки институтов (IEI) для Китая

Институт	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	IEI
«План по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов»	80	77	75	70	<b>76</b>
«Решения ЦК КПК и Государственного совета КНР об ускорении комплексной «зеленой» трансформации экономического и социального развития»	95	65	65	52	<b>70</b>
«Средне- и долгосрочный план развития водородной энергетики (2021—2035)»	75	70	65	60	<b>68</b>
Технические стандарты для АЗС/ВЗС и технические характеристики топлива для автомобилей, работающих на водороде	60	65	75	60	<b>65</b>
Программы провинций в области развития водородной энергетики	65	62	58	65	<b>62</b>

*Источник:* Составлено авторами в соответствии с методологическими обоснованиями и подходами в рамках оценки эффективности институтов развития водородной энергетики в Японии и Китае.

Таким образом, наивысший ИЕИ у «Плана по энергосбережению и снижению выбросов парниковых газов». На втором месте расположились «Решения ЦК КПК и Государственного совета КНР» благодаря очень высокой правовой значимости. По сути, эти два документа играют системообразующую роль в иерархии принятия решений — то есть нижестоящие инстанции выстраивают свою деятельность именно в логике того курса, который четко «проложен» «Планом по энергосбережению» и «Решениями». Совсем немного от Решений отстает «Средне- и долгосрочный план развития водородной энергетики», демонстрирующий неплохие показатели экономической и операционной эффективности, поскольку этот документ служит целям конкретизации руководящих положений. В Китае, в отличие от японского аналога, план не является формальным документом, а предметно задает рамки и ориентиры, за невыполнение которых ответственные органы понесут серьезное наказание.

Технические стандарты для АЗС/ВЗС и технические характеристики топлива для автомобилей, работающих на водороде — это отраслевые документы (аналогично Японии), служащие решению конкретных задач по обеспечению бесперебойности и безопасности работы соответствующей инфраструктуры. Однако в Китае, в силу его размеров и наличия заметных диспропорций в региональном социально-экономическом развитии, такого рода акты не везде и не всегда функционируют должным образом.

На последнем месте в рейтинге располагаются программы провинций в области развития водородной энергетики, что не совсем справедливо, если смотреть через призму планов, но вполне закономерно при анализе критериев экономической и операционной эффективности. Дело в том, что провинции часто заявляют амбициозные планы в надежде привлечь внимание центра, поскольку сами не обладают должными финансовыми и технологическими ресурсами, но имеют большое желание принять участие в проектах стратегической важности, способных потенциально повлиять (в сторону роста) на экономические показатели<sup>1</sup>. Иногда это даже приводит к «перетягиванию одеяла» между провинциями и сознательному «подкручиванию» нужных результатов.

## Заключение

Япония и Китай демонстрируют существенно разные институциональные подходы к развитию водородной энергетики, обусловленные национальной спецификой. Японская модель характеризуется акцентом на операционную эффективность, что укладывается в общие рамки традиционной ориентации на высокое качество реализации проектов, однако экономическая и социальная составляющие представлены хуже. Китай, напротив, реализует централизованно-целевой подход с доминированием экономических и социально-политических приорите-

---

<sup>1</sup> CCP Decision-Making and Xi Jinping's Centralization of Authority. Chapter 1. U.S. — China Economic and Security Commission (USCC) Publication. URL: [https://www.uscc.gov/sites/default/files/2022-11/Chapter\\_1--CCP\\_Decision-Making\\_and\\_Xi\\_Jinpings\\_Centralization\\_of\\_Authority.pdf](https://www.uscc.gov/sites/default/files/2022-11/Chapter_1--CCP_Decision-Making_and_Xi_Jinpings_Centralization_of_Authority.pdf) (дата обращения: 28.06.2025).

тов, где институты служат инструментом достижения стратегических целей энергобезопасности и декарбонизации. В отличие от Японии, Китай «подкрепляет» заявленные цели по производству низкоуглеродного водорода и строительству инфраструктуры масштабом инвестиций, однако фактическая реализация проектов страдает от дисбаланса между амбициозными ориентирами, указанными в документах на уровне провинций, и не всегда конкретными формулировками, присутствующими в решениях «двух канцелярий».

Что касается развития водородной энергетики на ближайшие 10 лет, то очевидно, что Япония рискует не достичь целевых ориентиров по стоимости 1 кг низкоуглеродного водорода и объемам потребления из-за критического несоответствия между запланированными показателями и фактической (очень скромной) динамикой их воплощения, несмотря на успехи отдельных программ (Ene-Farm). Пока ничего не удастся сделать и со слабой окупаемостью проектов по причине ограниченного внутреннего спроса и наличия административных барьеров, на преодоление которых уходит много времени.

Вероятность того, что Китай достигнет обозначенных целей (например, по производству 3 млн т низкоуглеродного водорода к 2035 г.) хотя бы частично, на 50—60 %, явно выше, чем для Японии — благодаря более «строгой» государственной политике и значительным финансово-экономическим ресурсам. Но при этом Китай рискует столкнуться с серьезными дисбалансами в развитии инфраструктуры (например, отставание темпов расширения сети ВЭС от темпов выпуска транспорта на ВТЭ), кроме того, вызовом остается и верификация данных по статусу «низкоуглеродности» водорода в свете сильных расхождений в отчетности провинций.

Обеим странам важно разработать механизмы стимулирования частных инвестиций для ускорения коммерциализации водородных технологий, а также активизировать международное сотрудничество, включая обмен лучшими практиками в области регулирования. Японии нужно уделить больше внимания строительству водородной инфраструктуры, а Китаю — ужесточить контроль за соблюдением технических стандартов. Обеим странам также необходимо внедрить систему мониторинга и оценки эффективности институтов на основе четких критериев, чтобы своевременно реагировать на меняющуюся обстановку и корректировать свои планы.

---

## Библиографический список

Коммонс Дж.Р. Институциональная экономика / пер. с англ. А.А. Оганесян // *Terra Economics*. 2012. № 3. Р. 69—76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/institutnaya-ekonomika> (дата обращения: 12.12.2025).

Корнеев К.А. Оценка институциональной готовности стран Северо-Восточной Азии к практическому внедрению технологий водородной энергетики // *Вестник РЭУ им Г.В. Плеханова*. 2022. Т.19. № 1 (121). С. 5—15. DOI: 10.21686/2413-2829-2022-1-5-15.

## References

Commons, J.R. (2012) *Institutsional'naya ekonomika*. [Institutional Economics] Transl. from English by A.A. Oganesyanyan. *Terra Economics* [Terra Economics], 3, 69—76. (In Russian). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/institutsionalnaya-ekonomika>

Korneev, K.A. (2022). Otsenka institutsional'noi gotovnosti stran Severo-Vostochnoi Azii k prakticheskomu vnedreniyu tekhnologii vodorodnoi energetiki [Assessing Institutional Readiness of East-Asian Countries to Pass Over to Technologies of Hydrogen Power Engineering]. *Vestnik REU im. G.V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 19 (1), 5—15. (In Russian). DOI: 10.21686/2413-2829-2022-1-5-15.

\* \* \*

Baldwin, R., Cave, M., Lodge, M. (2012). *Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice*. OUP Oxford.

Baumgarten, J., Schneider, Ch., Most, D. (2025). Hydrogen Economy Index — A Comparative Assessment of the Political and Economic Perspective in the MENA Region for a Clean Hydrogen Economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 101, 1503—1517. DOI: 10.1016/j.renene.2024.122231.

Dong, L., Wang, Z., Zhou, Yu. (2023). Public Participation and the Effect of Environmental Governance in China: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sustainability*, 15, 2—16. DOI: 10.3390/su15054442.

Gorzen-Mitka, I., Wiczorek-Kosmala, M. (2023). Mapping the Energy Sector From a Risk Management Research Perspective: A Bibliometric and Scientific Approach. *Energies*, 16, 2—32. DOI: 10.3390/en16042024.

Guo, X., Li, W., Ren, D., Chu, J. (2025). Prospects for the Development of Hydrogen Fuel Cell Vehicles in China. *Renewable Energy*, 250, 2—20. DOI: 10.1016/j.renene.2024.122231.

Hepburn, C., Qi, Ye., Stern, N. et al. (2021). Towards Carbon Neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean Energy Transition, Sustainable Urban Development, and Investment Priorities. *Environmental Science and Ecotechnology*, 8, 2—8. DOI: 10.1016/j.ese.2021.100130.

Hjeij, D., Bicer, Yu., Saleh, Al-Sada M., Koc, M. (2023). Hydrogen Export Competitiveness Index for a Sustainable Hydrogen Economy. *Energy Reports*, 9, 5843—5856. DOI: 10.1016/j.egy.2023.05.024.

Jia, Ya., Huang, Yu et al. (2025). Construction of Evaluation Indicator System and Analysis for Low-Carbon Economy Development in Chengdu City of China. *Systems*, Vol. 13 (7), Is. 573, 2—42. DOI: 10.3390/systems13070573.

Kalatha, S., Dontis-Charitos, P. et al. (2025). The Market Reaction to Operational Risk Events in the Energy Sector. *Annals of Operations Research*, 347, 611—631. DOI: 10.1007/s10479-023-05488-y.

Liu, W., Wan, Y., Xiong, Y., Gao, P. (2022). Green Hydrogen Standard in China: Standard Evaluation of Low-Carbon Hydrogen, Clean Hydrogen, and Renewable

Hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (58), 24584—24591. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.193.

Lou, Yu., Corbeau, S. (2023). China's Hydrogen Strategy: National vs. Regional Plans. *SIPA at Columbia University*. October. Retrieved from <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/chinas-hydrogen-strategy-national-vs-regional-plans/>

Matsuzaki, Yo. (2016). Residential Applications: ENE-FARM. *Hydrogen Energy Engineering*. September 08, 477—482. DOI: 10.1007/978-4-431-56042-5\_35.

Mehranvar, L., Sachs, L. (2023). The Role and Relevance of Investment Treaties in Promoting Renewable Energy Investments. In *Investment Arbitration and Climate Change* (pp. 263—287). Kluwer Law International B.V. Retrieved from [https://scholarship.law.columbia.edu/sustainable\\_investment/33](https://scholarship.law.columbia.edu/sustainable_investment/33)

Mikami, J., Miyagi, E., Watanabe, Yo., Kawai, S. (2024). Passage of the Hydrogen Society Promotion Act and the CCS Business Act. *NO&T Japan Legal Update*, 46, 2—10. Retrieved from <https://www.noandt.com/en/publications/publication20240529-1/>

*Multi-Criteria Analysis: A Manual*. (2009). London: Department for Communities and Local Government. Retrieved from [https://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria\\_Analysis.pdf](https://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf)

Numan, U., Ma, B., et al. (2023). Role of Economic Complexity and Energy Sector in Moving Towards Sustainability in the Exporting Economies. *Energy Strategy Reviews*, 45, 2—12. DOI: 10.1016/j.esr.2022.101038.

Osaki, Yu., Hughes, L. (2025). Japan: Putting Hydrogen at the Core of Its Decarbonisation Strategy. *The Geopolitics of Hydrogen*, July 08, 105—120. DOI: 10.1007/978-3-031-84022-7\_5.

Popov, S., Baldynov, O. (2018). The Hydrogen Energy Infrastructure Development in Japan. *E3S Web of Conferences*, 69, 2—10. DOI: 10.1051/e3sconf/20186902001.

Saati, T., Vargas, L. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer Science. DOI: 10.1007/978-1-4614-3597-6.

Shirakawa, K., Tachiiri, H. (2025). Hydrogen Society Promotion Act and Relevant Orders and Regulations. *Mori Namada Energy & Infrastructure Newsletter*, January, 47, 1—17. Retrieved from <https://www.morihamada.com/sites/default/files/newsletters/en/energy-infrastructure/20250116/01.pdf>

Vedung, E. (1998). Policy Instruments: Typologies and Theories. In *Carrots, Sticks & Sermons* (pp. 21—58). Transaction Publishers.

Wang, J., Fan, J., et al. (2025). Medium- and Long-Term Hydrogen Demand Forecast in China: A Multi-Sector and Multi-Region Analysis. *Energy*, 335, 2—18. DOI: 10.1016/j.energy.2025.137992.

Wen, D., Aziz, M. (2024). Perspective of Staged Hydrogen Economy in Japan: A Case Study Based on the Data-Driven Method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 2—17. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113907.

Wen, L., Li, Q., Zhang, K. (2022). Development Strategy of Hydrogen Energy Industry in China. *Strategic Study of CAE*, 24 (3), 80—88. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2022.03.009.

Zhang, Zh., Zhang, Zh. (2021). The Construction and Empirical Study on Evaluation Index System of International Low-Carbon Economy Development. *Frontiers*, 9, 1—10. DOI: 10.3389/fenrg.2021.761567.

Zhang, Zh., Zheng, X. et al. (2025). Research Progress of Fuel Cell Technology in Marine Applications: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13 (4), 2—60. DOI: 10.3390/jmse13040721.

Zhao, Yu. (2025). Urban Energy Reconfiguration: China's Hydrogen-Blended Gas Networks as a Catalyst for Global Carbon-Neutral Cities. *ACS Energy Letters*, 10 (5), 2372—2376. DOI: 10.1021/acsenergylett.5c00775

---

Поступила в редакцию: 25.07.2025

Принята к публикации: 26.01.2026

Received: 25 July 2025

Accepted: 26 January 2026