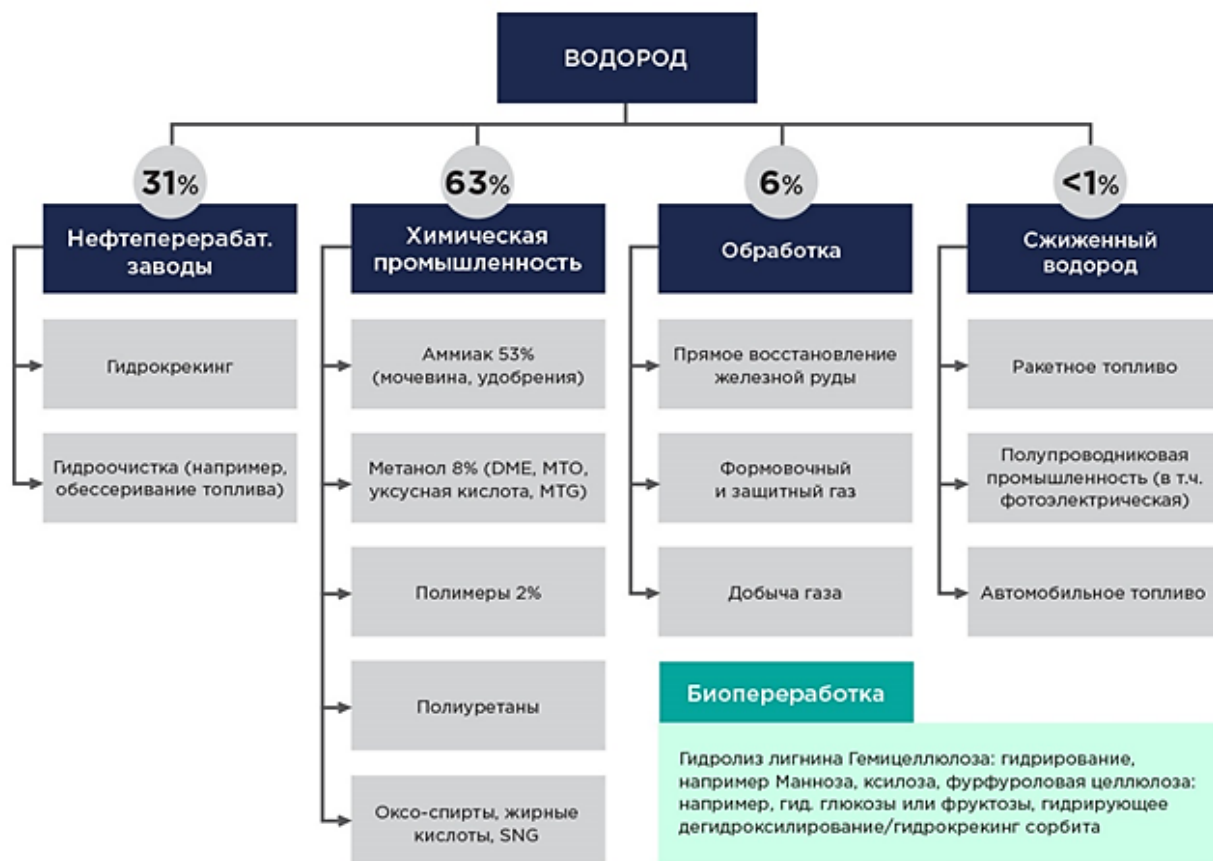


ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Водород - самый простой, легкий и распространенный химический элемент на земле. Водород является не источником, а скорее переносчиком энергии. Он не существует отдельно и содержится в соединениях с другими элементами. Его можно получить из воды, биомассы и углеводородов. Чтобы получить чистый водород, его необходимо отделить от его соединений. Производство водорода основано на ископаемом топливе и электролизе. В настоящее время водород в основном используется в химическом секторе для производства аммиака и рафинирования, гидрокрекинга и десульфурации ископаемого топлива.



Источник: DECHEMA, DOE, Fair-PR, Linde

В зависимости от базовой технологии производства бесцветного водорода водород делится на шесть категорий, которые маркируются разными цветами. Это серый, голубой, бирюзовый, желтый, оранжевый и зеленый типы водорода. серый, голубой, бирюзовый водород

производятся на основе ископаемого топлива. Желтый и оранжевый водород получают с помощью электролиза, однако при этом используемая электроэнергия вырабатывается на атомной электростанции. Зеленый водород полностью основан на электролизе, при котором необходимая электроэнергия вырабатывается за счет солнечной или ветровой энергии.



Источник: energypolicy.ru

Все категории водорода, но особенно зеленый, предоставляют реальную возможность для сокращения выбросов парниковых газов в труднодоступных и/или электрифицируемых секторах, таких как сталелитейная промышленность, химическая промышленность, дальнемагистральный транспорт, судоходство и авиация. В отличие от водорода на основе нефти, природного газа или угля, только использование "зеленого" водорода, который вырабатывается в результате электролиза, запускаемого возобновляемыми источниками энергии, может привести к реальной климатической нейтральности самого энергетического сектора и вышеупомянутых трудноэлектрифицируемых секторов.

Электролиз — это устоявшаяся технология получения водорода с помощью воды и электричества. Водород может стать хорошим дополнением к солнечной и ветровой энергии в энергетическом балансе. Следовательно, водород является потенциальным решением проблемы неустойчивости и перебоев в использовании энергии ветра и солнца, которые требуют существенной доли ископаемого топлива,

особенно природного газа, в качестве резервной энергии в энергетических балансах отдельных стран.

Концепция водородной экономики, предложенная в 1970 году американским электрохимиком Джон Бокрисом казалась футуристическим более четырех [десятилетий](#). В своей недавней [статье](#) о перспективах использования водорода Майк Скотт приходит к выводу, что зеленый водород является будущим в энергетике и подкрепляет свое мнение масштабными достижениями в плане инвестиций в развитие водородной [инфраструктуры](#). В настоящее время существует более 170 действующих водородных проектов в 162 странах. Мировой спрос на чистый водород увеличивается. Так, в 2022 году в мире было произведено 98 млн т водорода (в 2020-м – 90 млн т, в 2021-м – 94 млн т). Согласно [докладу](#) Международного энергетического агентства (МЭА), к **2050** году мировой спрос на водород должен достичь **528 млн тонн**, а его доля в мировом энергобалансе составит **18%** (в том числе 10% будет приходиться на "зеленый" водород). По консолидированным оценкам, к 2030 году объем глобального рынка низкоуглеродного водорода достигнет \$500–800 млрд в год. Активно формируется и глобальный рынок оборудования для водородной энергетики, в первую очередь электролизеров и топливных элементов. Его объем уже сегодня составляет \$5–7 млрд, а к 2050 году может достичь \$200–225 млрд. В 2022 году основным потребителем водорода в мире были следующие отрасли: нефтепереработка (45%), производство аммиака и метанола (36% и 14% соответственно) и металлургия (5%). Потребление водорода на энергетические нужды и в сфере транспорта составило примерно 40 тыс. т (0,04 % от общего показателя).

8 декабря 2020 года семь ведущих разработчиков экологически чистого водорода, саудовская группа чистой энергетики ACWA Power, австралийский разработчик энергетических проектов CWP Renewables, китайский производитель ветряных турбин Envision, итальянская газовая группа Snam, норвежский производитель удобрений Yara и энергетические гиганты Iberdrola и Ørsted запустили инициативу [Green Hydrogen Catapult](#), которая предусматривает 50-кратное увеличение производства экологически чистого водорода до [2026 года](#). В абсолютных цифрах резкий рост производства подразумевает использование 25 гигаватт экологически чистой энергии водорода и снижение себестоимости производства водорода ниже порогового уровня в 2 доллара США за килограмм.

Основные тенденции данного рынка – замещение водорода с высоким углеродным следом на низкоуглеродный, а также формирование инфраструктуры водородного транспорта и начало применения водорода в отраслях, где этот газ ранее массово не использовался.

Топ-10 перспективных водородных технологий

ИНДОТЭК

Источник: данные Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ



Производство



Хранение



Потребление

Ранг	Технологии	Индекс значимости	Этап цепочки создания стоимости
1	Топливные элементы (ячейки) на основе водорода (электрохимические генераторы)	1.00	
2	Материалы для водородных компонентов	0.85	
3	Производство водорода на основе солнечной энергии	0.47	
4	Паровая конверсия метана (на основе природного газа)	0.38	
5	Крупные промышленные установки для производства водорода	0.35	
6	Подземная газификация угля	0.33	
7	Системы и методы хранения водорода (в газообразном, жидком виде, гибридные системы и др.)	0.28	
8	Автотранспорт на водородных топливных элементах	0.17	
9	Электрохимический способ получения водорода (электролиз)	0.17	
10	Технологии производства «зелёного» водорода	0.16	

Источник: НИУ ВШЭ

Сегодня водород рассматривается как перспективный энергоноситель, способный обеспечить надежное получение доступной и экологичной энергии. Поэтому в последние десятилетия в мире разработано большое число новых технологий в области производства, хранения и транспортировки водорода.

Большинство исследований сегодня касается производства водородных топливных элементов (ячеек). Они преобразуют химическую энергию в электричество и применяются в промышленности для автономной генерации и накопления энергии, на транспорте (авиа-, авто-, железнодорожном), в электроэнергетике для обеспечения энергией удаленных и труднодоступных районов. Например, в Индии стратегия развития водородной энергетики предполагает, прежде всего, реализацию проектов по созданию топливных ячеек для автомобильного и железнодорожного транспорта. В Южной Корее в 2021 году запущена в эксплуатацию самая крупная в мире электростанция на водородных топливных элементах. Ряд ведущих японских корпораций (например, Teijin Group) в 2022 году запустили пилотные проекты апробации портативных водородных топливных ячеек сразу в нескольких отраслях: строительстве, морских перевозках и авиакосмической индустрии.

Не менее значимым направлением научных исследований является поиск и создание материалов для водородных компонентов. Прежде всего речь идет о материалах, используемых для катализаторов, обеспечивающих выработку электроэнергии. Каталитические технологии, без которых немыслима вся современная нефтеперерабатывающая и химическая промышленность, нефте- и газохимия, фармацевтическая и пищевая отрасли, составляют также основу водородных технологий. Как правило, в катализаторах используется платина, за счет чего водородные топливные ячейки имеют очень высокую стоимость. Поэтому сегодня активно изучаются возможности использования других материалов. В 2022 году специалисты Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе применили вместо платины кристаллы платинокобальтового сплава. В начале 2023 года российские ученые разработали другой материал для электрокатализаторов – углеродные микротрубки, покрытые композитами на основе никеля и меди. Это делает процесс получения водорода более дешевым и эффективным.

А вот производство экологически чистого зеленого водорода путем электролиза воды с использованием ВИЭ остается дорогостоящей технологией с отдаленными перспективами реализации. Текущий уровень готовности пока не позволяет говорить о коммерциализации этих разработок. Они приобрели популярность в силу масштабных и системных инвестиций в исследования со стороны ряда государств, в первую очередь стран ЕС. Стоимость электролизеров постепенно снижается (за 2018–2022 годы – вдвое), появляются более мощные и масштабируемые установки, хотя их применение все еще ограничено.

Что касается сферы хранения водорода, то сегодня основная задача состоит в том, чтобы создать такие коммерческие системы, которые бы отличались энергоэффективностью и вместительностью. Один из наиболее удобных и наименее затратных вариантов для длительного использования в промышленных масштабах – подземное хранение водорода. Еще в 1970-х годах для этих целей были оборудованы подземные солевые шахты, например в США и Германии. В Соединенных Штатах в настоящее время планируется строительство крупнейшего подземного хранилища водорода.

Флагманами развития водородомобильной индустрии являются Япония и Южная Корея. Компании Toyota и Hyundai наладили серийное производство пассажирских электромобилей, работающих на топливных водородных ячейках. За счет государственной поддержки

продажи пассажирского и грузового транспорта на топливных ячейках увеличились в 2021 году более чем на 66% по сравнению с 2020 годом.

Эксперты в целом склоняются к тому, что мировой рынок водородной энергетики будет сформирован не ранее начала 2030-х годов. Это обусловлено незрелостью существующих технологий, а также отсутствием необходимого законодательного регулирования, обеспечивающего безопасное и эффективное использование водорода. Развитию водородного рынка также препятствуют высокие издержки производства и хранения водорода, потери энергии на каждом этапе цепочки создания стоимости, сложности транспортировки и т. д.

Узбекистан

Развитие «водородной» энергетики в Республике Узбекистан является государственной политикой, это связано с необходимостью диверсификации энергоресурсов и климатической повесткой.

Ещё в 2021 году Минэнерго Узбекистана [подписало](#) соглашения с ACWA Power (Саудовская Аравия) и американской Air Products о развитии в Узбекистане водородной энергетики. В августе 2022 года стороны [заключили](#) ещё один договор - о промышленном производстве «зелёного» водорода.

Проект с ACWA Power будет реализован в 2 этапа. Ожидается, что мощность производства на 1^м этапе составит 3 тыс. т/год зеленого водорода. По плану 1^й этап реализуется после подписания соглашения о покупке водорода и электроэнергии в мае 2023 г. После завершения 2^{го} этапа ветряные электростанции ([ВЭС](#)) мощностью 2,4 ГВт позволят производить 500 тыс. т/год зеленого водорода. Ввод предприятия в эксплуатацию намечен на декабрь 2024 г.

Стоит отметить, что в ноябре 2023 года ACWA Power приступила к реализации 1го этапа проекта по производству зеленого водорода. Об этом сообщает пресс-служба саудовской компании.

Для ACWA Power это будет 2^й проект по производству зеленого водорода после [NEOM Green Hydrogen Project](#) в Саудовской Аравии, который реализуется совместно с NEOM и Air Products. ACWA Power является ведущим саудовским разработчиком, инвестором и оператором электростанций, а также установок по опреснению воды и зеленого водорода по всему миру.

Отметим, что помимо ACWA Power, проектами по производству водорода заинтересован завод **Uzbekistan GTL**, в котором [заработала](#) установка по производству водорода.

После полного ввода установки в эксплуатацию завод сможет получать до 300 млн кубометров водорода ежегодно. Полученный объём будет использоваться в производстве синтетической нефти и топлива.

Казахстан

В Казахстане производство «зелёного» водорода намерены наладить немецко-шведская компания SVEVIND Energy в Мангистауской области. Дорожная карта реализации проекта была подписана в 2021 году. При этом SVEVIND Energy Group намерена инвестировать в производство зеленого водорода в Казахстане 50 млрд. долларов. Планируется построить ветровые и солнечные электростанции мощностью на 30 ГВт, и за счет этих ресурсов производить до 3 млн тонн водорода в год.

Таджикистан

К 2040 г. Таджикистан планирует производить 1 млн тонн «зеленого» водорода ежегодно для внутренних нужд и экспорта в страны Центральной Азии. Сообщается, что к 2030 г. Таджикистан планирует достичь 10 ГВт мощности возобновляемой энергии. Сейчас страна полностью зависит от импорта нефтепродуктов, и власти разрабатывают план по производству «зеленого» водорода в т.ч. для снижения зависимости от внешних поставок.

Согласно планам, Таджикистан намерен производить 500 тыс. т «зеленого» водорода к 2030 г. Удвоить эту цифру планируют к 2040 г. благодаря доступной и конкурентоспособной электроэнергии. При этом 75% этого объема потенциально будет направлено на экспорт в страны Центральной Азии. Однако пока не уточняются ни финансовые детали, ни компании-партнеры по производству зеленого водорода.

Кыргызстан

В июне 2023 года в Бишкеке на встрече Президента Кыргызстана Садыр Жапаров с Президентом Германии Франком-Вальтером Штайнмайером обсуждался вопрос привлечения германских технологий для производства зеленого водорода. Конкретные планы по реализации проектов пока отсутствуют.

Туркменистан

Председатель государственного концерна «Туркменхимия» Доврангельды Сапбаев на площадке международного форума OGT-2023 заявил о ключевых направлениях развития химической промышленности Туркменистана, в частности о [развитии](#) водородной энергетики. Д.Сапбаев отметил, что в этой связи в Туркменистане проводится концептуальная деятельность по разработке национальной стратегии по диверсификации [водородной энергетики](#). В рамках данной работы уже разработана дорожная карта по ускорению международного сотрудничества в этой области.

**Команда Центра Энергетической Дипломатии и Геополитики
Института перспективных международных исследований (ИПМИ)**

Источники:

<https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v284y2023ics0360544223027524.html>
<https://www.swissinfo.ch/rus/sci>
<https://www.eprussia.ru/market-and-analytics/2762164.htm>
<https://blogs.worldbank.org/ru/voices/raskrytie-potenciala-vodoroda-dlya-perekhoda-k-chistoy-energetike>
<https://www.finam.ru/publications/item/ocenki-sprosa-na-vodorod-v-mire-k-2050-godu-variruyutsya-do-pochti-700-mln-tonn-novak-20210415-131727/>
<https://delprof.ru/press-center/open-analytics/vodorodnaya-energetika-2023-trendy-i-perspektivy-rynka-chistoy-energetiki/>
<https://tass.ru/ekonomika/18821543>
<https://business.com.tm/ru/post/10352/turkmenistan-gotov-rassmotret-predlozheniya-po-proizvodstvu-vodoroda-iz-prirodnogo-gaza>
<https://centralasia.news/24695-na-ogt-2023-turkmenistan-zajavil-o-planah-po-diversifikacii-vodorodnoj-energetiki.html>
<https://www.akchabar.kg/ru/article/economy/kyrgyzstan-mozhet-zanyat-svoyu-nishu-v-proizvodstve-vodorodn/>
<https://economist.kg/all/2023/06/22/pri-nalichii-ghiermanskikh-tiekhnologhii-kyrgyzstan-mogh-by-proizvodit-zieliyni-vodorod-sadyr-zhparov/>
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/54/110/54110014.pdf
<https://nangs.org/news/renewables/hydrogen/spros-na-vodorod-i-ego-proizvodnye-v-sudokhodstve-nachnet-bystryj-rost-s-serediny-2030-kh-godov-schitayut-v-dnv>
<https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/795709-tadzhikistan-planiruet-ezhegodno-proizvodit-1-mln-t-zelenogo-vodoroda-dlya-eksporta-v-strany-tsentra/>
<https://forbes.kz/economy/energy-subsoil/kak-v-kazahstane-realizuyut-proekt-po-proizvodstvu-zelenogo-vodoroda-stoimostyu-50-mlrd>
<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/914281/chapter-7-russian.pdf>
<https://globuc.com/ru/news/azamat-kozhanov-kazakhinvest/>
<https://neftegaz.ru/news/ecology/756154-v-kazahstane-namereny-sozdat-tsentr-po-proizvodstvu-i-raspredeleniyu-zelenogo-vodoroda/>
<https://qazaggreen.com/journal-qazaggreen/expert-opinion/1442/>
<https://www.gov.kz/memleket/entities/mfa/press/news/details/269278?lang=ru>
https://renen.ru/v-uzbekistane-nachat-proekt-po-proizvodstvu-zelenogo-vodoroda/#google_vignette
<https://www.gazeta.uz/ru/2023/07/21/hydrogen/>
<https://www.spot.uz/ru/2023/01/20/acwa-hydrogen/>
<https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/805117-acwa-power-zapuskaet-pervyy-v-uzbekistane-proekt-po-proizvodstvu-zelenogo-vodoroda/>
<https://anhor.uz/news/hydrogen/>
<https://www.gazeta.uz/ru/2023/11/27/projects/>
<https://president.uz/ru/lists/view/6890>
<https://www.spot.uz/ru/2022/02/23/gtl-hydrogen/>
<https://uz.sputniknews.ru/20230803/chto-takoye-zelenyy-vodorod-nujen-li-on-uzbekistanu-otvechayet-ekspert-37556070.html>
<https://ru.dsisolar.com/info/what-is-green-hydrogen-and-why-do-we-need-it-74200627.html>
<https://ru.euronews.com/green/2023/04/05/spain-is-ramping-up-green-hydrogen-production-but-can-its-renewable-energy-sector-keep-up>
<https://tass.ru/obschestvo/13271849>
<https://cyberleninka.ru/article/n/kak-prevratit-zelyonyy-vodorod-v-ekonomicheskii-vygodnyy-energonositel>
<https://trends.rbc.ru/trends/green/64ad3aca9a79474eabb9312f>
<https://www.woodmac.com/lens/hydrogen/>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223027524>
<https://www.scielo.br/j/jbchs/a/4SkY3vpBN3yqqYTVXRzHLMC/>
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/presse/at-deloitte-wasserstoffstudie-2023.pdf>
<https://www.columbiathreadneedle.se/en/intm/insights/green-hydrogen-the-investment-perspective/>
<https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13464>
https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2020/01/hydrogen_report.pdf?la=en
https://www.energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/pictures/HydrogenProduction_CGEP_FactSheet3_0521.pdf
<https://racetozero.unfccc.int/green-hydrogen-catapult/>
<https://www.forbes.com/sites/mikescott/2020/12/14/green-hydrogen-the-fuel-of-the-future-set-for-50-fold-expansion/?sh=7649eaab6df3>