

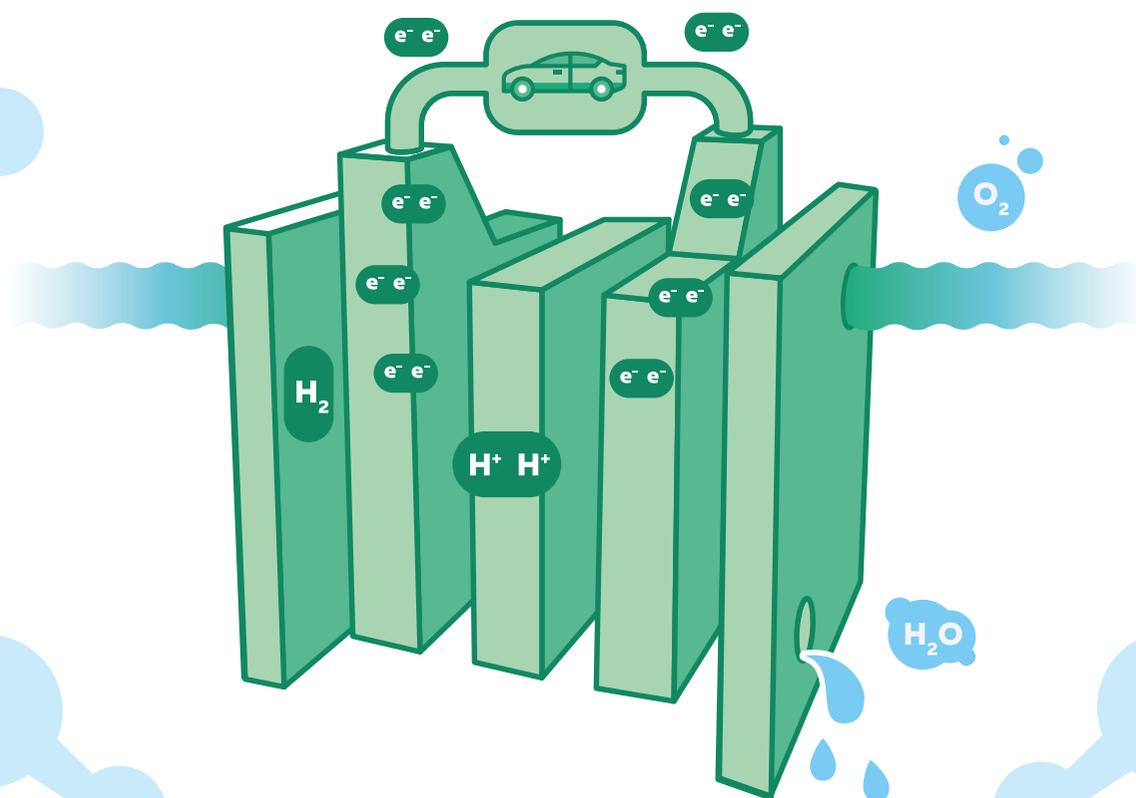
ВОДОРОД, ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И Е-ТОПЛИВО



ТОПЛИВНЫЙ ДАЙДЖЕСТ

#5, 2024

- ☞ Водородные стратегии Австралии, Египта и Казахстана
- ☞ Частичный пиролиз природного газа без выбросов CO₂
- ☞ Перспективы природного, или золотого водорода
- ☞ Факторы, влияющие на углеродоемкость голубого водорода
- ☞ Е-топлива: возможно ли производство без субсидий при принятых штрафах



Новости

Компания Gold H₂ (США) подписала меморандум о пилотных испытаниях своей технологии [16503]. Суть процесса состоит в использовании истощенных нефтяных месторождений для получения дешевого водорода (0,8 \$/кг) с помощью микроорганизмов.

На Сахалине открыли полигон, который запланировано использовать для производства ВИЭ, зеленого и голубого водорода [16294].

Аналитика

Обзор мировой водородной отрасли представлен в отчете МЭА [17107]. На рисунке представлена динамика спроса на водород в различных секторах, а также прогнозируемые объемы производства до 2030 г. В анализе развития энергетики от McKinsey показано, что спрос на водород к 2050 г. вырастет в 2–4 раза по сравнению с текущим уровнем [16803]. Прогнозы роста спроса были пересмотрены в сторону понижения на 10–25% из-за увеличения стоимости технологий, неопределенности в регулировании и доступности инфраструктуры. Развитие водорода

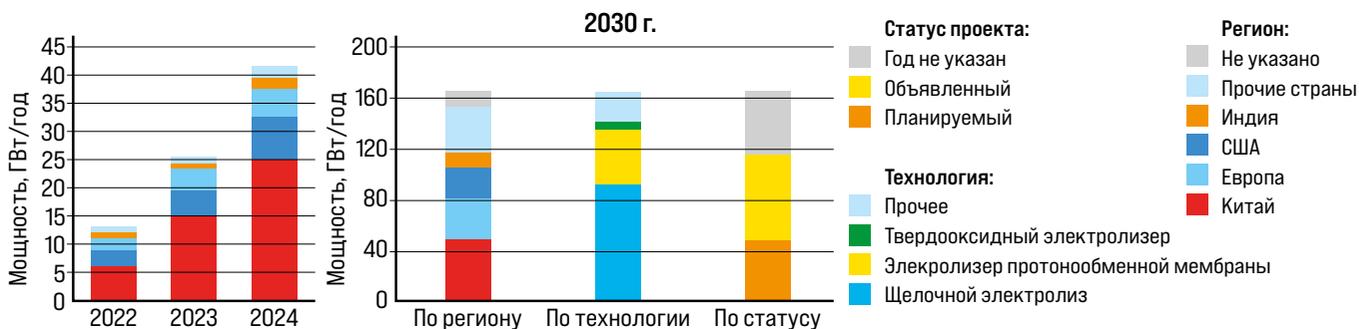
в Юго-Восточной Азии и Восточной Азии показано в отчете ASEAN [16732].

В обзоре РЭА Минэнерго представлены 3 сценария развития энергетики, в которых рассматривается водород [15605]. По сценарию "чистый нуль" ожидаемое потребление в 2050 г. составит 370 млн т, по пути "все как встарь" потребление водорода практически не изменится.

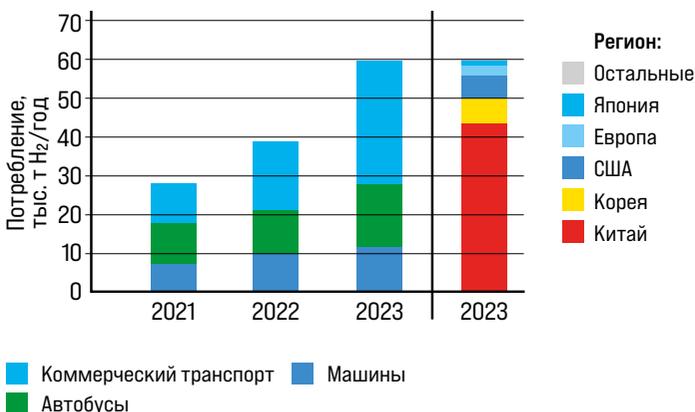
IRENA приводят обзор тенденций в области регулирования, стандартизации и сертификации H₂ [17101]. Существуют значительные различия в методологиях учета выбросов и критериях отнесения водорода к низкоуглеродному в разных странах и регионах. Единых международных норм пока не существует, ISO/TS 19870:2023 – первый шаг на этом. Нормативному регулированию углеродного следа H₂ также посвящена статья Газпрома [15783].

Результаты Всемирного водородного саммита, прошедшего в мае 2024 г., показаны в презентации Wood Mackenzie [16010]. Описаны возможности использования китайских электролизеров, перспективы аммиака и итоги акционеров Европейского водородного банка.

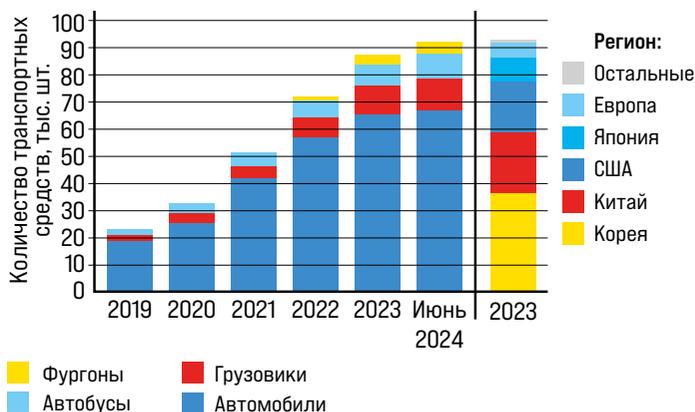
Производственные мощности электролизеров по регионам и планируемые мощности в 2030 г.



Потребление водорода дорожным транспортом



Автомобили с топливными элементами



■ Стратегии

■ *Очистка и выделение водорода*

Затраты на выделение водорода из отходящих газов НПЗ

Затраты на выделение водорода из газов изомеризации и риформинга

■ **Декарбонизация сетей природного газа**

■ **Топливные элементы**

■ **Природный, или золотой водород**

Механизм образования залежей водорода в горных породах

■ E-топливо

Основными барьерами для масштабного производства e-топлив остаются высокие затраты на производство зеленого водорода и улавливание CO₂, а также значительные капитальные вложения в инфраструктуру [16247]. Для достижения конкурентоспособности важны также меры политики, включая квоты, штрафы за несоблюдение стандартов выбросов и субсидии. В рамках уже заложенной системы штрафов производство e-топлив для авиации и морского транспорта без субсидий станет возможным в 2040 г. (рисунок).

В июне 2024 года в Берлине состоялась Вторая международная конференция по e-топливам, организованная Министерством транспорта Германии, по результатам которого опубликованы рекомендации для развития направления [16161]. К ним относятся гармонизация стандартов сертификации, политические меры поддержки, развитие цепочек создания стоимости и др.

Гибридный НПЗ с интеграцией технологий улавливания углерода, зеленого водорода и синтетических топлив рассмотрен в статье IDOM [15638]. При стоимости переоборудования 1,6 млрд \$ будет обеспечиваться улавливание 884 тыс. т CO₂/год и

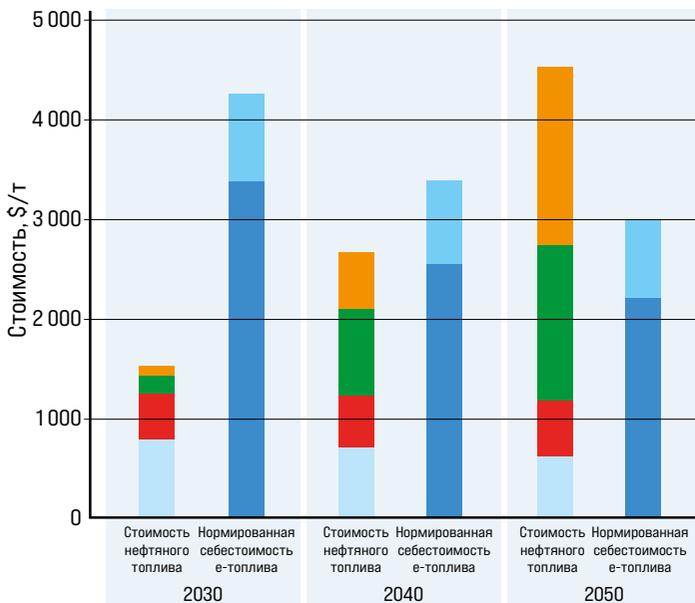
производство e-топлив 20 тыс. т/год.

■ Хранение и транспортировка H₂

Университет исследований транспорта анализирует технологии хранения и транспортировки водорода [15387]. Хранение водорода в трубопроводах с использованием линейной упаковки показало низкую стоимость — 0,05 \$/кг H₂. Однако эта технология подходит только для краткосрочного хранения. Соляные каверны являются наиболее экономически эффективным вариантом для сезонного хранения водорода (до 120 дней) при стоимости 0,24–1,6 \$/кг H₂, в зависимости от продолжительности хранения.

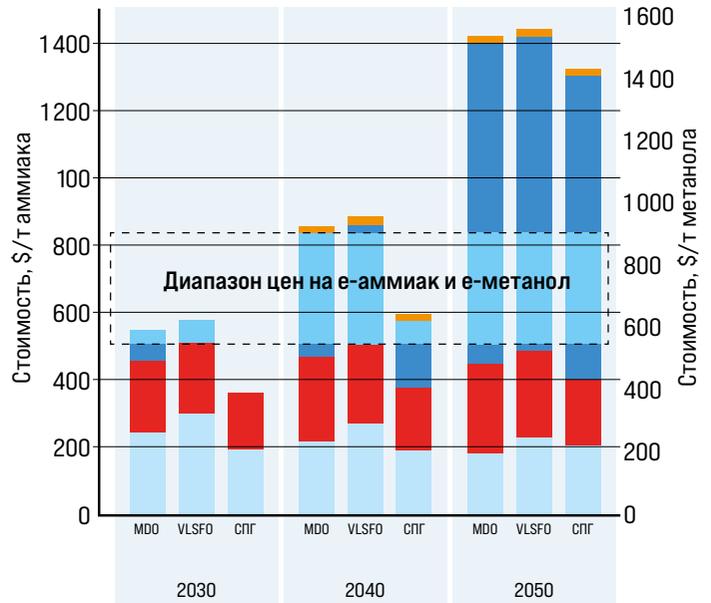
Университет Ставангера (Норвегия) исследует возможность хранения водорода в подземных соляных кавернах [13637]. Примеси, такие как ангидрит, карбонаты и глина, могут уменьшать механическую стабильность каверн, способствуя развитию микроразрывов, которые повышают риск утечек водорода. Галофильные бактерии, способные выживать в соляных средах, могут вызывать образование сероводорода, ухудшающего качество водорода и способствующего коррозии. Таким образом, необходим тщательный анализ состава соли и структурных примесей до начала эксплуатации.

Сравнение стоимости e-топлива для авиации по отношению к нефтяному керосину



■ Штраф ReFuelEU — E-топлива ■ Стоимость производства e-топлива
■ Штраф ReFuelEU — SAF ■ Диапазон возможной стоимости
■ Система торговли выбросами
■ Стоимость топлива

Сравнение стоимости e-топлив для судового транспорта по отношению к нефтяным



■ Штраф FuelEU — E-топлива ■ Штраф FuelEU — Выбросы парниковых газов
■ Система торговли выбросами
■ Стоимость топлива

■ Голубой водород

В отчете Carbon Tracker проанализировано влияние технологии производства голубого водорода на выбросы [16339]. Так, улавливание CO₂ не делает продукт низкоуглеродным по умолчанию. В частности, если у природного газа высокий уровень выбросов на этапе добычи и транспортировки, например, при импорте СПГ в Объединенное Королевство из США (рисунок).

В статье sbh4 Consulting оцениваются особенности проектов по улавливанию CO₂ по технологии "до сжигания" для производства аммиака и оксида этилена [15638]. Показан опыт коммерческих проектов по таким направлениям.

■ Зеленый водород

Национальный университет Тенага и технологический университет Сиднея опубликовали обзор технологий зеленого водорода [13673]. Среди различных технологий наибольшая эффективность достигается при использовании твердооксидных электролизеров (SOEC), которые обладают КПД до 90%, значительно превышая показатели щелочных и PEM электролизеров. Стоимость зеленого водорода быстро снижается благодаря

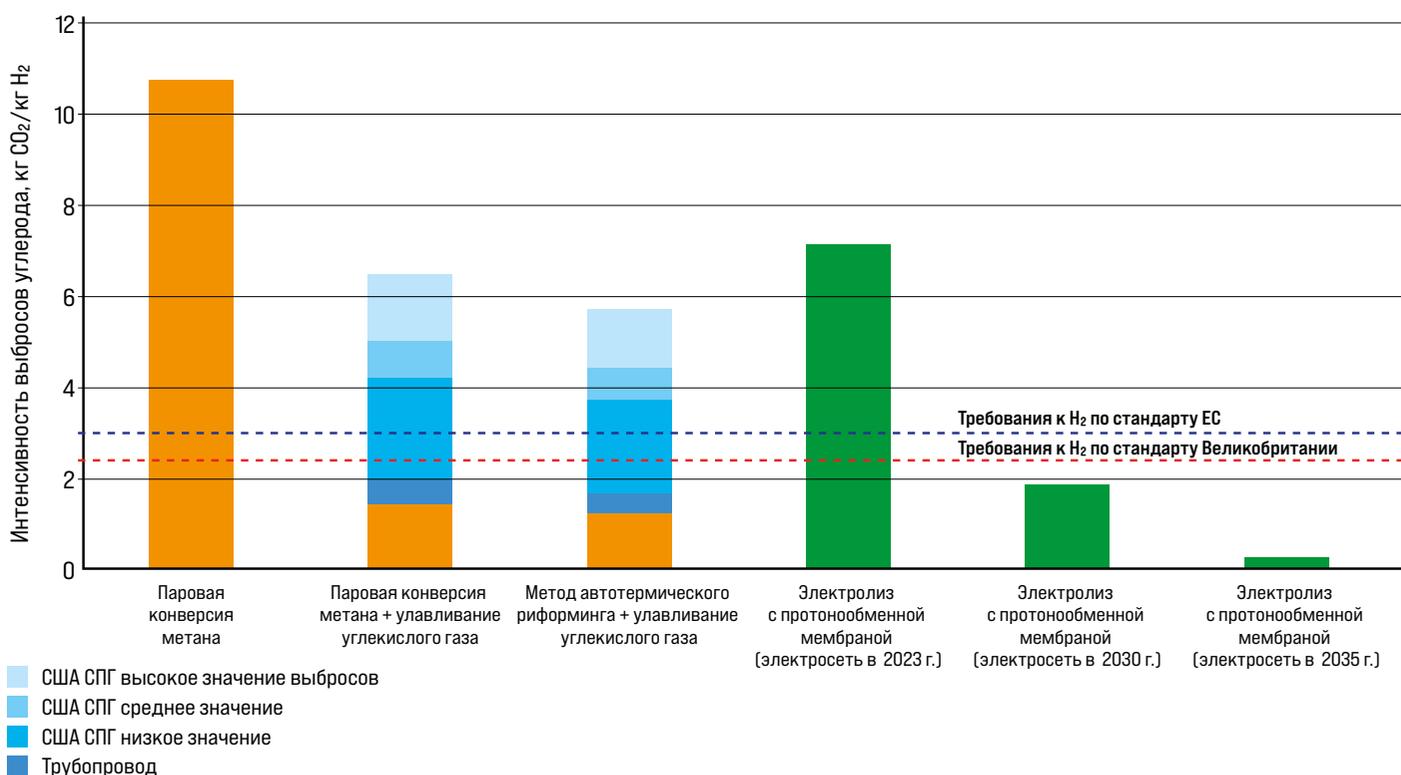
удешевлению возобновляемой энергии и электрохимических систем, что делает его конкурентоспособным по отношению к голубому водороду.

Доклад IGES посвящен роли субнациональных правительств Индии в развитии зеленого водорода [15346]. Среди основных проблем названы нехватка инфраструктуры для передачи электроэнергии, слабая технологическая база и ограниченные финансовые ресурсы. В докладе предложена программа из 6 пунктов для содействия развитию водородной экономики.

■ Утечки водорода

Утечкам водорода и их влиянию на окружающую среду посвящены статьи университета Цзянсу (Китай) [15295] и Кэмбриджского университета [13669]. Повышенные выбросы водорода могут косвенно способствовать глобальному потеплению через увеличение содержания метана, тропосферного озона и стратосферных водяных паров. При утечке водорода в пределах 1-10% от его производства климатическая выгода перехода на водородную экономику снижается на 0,4-4%. Для минимизации негативного воздействия рекомендуется строгий контроль утечек водорода.

Сравнение выбросов от голубого и зеленого водорода в соответствии с различными сценариями



Полный перечень материалов мониторинга

| Источник | # файла в библиотеке FD |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ■ Отчеты | |
| Глобальный обзор водорода 2024 г. МЭА 2024 г. | |
| Глобальная энергетическая перспектива 2024 г. McKinsey & Company 2024 | |
| Исследование спроса и потенциала предложения водородной энергетики в государствах Юго-Восточной Азии и Восточной Азии ERIA 2024 год | |
| Мировая торговля продуктами на основе зеленого водорода IRENA 2024 | |
| Сценарии развития мировой энергетики до 2050 г. РЭА Минэнерго России 2024 | |
| Национальная низкоуглеродная водородная стратегия Египта Advisian 2024 г. | |
| Национальная водородная стратегия 2024 DCCEEW 2024 | |
| Потенциал использования водорода в транспортном секторе Казахстана Немецкое энергетическое агентство 2024 | |
| Очистка H ₂ : Решение новых задач за счет существующих решений Hydrocarbon Processing 2023 | |
| От природного газа к водороду: каковы правила декарбонизации газовых сетей в Европе и обеспечивают ли они гибкость и надежность поставок? Оксфордский институт энергетических исследований 2024 | |
| Хранение и транспортировка водорода: технологии и затраты Калифорнийский университет в Дэвисе 2024 | |
| Первое исследование выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла при использовании аммиака в качестве морского топлива Sphera 2024 | |
| Добавление огня в е-топливо: является ли синтетическое топливо ключом к разблокированию роста водородной энергетики? WoodMackenzie 2024 | |
| Ключевые рекомендации по итогам 2-й международной конференции eFuel eFuel 2024 | |
| Реальное влияние голубого водорода на климат Carbon Tracker 2024 | |
| Как правильное измерение углеродоемкости низкоуглеродного водорода может снизить регуляторный риск Оксфордский институт энергетических исследований 2024 | |
| Подготовка наборов данных для инвентаризации жизненного цикла для цепочки создания стоимости водорода Европейская комиссия 2024 | |
| Роль субнациональных правительств в зеленом водородном переходе Индии IGES 2024 | |
| ■ Статьи | |
| Мембраны на основе кристаллических пористых материалов для разделения водорода Fuel 2023 | |
| Частичная декарбонизация природного газа с нулевыми затратами путем пиролиза в расплавленных солях International Journal of Hydrogen Energy 2024 г. | |
| Подземное хранение водорода в кавернах: проблемы примесей Earth-Science Reviews 2023 | |

Полный перечень материалов мониторинга

| Источник | # файла в библиотеке FD |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Статьи | |
| Характеристика природных водородных резервуаров Буракебугу в Мали Nature 2024 | |
| Восстановление реакционной способности композитных с помощью электрохимически осажденных нанокатализаторов PrOx Advanced materials 2024 | |
| Скрытый водород. Имеются ли на Земле запасы возобновляемого безуглеродного топлива? Science 2023 | |
| Последние достижения и оценка технологий производства зеленого водорода Renewable and Sustainable Energy Reviews 2023 | |
| Всесторонний обзор утечек водорода в связи с распространением транспортных средств на топливных элементах и водородных заправках: состояние, проблемы и перспективы Energy Fuels 2024 | |
| Состав атмосферы и воздействие на климат будущей водородной экономики Atmospheric Chemistry and Physics 2023 | |
| Проблема хранения водорода: влияет ли способ и размер хранилища на стоимость и операционную гибкость цепей поставок водорода? International Journal of Hydrogen Energy 2023 | |
| Презентации | |
| Результаты Всемирного водородного саммита 2024 года Wood Mackenzie 2024 | |
| Прочие материалы (стандарты, журналы, новости) | |
| Технология декарбонизации Журнал Май, 2024 | |
| Исследования Университета штата Орегон открыли лучший способ производства экологически чистого H ₂ H2TECH 2024 | |
| Технологии декарбонизации Журнал Август, 2024 | |
| Gold H ₂ объявляет о внедрении в промышленность микробной технологии производства H ₂ H2TECH 2024 | |
| Технология декарбонизации Журнал Май, 2024 | |
| Исследования Университета штата Орегон открыли лучший способ производства экологически чистого H ₂ Новости, H2TECH 2024 | |
| Технологии декарбонизации Журнал Август, 2024 | |
| Нормативное регулирование оценки углеродного следа при производстве водорода Энергетическая политика 2024 | |
| Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2040 года Постановление Правительства Республики Казахстан 2024 | |
| PTQ Журнал 3 квартал, 2024 | |