

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 08 Volume: 136

Published: 28.08.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Artem Vitalevich Kazarinov
 Samara State Technical University
 researcher

PROGRESS IN THE DEVELOPMENT OF GLOBAL LOW-CARBON HYDROGEN PROJECTS

Abstract: This article examines the progress in the development of low-carbon hydrogen projects around the world over the period from 1975 to 2043. Based on publicly available data from the International Energy Agency (IEA), containing information on all open hydrogen projects from 71 countries, the study identifies key trends and prospects for widespread adoption of hydrogen technologies. To ensure objectivity, all data from the database was systematized, and projects without key characteristics were excluded from the analysis. Over the entire period, there has been a significant increase in the main characteristics and number of hydrogen projects, with traditional technologies taking the leading position until 2020-2025, and after 2025, the growth rate of electrolysis technologies will significantly exceed traditional non-electrolysis methods. Large-scale implementation of hydrogen projects in the near future can significantly accelerate the achievement of carbon neutrality of the global economy by 2050, which corresponds to the goals of the Paris Agreement on combating climate change. The article highlights the importance of government support, innovative technologies and international cooperation for the further development of the hydrogen sector and the successful transition to a sustainable energy system.

Key words: hydrogen, IEA, analysis, technologies, trends.

Language: Russian

Citation: Kazarinov, A.V. (2024). Progress in the development of global low-carbon hydrogen projects. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 08 (136), 64-70.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-08-136-8> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.08.136.8>

Scopus ASCC: 1900.

ПРОГРЕСС РАЗВИТИЯ МИРОВЫХ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ВОДОРОДНЫХ ПРОЕКТОВ

Аннотация: В данной статье рассматривается прогресс развития низкоуглеродных водородных проектов по всему миру за период с 1975 по 2043 годы. Основанное на общедоступных данных Международного энергетического агентства (МЭА), содержащие информацию обо всех открытых водородных проектах из 71 страны, исследование выявляет ключевые тенденции и перспективы широкого внедрения водородных технологий. Для обеспечения объективности все данные из базы были систематизированы, а проекты без ключевых характеристик исключены из анализа. За весь период наблюдается значительный рост основных характеристик и числа водородных проектов, при этом до 2020-2025 годов лидирующую позицию занимают традиционные технологии, а после 2025 года темпы роста электролизных технологий значительно превысят традиционные неэлектролизные методы. Масштабное внедрение водородных проектов в ближайшем будущем может значительно ускорить достижение углеродной нейтральности мировой экономики к 2050 году, что соответствует целям Парижского соглашения по борьбе с изменением климата. В статье подчеркивается значимость государственной поддержки, инновационных технологий и международного сотрудничества для дальнейшего развития водородного сектора и успешного перехода к устойчивой энергетической системе.

Ключевые слова: водород, МЭА, анализ, технологии, тренды.

Введение

УДК 662.769.21

Проблема изменения климата и необходимость сокращения выбросов парниковых

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

газов становятся все более актуальными. В этом контексте низкоуглеродный водород рассматривается как одно из ключевых решений для достижения углеродной нейтральности [1]. Низкоуглеродный водород – это водород, произведенный с минимальными выбросами углекислого газа. Он может быть получен с использованием возобновляемых источников энергии или технологий улавливания и хранения углерода. Использование водорода в различных секторах промышленности, в том числе в энергетическом секторе, может стать одним из возможных путей декарбонизации экономики и значительно сократить выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ. Учитывая стремительно растущее потребление энергии, промышленный суверенитет развитых стран в будущем может стать зависимым от уровня развития их энергетических секторов. Также необходимо учитывать, что именно энергетический сектор производит основной объем выбросов и загрязнений, оказывая значительное негативное воздействие на окружающую среду [2].

С целью предотвращения роста и постепенного снижения выбросов парниковых газов, 12 декабря 2015 года было заключено Парижское соглашение по климату. Главная стратегическая задача заключается в том, чтобы удержать повышение глобальной средней температуры к концу века значительно ниже 2 °C по сравнению с доиндустриальными уровнями, а также предпринять усилия для ограничения роста температуры до 1,5 °C [3].

Использование водорода в качестве сырья, энергоносителя и средства хранения энергии может значительно способствовать декарбонизации энергетики, т.к. при его сгорании образуется только вода и существуют технологии его производства без выбросов углекислого газа.

Прогнозы указывают на ежегодное стремительное увеличение мирового потребления водорода. Например, в 2021 году спрос на водород составил 94,3 миллион тонн, а уже к 2030 году он может удвоиться [4, 5].

Источники информации.

Исследование мировых водородных проектов основано на публично открытых данных, представляемых ежегодно международным энергетическим агентством (МЭА). В данном исследовании для анализа современных водородных технологий исследуется база данных, включающая 1327 проектов по производству водорода и связанных с ним продуктов из более чем 100 стран мира [6]. Несмотря на обширный объем информации, предоставляемой МЭА, база данных не содержит всех необходимых сведений для полного анализа

и выявления тенденций развития водородных технологий. Поэтому в исследование не были включены проекты, для которых отсутствовали следующие ключевые характеристики:

- производительность, электрическая мощность для электролизных проектов;
- производительность, объем улавливаемого CO₂ для неэлектролизных проектов;
- страна происхождения;
- сроки реализации.

В базе данных водородных проектов МЭА представлены следующие группы технологий производства водорода:

ALK – технология щелочного электролиза воды, предполагающая возможность использования сетевой электроэнергии, атомной энергии и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [7].

Biomass – группа технологий получения водорода и побочных продуктов из биомассы в контролируемых процессах с использованием тепловой энергии, пара и кислорода (микробная ферментация, риформинг биогаза, пиролиз биометана, газификация отходов и др.) [8].

Coal + CCUS – технология получения водорода путем газификации угля [9].

Ng + CCUS – группа технологий производства водорода из природного газа (автотермический риформинг метана (ATR+CCS), паровой риформинг метана (SMR+CCS), пиролиз метана) [10, 11].

Oil + CCUS – группа технологий получения водорода из нефтяного сырья (газификация битума, газификация тяжелых нефтяных остатков и др.) [12, 13].

Other technologies – группа других неэлектролизных технологий производства водорода (сепарация газовых смесей мембранами, фотоэлектрохимические процессы и др.) [14, 15].

Other electrolysis – группа других электролизных технологий (электролиз с использованием ВИЭ, комбинации нескольких видов электролиза и неизвестные технологии электролиза Unknown PtX (PtX: англ. Power-to-X, превращение электрической энергии в другой вид энергии «X» [16, 17]).

PEM – технология протонообменного мембранного электролиза [18, 19].

SOEC – технология твердооксидных электролизных ячеек [20, 21].

Для проведения анализа были отсортированы и отобраны водородные проекты из 71 страны мира за период с 1975 по 2043 годы. В таблице 1 представлены основные характеристики представленных в базе МЭА проектов.

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Таблица 1. Общие характеристики технологий по производству водорода.

Технология	Количество проектов	Общая электрическая мощность, МВт	Общий уловленный объем CO ₂ , млн т	Общая производительность, тыс. нм ³ H ₂ /ч
ALK	189	10422,39	-	2292,16
PEM	265	13451,92	-	2594,79
SOEC	33	797,22	-	209,77
Other electrolysis	630	447386,87	-	99426,35
NG w CCUS	65	-	125,80	15018,48
Coal w CCUS	7	-	10,10	604,44
Oil w CCUS	8	-	10,09	669,25
Biomass	15	-	-	106,58
Other technologies	27	-	0,17	4195,65

Проведенный анализ проектов показывает, что в настоящий момент по всем ключевым характеристикам лидируют электролизные проекты, на них приходится 1117 проектов (90 % от числа всех проектов), а их суммарная нормализованная производительность составила 104523 тыс. нм³ H₂/ч (83,54 % от мировой производительности). Наибольшую суммарную производительность среди электролизных технологий имеют проекты с технологиями Other Electrolysis с общей производительностью 99426,35 тыс. нм³ H₂/ч (79,5 % от мировой производительности).

Технологии щелочного электролиза - ALK и технология протонообменного мембранного электролиза - PEM представлены 189 и 265 проектами соответственно (16,9 % и 23,7 % от

общего числа электролизных проектов). Суммарная производительность данных технологий, хоть и не отличается высокими показателями и составляет 2,2 % для технологии ALK и 2,85 % для технологии PEM относительно суммарной производительности всех электролизных проектов. Необходимо отметить, что несмотря на скромные характеристики в своей группе сравнения, технология ALK имеет на 66 % большую суммарную производительность, чем технологии Coal + CCUS и Oil + CCUS вместе взятые.

В таблице 2 представлены средние характеристики технологий по производству водорода.

Таблица 2. Средние характеристики представленных проектов.

Технология	Средняя электрическая мощность, МВт/проект	Средний уловленный объем CO ₂ , млн. т./проект	Средняя производительность, тыс. нм ³ H ₂ /ч/проект
ALK	55,14	-	12,13
PEM	50,76	-	9,79
SOEC	24,16	-	6,36
Other electrolysis	710,14	-	157,82
NG w CCUS	-	1,94	231,05
Coal w CCUS	-	1,44	86,35
Oil w CCUS	-	1,26	83,66
Biomass	-	-	7,11
Other technologies	-	0,08	344,40

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Таблицы 1 и 2 показывают, что электролизная технология Other Electrolysis лидирует по большинству ключевых параметров, таких как количество проектов, производительность, средняя мощность и др. Это можно объяснить главным образом за счёт перспективных электролизных проектов, находящихся в активной стадии разработки.

В группе альтернативных технологий по большинству показателей лидирующую позицию занимает группа технологий производства водорода из природного газа (NG + CCUS). В данной группе технологий реализуется 65 проектов, что составляет 53,3 % от числа альтернативных проектов и 5,25 % от числа всех реализуемых в мире проектов. Суммарная производительность этой группы технологий составила 15018,48 тыс. $\text{м}^3 \text{H}_2/\text{ч}$ (12 % от мировой производительности). Из 146,15 млн. тонн от мирового объема уловленного CO_2 , 125,8 млн. тонн (86 %) приходится на данную группу технологий. По показателю средней производительности лидерство занимает группа технологий Other technologies с производительностью 344,40 тыс. $\text{м}^3 \text{H}_2/\text{ч}/\text{проект}$, что в 1,5 раза больше, чем группа технологий NG + CCUS. Таким образом, на данный момент технологии получения водорода из природного газа широко представлены в проектах, и в дальнейшем эти технологии будут занимать

лидирующие позиции в группе неэлектролизных технологий.

Согласно отчётам МЭА, в 2020 году мировое производство водорода составило 90 миллионов тонн, из которых 59 % получено из природного газа, 19 % — из угля, 1 % — из других источников, а 21 % — как побочный продукт других производств, таких как нефтепереработка и коксохимия. [5]. Однако в данной базе МЭА как по количеству проектов, так и по суммарной производительности лидирующую позицию занимают электролизные технологии. Как было сказано ранее, это группа электролизных технологий Other Electrolysis с общей производительностью 99426,35 тыс. $\text{м}^3 \text{H}_2/\text{ч}$, что составляет 79,5 % от мировой производительности. Это можно объяснить тем, что большая часть проектов, основанных на природном газе (NG w CCUS) реализуется в настоящее время и имеют относительно низкие показатели средней производительности, в то время как множество перспективных электролизных проектов с большой производительностью будут реализованы в будущем.

На рисунке 1 представлены характеристики электролизных проектов в период с 1975 по 2043 г. Рассматривается 1117 проектов с суммарной производительностью 70549,38 тыс. $\text{м}^3 \text{H}_2/\text{ч}$.

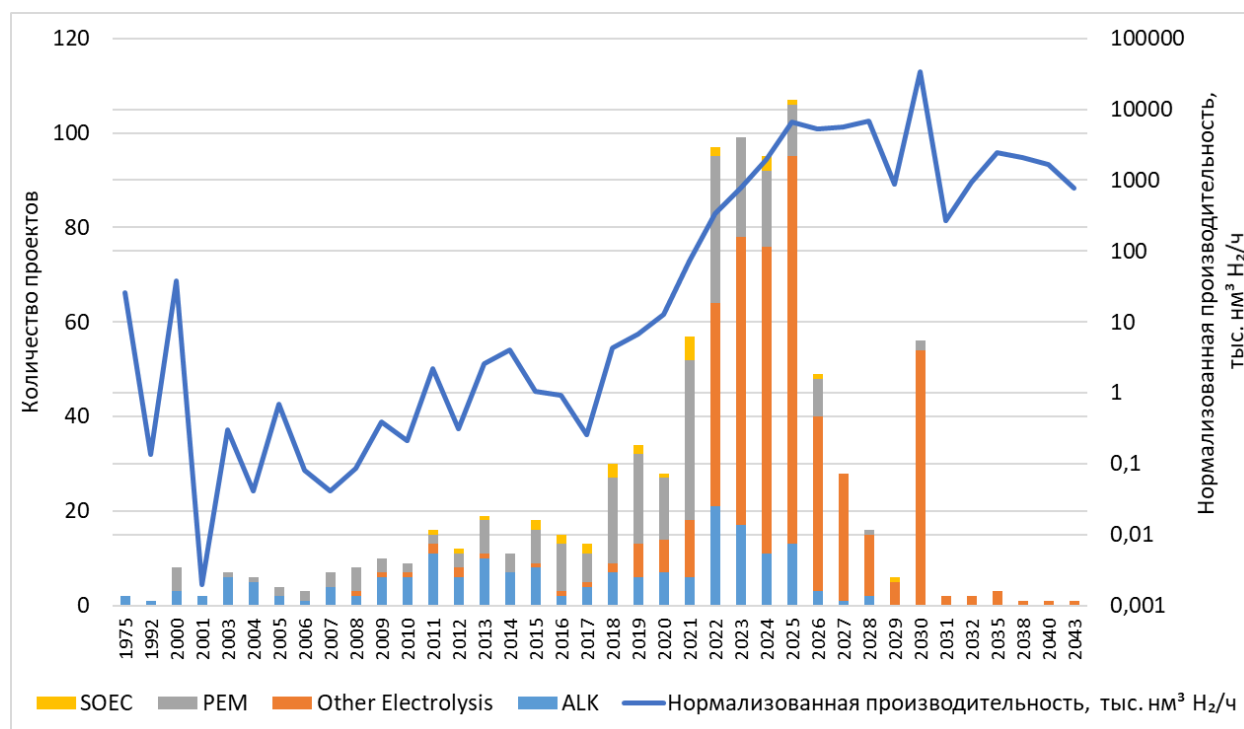


Рис. 1. Основные характеристики электролизных проектов в период с 1975 по 2043 гг.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Очевидно, что технологии щелочного и протонообменного электролиза воды имели наибольшую популярность в период с 2000 по 2021 год. Несмотря на то, что данные технологии являются хорошо изученными, количество проектов неуклонно снижается. Начиная с 2022 года, стремительный рост всех характеристик как по количеству проектов, так и по суммарной производительности имеют технологии, которые в базе данных МЭА отнесены к группе «другие электролизные технологии». При этом технология твердооксидного электролиза не получила широкого распространения, несмотря на все свои преимущества. Технология SOEC получила распространение в 2011 году, а наибольшее число реализуемых проектов в количестве 5 штук было зафиксировано в 2021 году. Твердооксидный электролиз заметно уступает другим электролизным технологиям по всем ключевым характеристикам, технология представлена 33 проектами, что составляет 2,95 % от общего числа электролизных проектов, общая электрическая мощность составляет 0,16 % от электрической мощности всех электролизных проектов, а общая производительность технологии SOEC составляет 0,16 % от производительности всех водородных проектов. Несмотря на небольшую популярность, средняя производительность технологии неуклонно растет, например, на момент своего

первого запуска средняя производительность составила 10,53 $\text{nm}^3 \text{H}_2/\text{ч}$, тогда как в 2026 году этот показатель будет составлять 6613 $\text{nm}^3 \text{H}_2/\text{ч}$. Таким образом, можно сделать вывод, что данная технология при всех своих преимуществах [32, 33] не получает широкого распространения, но неуклонно развивается и в обозримом будущем может стать более популярной.

Согласно представленным в базе МЭА данным, в период с 2000 по 2030 годы основные показатели всех электролизных проектов будут стремительно расти, в то время как традиционные неэлектролизные технологии значительно уступят по этому критерию. Максимальное число электролизных проектов планируется реализовать в 2025 с суммарной производительностью 6672,9 тыс. $\text{nm}^3 \text{H}_2/\text{ч}$. К 2030 году будет запущено 56 проектов, а производительность будет составлять 33845,16 тыс. $\text{nm}^3 \text{H}_2/\text{ч}$. Таким образом, если все запланированные проекты будут реализованы, то несмотря на существенное снижение общего числа проектов, средняя производительность возрастет на 869 %.

Основные характеристики неэлектролизных проектов в период 1982-2035 гг. представлены на рисунке 2. Рассмотрены 122 проекта с суммарной производительностью 20594 тыс. $\text{nm}^3 \text{H}_2/\text{ч}$.

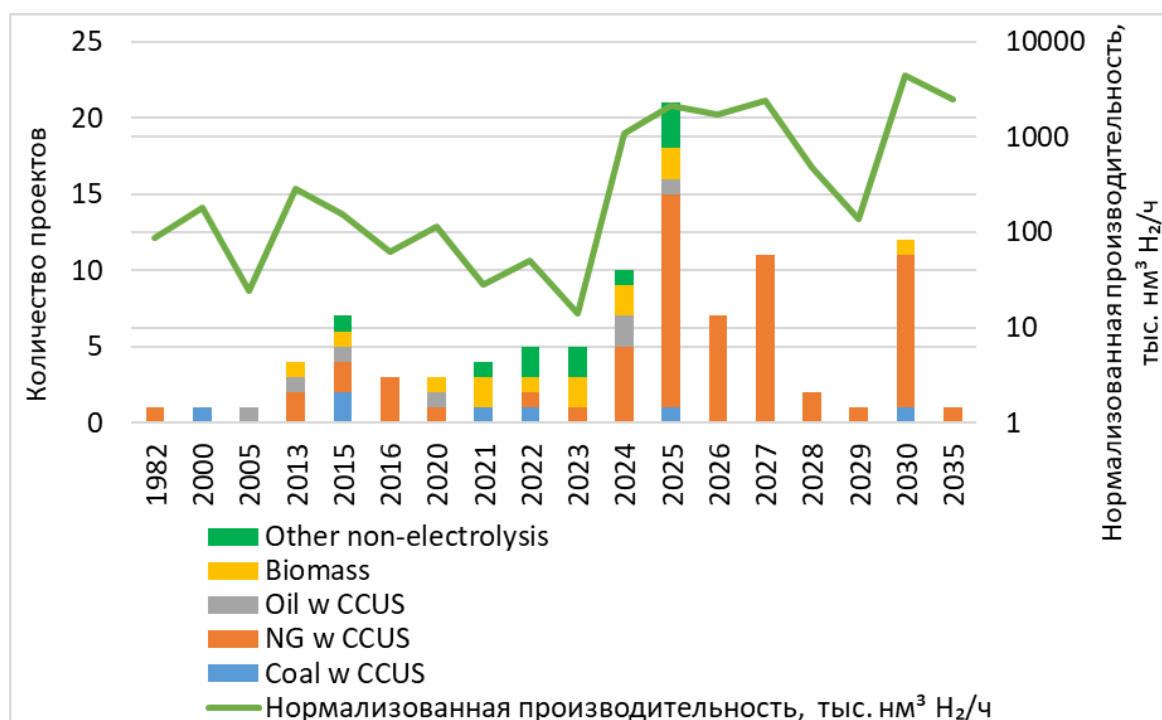


Рис. 2. Основные характеристики неэлектролизных проектов в период с 1982 по 2035 гг.

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Общее число неэлектролизных проектов почти на порядок меньше, чем электролизных проектов, а это значит, что невозможно однозначно выявить тренды и предсказать будущее развитие технологий, однако можно сделать общие выводы.

Технологии производства водорода на основе природного газа (NG w CCUS) являются наиболее распространенными и мощными технологиями со стабильным ростом характеристик. На протяжении всего наблюдаемого периода данные технологии находят активное применение в промышленности. С учетом проектов без указанных сроков реализации, на технологии по переработке природного газа приходится 63 % от всех неэлектролизных проектов. Согласно представленной в базе данных информации, первый проект с данной технологией был запущен в 1982 году. В 2024 году планируется запуск 10 неэлектролизных проектов, 50 % которых приходится на технологию NG + CCUS, а с 2025 года на данной технологии будет запущено абсолютное большинство будущих проектов. В дальнейшем можно ожидать сохранения этой тенденции.

Таким образом, в группе неэлектролизных проектов основные показатели плавно увеличиваются на протяжении всего рассмотренного периода и темпы роста существенно уступают перспективным электролизным проектам.

На основе этих данных выявлен тренд по устойчивому развитию всех групп технологий, однако электролизные технологии опережают неэлектролизные по количеству проектов и скорости роста. Сохранение данной тенденции позволит электролизным технологиям в будущем сравниться с традиционными технологиями по суммарной производительности и вывести электролизные технологии на крупномасштабные объемы производства.

Результаты

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) с каждым годом растёт количество реализуемых проектов и их ключевые характеристики;

2) технология щелочного (ALK) электролиза имеет пик популярности в период с 1975 по 2025 годы. С 2026 доля проектов, реализуемых данной технологией существенно снизится;

3) технология протонообменного (PEM) электролиза имеет пик популярности в период с 2000 по 2026 годы;

4) перспективная технология твердооксидного электролиза (SOEC) используется в ограниченном количестве проектов;

5) с 2022 года стремительно возрастает доля электролизных проектов, реализуемых по технологии «других электролизных технологий» (Other Electrolysis);

6) производство водорода из органического топлива остается наиболее распространенным способом в большинстве стран. Однако учитывая стремительные темпы роста всех показателей, электролизные технологии в будущем имеют весомые шансы сравниться с традиционными технологиями по количеству производимого водорода;

7) среди неэлектролизных традиционных технологий риформинг натурального газа является наиболее распространенным и производительным. Следует ожидать сохранения данной тенденции в ближайшие годы;

8) при сохранении имеющихся тенденций есть все шансы для того, чтобы водород стал энергетическим и сырьевым ресурсом, что поможет в достижении целей, установленных Парижскими соглашениями.

References:

1. Kokorin, A. O. (2017). *Izmeneniya klimata kak osnova Parizhskogo soglasheniya. Jenergeticheskaja politika*, 2017, №. 4, pp. 37-47.
2. (2016). *Strategija nizkouglerodnogo razvitija Rossii: Vozmozhnosti i vygody zameshhenija iskopaemogo topliva "zelenymi" istochnikami jenergii* / G. V. Safonov, A. V. Stecenko, A. L. Dorina [i dr.], (p.48). Moskva: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "TEIS".
3. (n.d.). *Parizhskoe soglasenie*. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/paris_agreement.pdf
4. Kulagin, V.A., & Grushevenko, D.A. (2023). *Vodorodnaja jenergetika: za i protiv. Jekologija, jenergetika, jenergosberezhenie*, 2023, № 2.
5. (2022). *Global Hydrogen Review 2022. International energy agency*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 0.191	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.100	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

6. (n.d.). *Hydrogen Projects Database*, IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>
7. Brauns, J., & Turek, T. (2020). "Alkaline water electrolysis powered by Renew-able Energy: A Review," *Processes*, 8(2), p.248. <https://doi.org/10.3390/pr8020248>
8. Cao, L., et al. (2020). "Biorenewable hydrogen production through biomass gasification: A review and future prospects," *Environmental Research*, 186, p.109547. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109547>
9. Sánchez-Hervás, J.M., Moya, G.M., & Ortiz-González, I. (2019). "Current status of coal gasification," *New Trends in Coal Conversion*, pp. 175-202. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102201-6.00007-8>
10. Khojasteh Salkuyeh, Y., Saville, B.A., & MacLean, H.L. (2017). "Techno-Economic Analysis and life cycle assessment of hydrogen production from natural gas using cur-rent and emerging technologies," *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), pp. 18894-18909. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.219>
11. Faheem, H.H., et al. (2021). "Comparative study of conventional steam-methane-reforming (SMR) and auto-thermal-reforming (ATR) with their hybrid sorption enhanced (Se-SMR & Se-ATR) and environmentally benign process models for the hydrogen production," *Fuel*, 297, p. 120769. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120769>
12. Kapadia, P.R., et al. (2013). "Practical process design for in situ gasification of Bitumen," *Applied Energy*, 107, pp. 281-296. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.035>
13. Vaezi, M., et al. (2011). "Gasification of heavy fuel oils: A thermochemical equilibrium approach," *Fuel*, 90(2), pp. 878-885. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.10.011>
14. Katebah, M., Al-Rawashdeh, M., & Linke, P. (2022). "Analysis of hydrogen production costs in steam-methane reforming considering integration with electrolysis and CO₂ Capture," *Cleaner Engineering and Technology*, 10, p. 100552. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100552>
15. Acar, C., & Dincer, I. (2016). "Analysis and assessment of a continuous-type hybrid photoelectrochemical system for hydro-gen production," *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, (9-10), pp. 66-81. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.09-010.066-081>
16. (2022). Sovremennyj zelenyj kurs Rossii: problemy i perspektivy realizacii / N. G. Gadzhiev, S. A. Konovalenko, M. N. Trofimov [i dr.]. *YUg Rossii: ekologiya, razvitie*, 2022, T. 17, № 3(64), pp. 197-207, DOI 10.18470/1992-1098-2022-3-197-207, EDN RJPFBX.
17. (2019). Tekhnologii Power-To-X: Uslovie Energeticheskogo Perekhoda. *Energetika i promyshlennost' Rossii*, 2019, T. 374, № 18.
18. Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). "Hydrogen production by PEM water electrolysis - a review," *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), pp. 442-454. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>
19. Shiva Kumar, S., & Lim, H. (2022). "An overview of water electrolysis technologies for Green Hydrogen production," *Energy Reports*, 8, pp. 13793-13813. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>
20. Wang, L., et al. (2019). "Power-to-fuels via solid-oxide electrolyzer: Operating window and Techno-Economics," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, pp. 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.071>
21. (2008). Poluchenie vodoroda elektro-lizom vody: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy / S. A. Grigor'ev, V. I. Porembskij, V. N. Fateev [i dr.]. *Transport na alternativnom toplive*, 2008, № 3(3), pp. 62-69, EDN ZRERYB.