



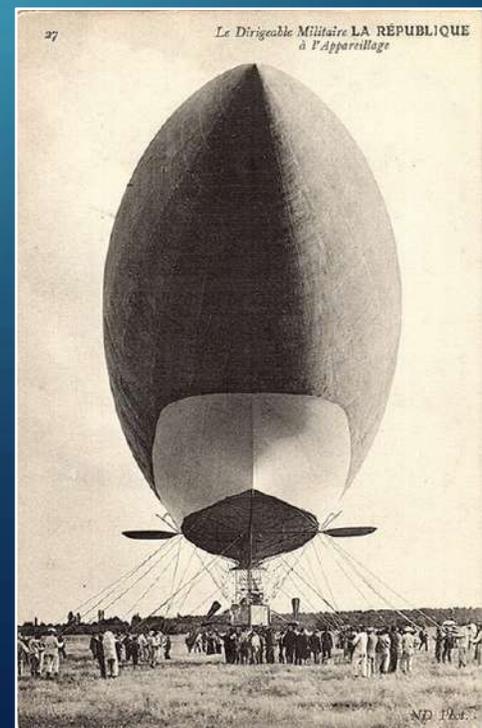
ВОДОРОДНАЯ СТРАТЕГИЯ - ЧАСТЬ IV ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

НАТАЛЬЯ ГРИБ,
УПРАВЛЯЮЩИЙ ДИРЕКТОР
ООО «ВМТ КОНСАЛТ»



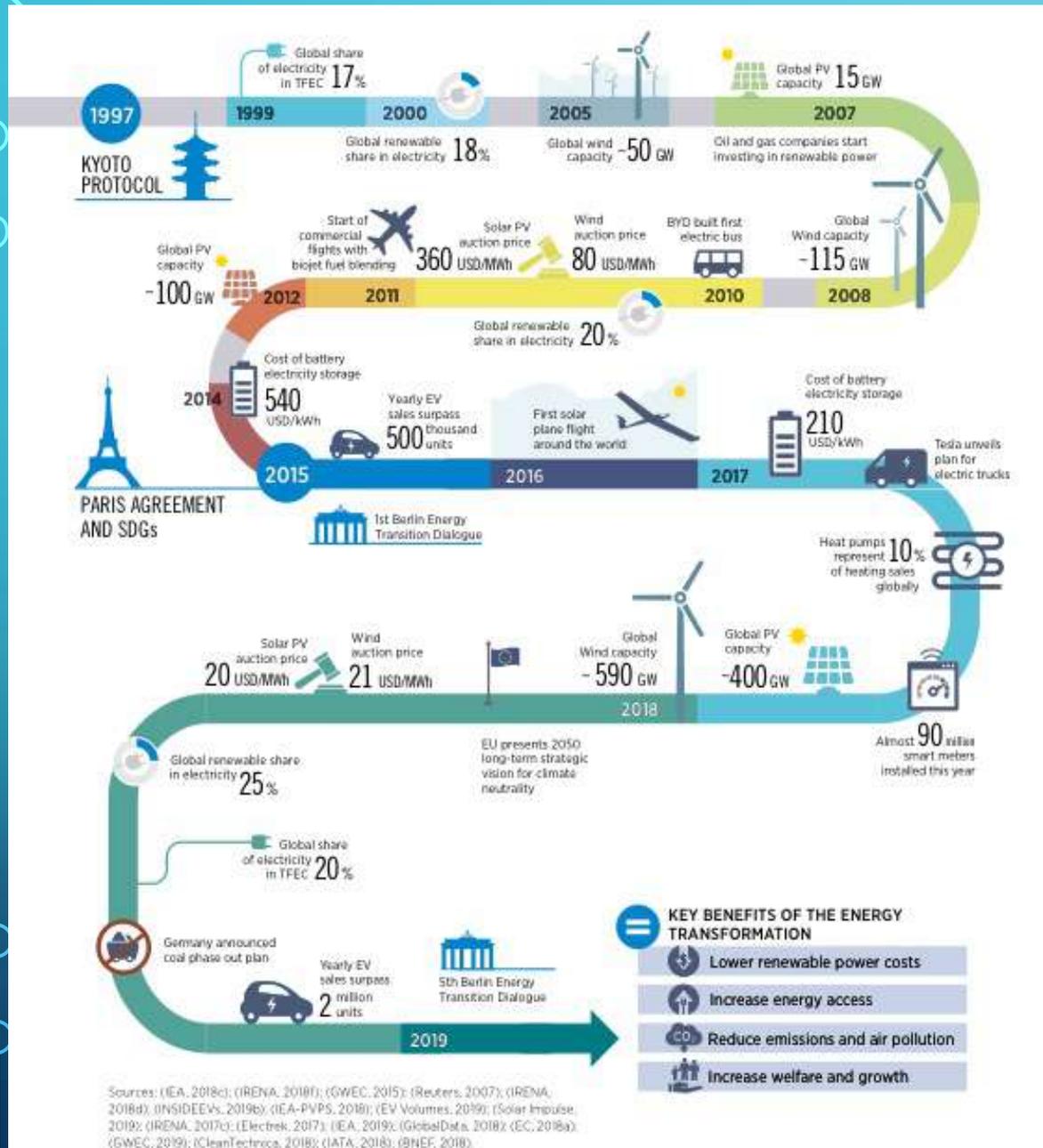
200 ЛЕТ ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ

- Освещение газовыми фонарями улиц Лондона началось в 1798 году - в то время до 40% газа составлял водород, получаемый в процессе высокотемпературного горения угля. Первую скважину нефти современного типа пробурили под Баку в 1848 году, а первый керосин в Северной Америке получили спустя 9 лет. То есть, водород в энергетику пришел на полвека раньше нефти. С тех пор периодически они конкурируют.
- В начале XIX века в Германии, Великобритании, СССР, США велись работы по переводу двигателей внутреннего сгорания на водород, он использовался как топливо для дирижаблей, в том числе для трансатлантических полетов. В 1940-е годы в блокадном Ленинграде в условиях жесткой нехватки ГСМ на водород переели 500 автомобилей и несколько дирижаблей.
- Периодические волны интереса к водороду продиктованы тем, что H_2 - это самый распространенный элемент на Земле и в космосе.
- Однако газовые фонари уступили в 1910 г. место электрическим лампочкам, а дирижабли спустя 40 лет проиграли конкуренцию самолетам.
- Сегодня водород остается мало востребованным энергоресурсом. В 2018 году в мире было произведено 70 млн т водорода - в 6285 раз меньше, чем добыто нефти и в 5514 раз меньше, чем поставлено на мировой рынок природного газа.

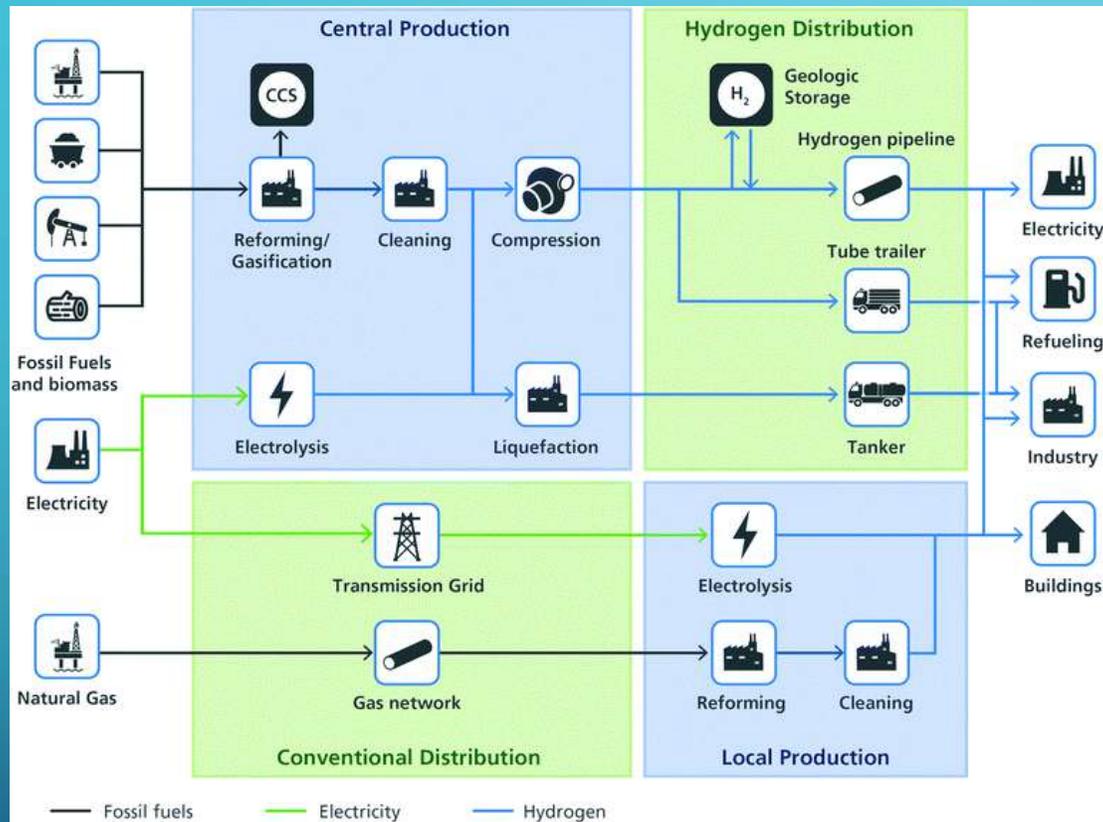


ВОДОРОД КАК КОНКУРЕНТ НЕФТИ

- В 70-е годы XX века после первого мирового нефтяного кризиса в СССР активно занимались разработкой топливных элементов (ТЭ) на водороде как альтернативе ДВС. В 90-е годы программы были свернуты в связи с прекращением финансирования.
- В США на финансирование программ по водороду в 1993-2001 гг. потратили \$151 млн. И в 2004 г. президенту США Джорджу Бушу-младшему предложили водородную концепцию как альтернативу на случай очередного нефтяного кризиса. Тогда это было дорого и казалось коммерчески неосуществимо. Но над проектом начали работать. И за прошедшие 15 лет ситуация изменилась во всем мире.
- За 10 лет стоимость ветрогенерации сократилась в 4 раза, а солнца – в 18 раз.
- В ближайшие 10-15 лет водород внесет серьезные изменения в мировую энергетику.
- Темпы развития ВИЭ за последние 10 лет были выше, чем скорость продаж мобильной связи.



ВОДОРОД СЛУЖИТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УДОБРЕНИЙ, НЕФТЕПРОДУКТОВ, СТАЛИ И ОХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ



Источник: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/ee/c8ee01157e>

Паровой риформинг – это каталитическая конверсия углеводородов (метана, пропан-бутана, бензина, керосина, дизтоплива, угля) в присутствии водяного пара. **Преимущество:** самый дешевый способ производства водорода, поэтому наиболее распространен. **Недостаток** – высокая эмиссия CO₂. Применение технологий улавливания и захоронения углекислого газа (CCS) решает проблему эмиссии, но существенно повышает стоимость водорода.

Сегодня водород интегрирован в технологии:

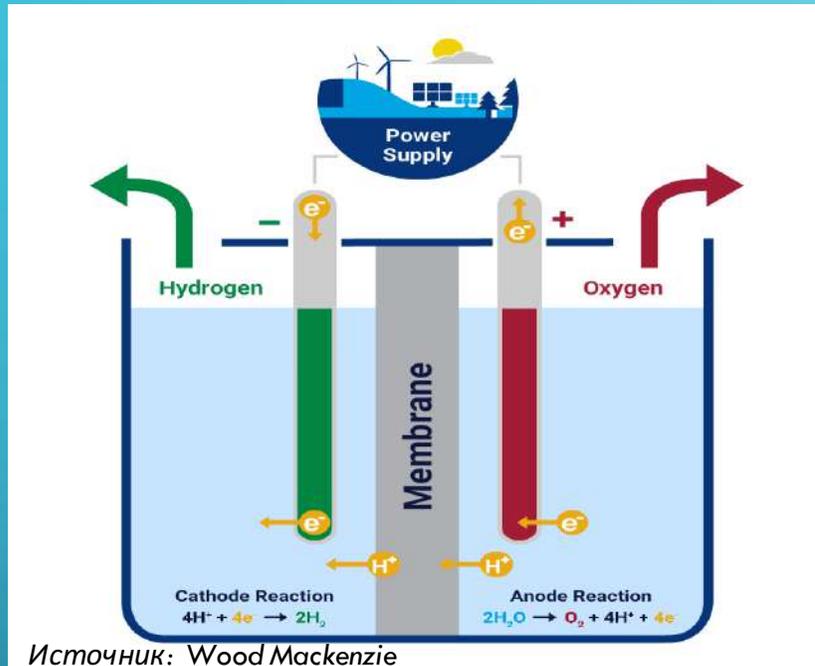
- **нефтепереработки** (гидроочистка, гидрообессеривание, гидрокрекинг, регенерация катализаторов)
- **производства удобрений** из природного газа
- **улучшения качества стали**
- **охлаждения генераторов** на электростанциях.

ВОДОРОД В ГЕНЕРАЦИИ

- На многих тепловых электростанциях Европы стоят шунтирующие реакторы для гашения ночной реактивной электроэнергии (если некуда ее слить). Технология электролиза на электростанциях в системах охлаждения генераторов используется давно. В основе технологии заложен принцип более высокого уровня удельной теплоты сгорания водорода (120-140 МДж/кг против 50 МДж/кг у метана). Этот газ имеет малое гидродинамическое сопротивление, почти в 7 раз большую теплопроводность по сравнению с воздухом и в 14 раз большую теплоемкость. Этот принцип применяют на АЭС и на ТЭС, построенных еще в 1960-1980 гг., но водород имеет «серое» или «голубое» происхождение.
- Итальянская Enel еще в 2009 г. в пригороде Венеции запустила первую в мире водородную электростанцию малой мощности (16 МВт), достаточной для энергоснабжения 20 тысяч частных домов и позволяющей сэкономить 17 тыс. т выбросов CO₂. Стоимость электростанции составила \$63 млн, сообщил в тот период генеральный директор Enel Фульвио Конти. Впрочем, водород туда поступает с рядом расположенного НПЗ, поэтому трудно назвать его «зеленым». Про экономику проекта компания также ничего не сообщает.
- Аналогичные проекты действуют в Бельгии, Испании, Китае, США и других странах.



ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОТЛИЧИЯ H2 ПО СПОСОБАМ ПРОИЗВОДСТВА



Источник: Wood Mackenzie

Принято разделять водород на:

- **серый** – из угля, нефти и газа (ТЭЦ)
- **голубой** – ПГУ ТЭС, суперсверхкритика для угля, и АЭС с технологией улавливания водорода
- **зеленый** – из воды с помощью ВИЭ.

Согласно исследованиям Wood Mackenzie, сегодня 99% водорода является “серым” и “голубым”, создавая огромный углеродный след, сопоставимый с половиной суммарных выбросов CO₂ всей экономикой России, и только 1% водорода считается “зеленым”.

Электролиз - процесс разложения воды под действием постоянного электрического тока на кислород и водород. Химическая реакция идет по схеме: $2\text{H}_2\text{O} + \text{энергия} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. **Преимущества:** 1) доступное сырье — деминерализованная вода и электроэнергия; 2) отсутствуют загрязняющие выбросы; 3) процесс автоматизирован; 4) на выходе получается достаточно чистый (99,99%) продукт. **Недостатки:** получение водорода дороже, чем при риформинге, в 1,5-3 раза. Используется в небольшом объеме и считается потенциальной технологией будущего.

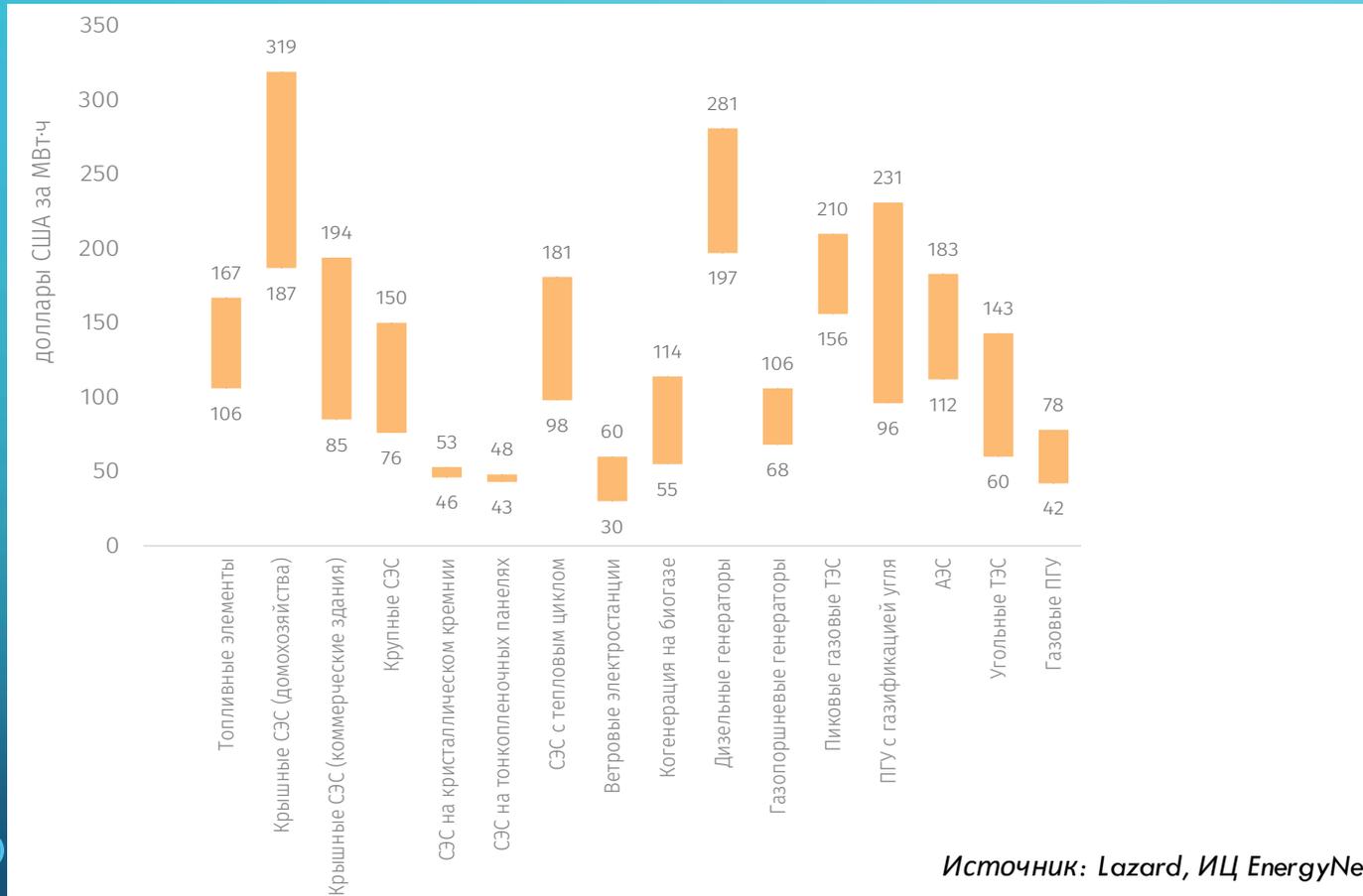
Электролизеры для зеленого водорода могут за нескольких секунд выходить на максимальную мощность. Они легко совмещаются с ВИЭ. H₂ может храниться длительное время в больших резервуарах для промышленных целей, интегрироваться в газовую сеть или использоваться для питания ТЭ.

ВОДОРОДНЫЙ СОВЕТ / HYDROGEN COUNCIL

- Был создан в 2017 году пять международными транспортными корпорациями с общей выручкой 13 млрд евро. В 2019 году ВС объединяет 62 компании суммарной выручкой 60 млрд евро
- В 2018 году на технологии, связанные с водородом и сопутствующими продуктами, инвестировано \$2 млрд
- Приняты 50 энергостратегий и крупных целевых программ по развитию водорода в разных странах мира
- Крупные нефтегазовые и энергетические корпорации - BP, Shell, Equinor активно скупают водородные компании и технологии, диверсифицируя портфель проектов
- Банки и страховые компании требуют гарантий от нефтяников по возврату долгосрочных инвестиций в углеводородные проекты все строже. Инвестиционный банк ЕС отказывается финансировать проекты по добыче углеводородов с 2021 г.
- На саммите G20 в Японии в июле 2019 года США, Германия, Япония подписали коммюнике по энергопереходу, исключая конкуренцию в области водородных технологий и предполагающее технологическое взаимодействие.
- В 2019-2020 годах в мире происходит IV технологическая революция, которая может привести к смене уклада энергосистем и постепенному формированию общего мирового рынка энергетики.

СРАВНЕНИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЭ С ДРУГИМИ ТИПАМИ ГЕНЕРАЦИИ

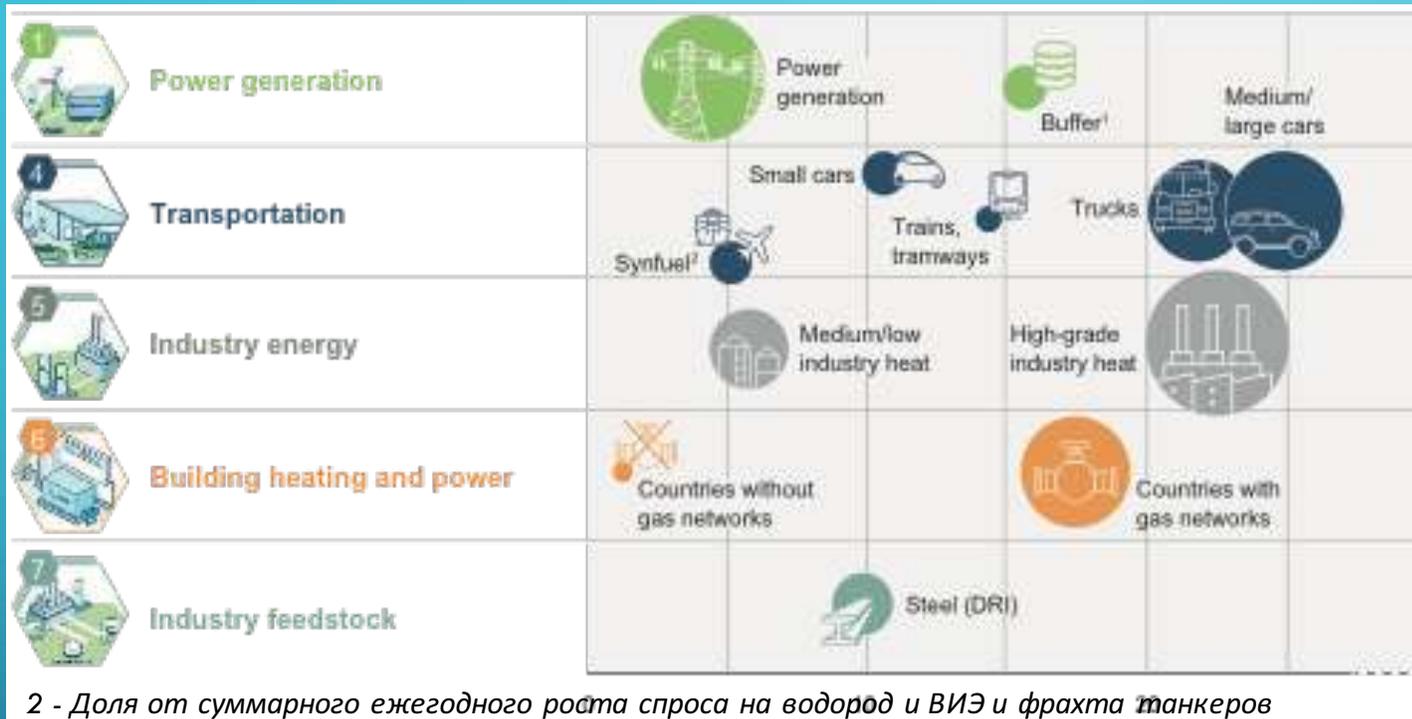
Приведенная стоимость электроэнергии от различных типов генерации (LCOE)



- Стоимость хранения электроэнергии в ТЭ на H₂ уступает гидроаккумуляторам, ПХГ, суперконденсаторам, тепловым системам хранения, маховикам - и находится в конкурентной зоне с активно развивающимися литий-йонными, натрий-серными, свинцовыми и редокс-проточными аккумуляторами. Но у водородных ТЭ самые большие перспективы по снижению стоимости в ближайшие 5-10 лет.
- Стоимость ТЭ с РЭМ к 2025 г. может снизиться до 36 \$/кВт при производстве от 500 тыс. батарей в год

По прогнозу ВС, емкость рынка сбыта водорода к 2030 г. составит \$150 млрд. МЭА, австралийское аналитическое агентство Acil Allen Consulting и российский ИЦ EnergyNet оценивают его скромнее: \$1-15 млрд в 2025 г., \$10-55 млрд в 2030 г., \$21-102 млрд в 2035 г., \$32-164 млрд – в 2040 г. при цене нефти Brent \$50/баррель. Рост объема продаж может обеспечить только снижение цен с 4 до 2 \$/кг в 2020-2040 гг при больших инвестициях.

РОЛЬ ВОДОРОДА В НИЗКО УГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ



2 - Доля от суммарного ежегодного роста спроса на водород и ВИЭ и фрахта танкеров

Источник: Hydrogen Council

Водород используют по основным схемам:

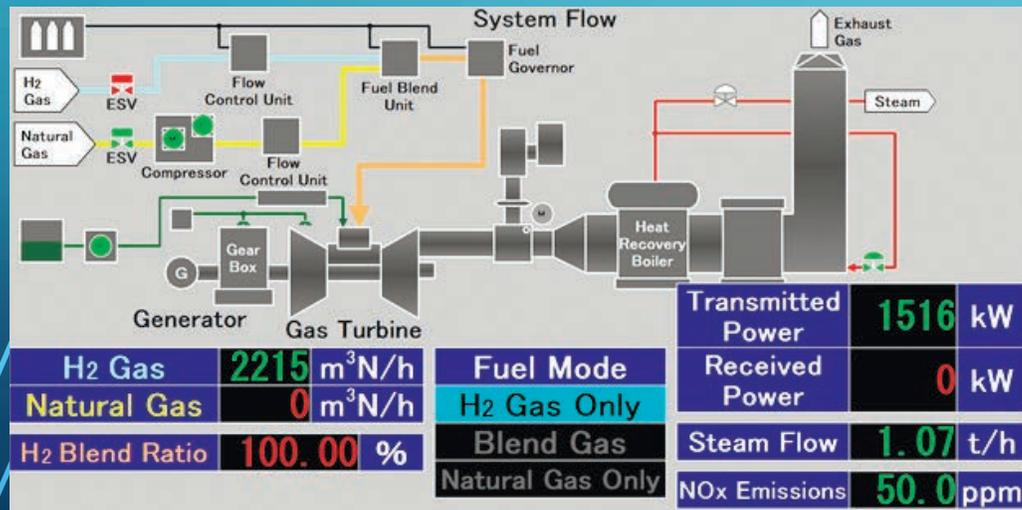
1. смешивают водород с метаном для дальнейшего использования в электроэнергетике.
2. Развивают топливные элементы для накопления и производства э/э в двигателях автомобилей, автобусов, поездов, кораблей, самолетов, ВПК.
3. Используют ТЭ для освещения и отопления домов, а также для создания изолированных умных сетей «микро-грид».
4. Используют водород для производства металла вместо доменной печи и кокса.

- Исполнительный директор Bloomberg New Energy Finance Джон Мур прогнозирует, что еще до 2030 г. зеленый водород по \$2/кг начнет конкурировать с углем и газом в качестве энергоносителя при производстве стали и к 2050 г. при цене \$1 /кг станет выгоднее газа на мировых рынках и сможет конкурировать с самым дешевым углем, сохраняя нулевую эмиссию CO₂. По его мнению, за счет водорода произойдет своего рода окончательная электрификация мировой промышленности. При этом, «рынок будет глобальным, возникнут крупномасштабные перевозки водорода, аналогичные тем схемам, по которым сейчас торгуется СПГ».
- Исполнительный директор Vestas Asia Pacific Клайв Туртон видит будущее водорода в развитии ТЭ как системы накопления энергии (в аммиаке как удобной для хранения и транспортировки форме водорода), которые к 2030 г., сравняются с ценой дизеля в мире.

ПЕРВОЙ В МИРЕ ПРИНЯЛА ВОДОРОДНУЮ СТРАТЕГИЮ ЯПОНИИ

Ключевая технология, необходимая для масштабного использования водорода в газовой электроэнергетике – водородная турбина. По оценке Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS), *на существующих газотурбинных установках можно увеличить долю водорода до 20% в смеси его с природным газом без существенных изменений в конструкции.*

Схема управления 1 в мире газотурбинной ТЭЦ на 100% на водороде на испытаниях в 2018 г. (г. Кобе, Япония)



Источник: Kawasaki, Сколково

- MHPS успешно испытала сверхмощную газовую турбу в работе на топливной смеси из природного газа (70%) и водорода (30%) в Японии. Испытания были проведены на заводе в Такасаго на ПГУ 700 МВт (КПД - 63% с температурой газов после камеры сгорания ГТУ - 1600 °С). Для сжигания топлива использовались горелки с вихревым перемешиванием. Благодаря H₂, выбросы CO₂ сократились на 10%, а выбросы оксидов азота «остались на удовлетворительном уровне».
- MHPS участвует в пилотном проекте по переводу действующего энергоблока 440 МВт на ТЭС Магнум в Гронингене (Нидерланды) с газа на 100% водород к 2023 году.
- Kawasaki Heavy Industries и Obayashi в 2018 г. довели долю H₂ в топливном балансе газотурбинной ТЭЦ 1 МВт в г. Кобе в Японии до 100%. Это были краткосрочные испытания. В штатном режиме ТЭЦ пока работает на смеси метана и водорода в пропорциях 80:20, обеспечивая электричеством и теплом международный центр Кобе и офисы 10.000 жителей

ЯПОНИЯ: МИКРО-ТЭЦ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В приоритете в Японии также:

- создание распределенной тепловой генерации на топливных элементах (ТЭ) для освещения и отопления жилых домов и офисных помещений
- электромобили с использованием водорода.



Микро-электростанции на топливных элементах (fuel cell CHP) принципиально отличаются от ТЭС тем, что в них химическая энергия преобразуется в электрическую (процесс, обратный электролизу) – потребность в турбинах отпадает, а эффективность преобразования достигает 50-65% (КПД на уровне лучших ТЭС на природном газе). Станции экологически чисты (в отличие от газотурбинных, которые даже при сжигании 100% водорода загрязняют атмосферу оксидами азота), бесшумны, вырабатывают и тепловую энергию («когенерационные электростанции»), и компактны: внешне такая станция напоминает холодильник - используются в домашних хозяйствах и на малых коммерческих предприятиях.

В рамках проекта Ene-Farm в Японии установлено 50 тысяч домашних когенерационных микро-электростанций на ТЭ за прошлый год, повысив их общее количество до 300 тысяч.

Водородная программа Японии предусматривает ввод 1,4 млн ТЭ к 2020 г., 5,3 млн – к 2030 г. Внедрение идет с отставанием. Но идет. Бюджет Японии на 2018 г. предусматривал субсидии в объеме \$70 млн на производство ТЭ с использованием водорода.

АВСТРАЛИЯ, ЮЖНАЯ КОРЕЯ, ГЕРМАНИЯ, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ, НИДЕРЛАНДЫ, ОТДЕЛЬНЫЕ ШТАТЫ США ПРИНЯЛИ СТРАТЕГИИ H₂

- Рынок микро-электростанций активно развивается также в Южной Корее, отдельных штатах США (Калифорния) и странах Европейского Союза – при активной поддержке государства.
- США в рамках одной лишь программы US DOE Hydrogen and Fuel Cells Program выделяет \$120 млн в год (в 2004-2011 гг. - вдвое больше).
- В 2017 г. была запущена инициатива **Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)** в 89 регионах и городах 22 стран Европы. Участники используют водородные технологии в своих стратегиях в рамках «энергетического перехода» за счет реализации проектов общей стоимостью 1,8 млрд евро в течение 5 лет.
- В Нидерландах, в рамках стратегии до 2030 года стоимостью 2,8 млрд евро в провинциях Гронинген и Дренте создается «Водородная долина». 33 проекта производства и хранения зеленого водорода из ВИЭ и голубого H₂ из газа, в ходе процессинга углекислый газ будут закачивать в ПХГ. В планах – строительство водородных ветровых турбин, перевод ТЭС в Эмсхавене частично на водород. (1,32 ГВт)
- В сентябре 2019 г. университет Левена в Бельгии сообщил о создании новой мульти-системы, которая использует солнечную энергию и влажность атмосферного воздуха для синтеза водорода. Установка производит в день до 250 л водорода, который можно пустить на обогрев дома или офиса.
- В Великобритании разработали первый термодинамически обратимый химический реактор, который производит водород в виде чистого потока — без необходимости отделять его от других химических элементов.
- В Швеции началось строительство завода прямого восстановления железа, где водород заменит дому и кокс.

АВСТРАЛИЯ МЕНЯЕТ ЭКСПОРТНУЮ СТРАТЕГИЮ С УГЛЯ НА ВОДОРОД

Лейбористской партии Австралии предполагает направить на эти цели \$1,14 млрд в ближайшие несколько лет

Микро-грид на добычном месторождении газа

Австралия впервые в мире начала использовать ВИЭ и водород для создания изолированной сети энергоснабжения месторождения добычи газа в Западной Австралии. Компании Strandline Resources, EDL и Woodside создают генерирующий объект (27 МВт) из газовых генераторов, солнечных панелей, системы накопления энергии, хранилища СПГ, а также резервных дизельных электростанций.



В 2017 г. Enel Green Power Chile запустила первую в мире на 100% экологически чистую коммерческую микро-сеть электроэнергии в Чили. Работу сети обеспечивает комплекс гибридных накопителей, состоящий из солнечной электростанции (125 кВт/ч), системы водородных (450 кВт/ч) и литиевых (132 кВт/ч) батарей. Сочетание солнечной электростанции с накопителями общей мощностью 580 кВт/ч превращает энергию солнца в стабильный источник электричества, усиливая гибкость и устойчивость сети. В результате, микро-сеть способна поставлять чистую энергию 24 часа в сутки без поддержки дизель-генератора, в отличие от электростанций такого типа. Это и есть пример «зеленого» водорода.

ПЕРВЫЙ ВОДОРОДНЫЙ ТАНКЕР СПУЩЕН НА ВОДУ В ЯПОНИИ 11.12. 19

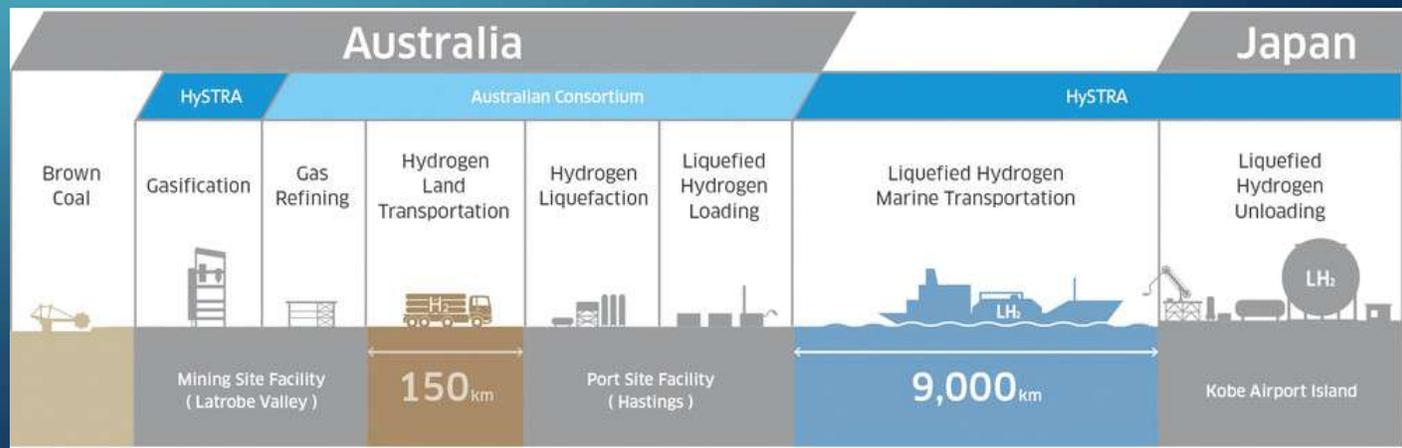


Технические характеристики SUIISO FRONTIER

Длина — 116,0 м,
Ширина — 19,0 м
Осадка — 4,5 м,
водоизмещение — ~8000 т
Вместимость резервуаров сжиженного водорода —
1250 м³
Силовая установка — дизель электрическая
Скорость — ~13,0 узлов
Экипаж — 25 человек

В г. Кобе в Японии в декабре 2020 г. введут терминал для приема поставок сжиженного H₂ из Австралии. Проект стоимостью \$338 млн получил финансовую поддержку федерального правительства Австралии и регионального правительства штата Виктория на строительство газоперерабатывающего завода, комплекса сжижения H₂ и терминала. Водород будет производиться из синтетического газа, который будет получен путем газификации бурого угля. Для обеспечения экологических стандартов будут применяться технологии улавливания и хранения углерода (CCS). Проект «уголь в жидкость» нацелен на коммерческую окупаемость к 2030 году.

Технологическая цепочка проекта HESC от Kawasaki Heavy Industries, Ltd.



ГЕРМАНИЯ

Правительство Германии отобрало первые 20 крупных инновационных проектов для реализации в промышленных лабораториях с целью «энергетического перехода» (Reallabore der Energiewende). Компании берут на себя основную часть технико-организационных расходов, а правительство софинансирует проекты на 100 млн евро в год. Для проектов в «регионах структурных изменений», например, угледобывающих, выделяются дополнительно 200 млн евро. Отобраны проекты:

- строительства 100-мегаваттного электролизёра;
- полное преобразование энергетической системы в одном из районов северной Германии, включающее производство водорода, строительство заправок и внедрение транспортных средств на нем;
- производство водорода методом электролиза с последующим хранением в соляных кавернах и созданием распределительных сетей.

В сентябре 2018 г. в Саксонии запустили поезд на водородном топливе производства французской компании Alstom.

Таких поездов должно быть 14. На программу выделено 81,3 млн евро.



ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

- Летом 2019 г. на железнодорожной выставке Rail Live был представлен первый водородный поезд Hydroflex.
- Alstom заключила контракт с британским железнодорожным оператором Eversholt Rail, согласно которому она переоборудует все электропоезда Class 321 на использование водорода
- Уэльская компания Riversimple представила летом 2019 года **водородный автомобиль**, который планирует запустить в серию в 2020 году – он будет в 4 раза легче Tesla Model S
- Великобритания с целью сократить выброс парниковых газов до 2050 г. вдвое приняла решение использовать газовое хозяйство под водород. В отчете «Переход на водород» британского объединения инженеров и технологов The Institution of Engineering and Technology (IET, июнь 2019 г.) говорится, что к 2030 г. **большая часть британской газовой сети, которая сейчас состоит из металлических труб, станет полиэтиленовой, что позволит без масштабных инвестиций пускать в сеть водород.** Генерация в Британии на 40% зависит от газа, и 85% домов отапливаются им. Хуже придется промышленным предприятиям, половина из которых использует газ: газовые устройства там могут потребовать полной технологической замены, либо переделка будет не слишком значительной, но придется добавлять в водород биометан.



- Великобритания планирует построить первый в мире завод по переработке пластика в водород
- Институт аэрокосмических технологий Великобритании и американская компания ZeroAvia разработали 6-местный **водородный самолет** HyFlyer стоимостью \$6,6 млн. ZeroAvia планирует начать поставлять водородные двигатели для пассажирских самолетов вместимостью 10–20 человек с 2022 года.



ФРАНЦИЯ

- В 2019 году власти Франции выделили \$116,6 млн на поддержку национальной индустрии по производству и внедрению водорода в энергетику, промышленность, транспортную инфраструктуру.
- Франция заявила о намерении частично добавлять водород в существующие газовые сети.
- В апреле 2019 года французская EDF, владеющая 58 атомными энергоблоками, запустила программу Hynomics по поставкам и обслуживанию электролизеров, а также заправке водородного транспорта стоимостью 16 млн евро. Компания заявила о 40 проектах во Франции, Бельгии, Германии и Великобритании. Полученный водород будет иметь минимальный углеродный след.

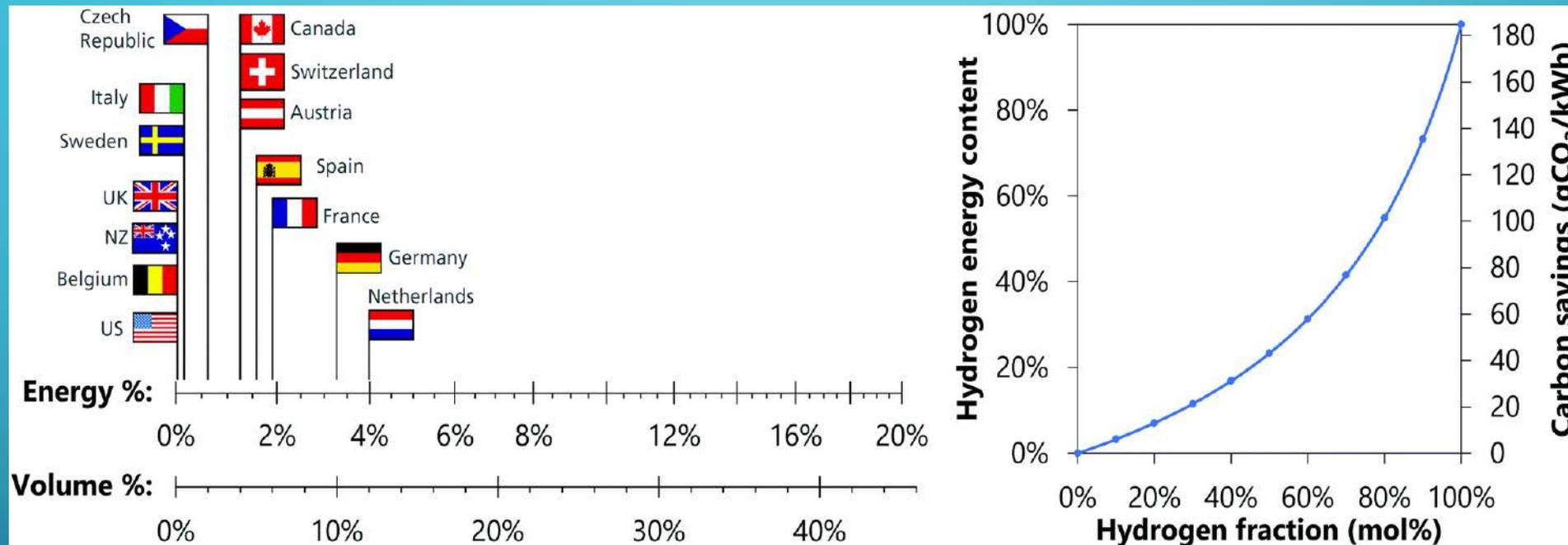
ENGIE планирует выпускать 1,3 ТВтч в год у 2027 г.

	HyGreen 1 2021	HyGreen 2 2025	HyGreen 3 2027
Surface PV	200 ha 0,2% territoire DLVA 	730 ha 0,9% territoire DLVA 	1 500 ha 1,8% territoire DLVA 
Puissance installée	120 MWc 	440 MWc 	900 MWc 
Production annuelle	170 GWh	640 GWh	1 300 GWh
Répartition électricité/H2 (hypothèse de travail)	90% élec / 10% H2	70% élec / 30% H2	50% élec / 50% H2
Electricité injectée réseau	160 GWh/an 	440 GWh/an 	650 GWh/an 
Electricité électrolysée	17 GWh/an 	190 GWh/an 	650 GWh/an 
Electrolyseur	12 Mwe	130 Mwe	435 MWe
Surface nécessaire d'électrolyseur	0,1 ha	0,6 ha	2,0 ha
H2 vert produit par an	278 tonnes 	3 048 tonnes 	10 440 tonnes 
Eau consommée par an	3,0 ML ~0,07% conso résidentielle DLVA 	38,0 ML ~0,7% conso résidentielle DLVA 	131 ML ~2,0% conso résidentielle DLVA 
Production annuelle H2 ramenée à la capacité de stockage H2 d'une cavité de 250 000m3	9% 	100% 	348% => recours 2e cavité + enjeu des usages (consommation) 

В районе Дюранс-Люберон-Вердон энергетическая компания Engie и поставщик промышленных газов Air Liquide начали проект HyGreen provence по получению водорода из ВИЭ и хранению его в подземных соляных кавернах в регионе. К 2027 г. планируется задействовать 900 МВт солнечных электростанций для производства 1,3 ТВт*ч в год, с помощью которой методом электролиза будет вырабатываться водород.

ГАЗОТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ЕВРОПЫ

12 стран Европы готовы добавить водород в свои газораспределительные сети



Источник: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/ee/c8ee01157e>

- Подмешивание 20% водорода в европейскую систему магистральных газопроводов, по данным Международного энергетического агентства, снизило бы выбросы CO₂ на 60 млн т в год (7%).
- В различных странах допускаются разные доли водорода в природном газе (метане), - от 0,1% (Бельгия, Новая Зеландия, Великобритания и США) до 10% в Германии и 12% в Нидерландах. Максимум определяется национальными технологическими стандартами, связанными с безопасностью газопроводов и генерирующего оборудования электростанций.

ЮЖНАЯ КОРЕЯ – МАЛЕНЬКАЯ СТРАНА С БОЛЬШИМИ АМБИЦИЯМИ

- Спрос на водород в Южной Корее к 2030 г. составит 1,94 млн тонн, к 2040 г. – 5,26 млн тонн.
- KOGAS планирует инвестировать до \$4 млрд в создание предприятий по производству 25 установок и 700 км трубопроводов для транспортировке водорода. Это позволит выпускать на рынок 1,7 млн тонн водорода к 2030 г. в год.
- KOGAS планирует импортировать 300 тыс. тонн в 2030 г., и 1,2 млн тонн к 2040 г.

КИТАЙ БОЛЬШОЙ, ЕМУ ВИДНЕЙ

В июне 2019 г. Китайская водородная ассоциация выпустила Белую книгу об энергетике и ТЭ:

- Объем промышленного производства водородной промышленности в 2020-2025 гг. составит \$148 млрд, парк автомобилей на ТЭ – 50 000 штук и 200 заправок.
- В 2026-2035 годах объем промышленного производства оценивается в \$740 млрд, авто – 15 млн штук, заправок 1 500 единиц.
- К 2050 году водород составит 10% энергопотребления Китая стоимостью \$1 480 млрд.
- За 7 месяцев 2019 года УМ ТЭ выросла до 46 МВт, автомобилей – 1 106 единиц. В 2020 году планируется нарастить до 5000 единиц.
- Планируется создать водородную гавань в р-не Цзядин с оборотом \$7,2 млрд в год.

ВОДОРОДНЫЙ КОНЦЕПТ-КАР КИТАЯ

- На автосалоне в Ганновере в 2019 г. все крупные производители легковых автомобилей представили свои модели на водороде, включая Audi, BMW, Daimler, Ford, GM, Mercedes-Benz.
- В 2020 году стоимость водородных ТЭ, как ожидается снизится, и заправки на водороде начнут конкурировать с заправками электромобилей. Это будет год перемен.



Китай переориентируется с ДВС на водородные автомобили ускоренными темпами. Амбициозный концепт-кар Grove на водороде, расстояние между заправками 1000 км, уже представлен на автосалоне в Ганновере. В 2020 г. китайцы пообещали на автосалоне в Пекине начать принимать серийные заказы. Для сравнения, максимальная дистанция американского электромобиля на ТЭ (BEV) Tesla на 1 зарядке - 590 км. Максимальной дальностью в 750 км на 1 заправке в 2019 г. обладает сегодня только японский серийный автомобиль Honda Clarity. Пока с уверенностью можно сказать, что дизайн автомобиля китайцы срисовали у Maserati.

Автомобили на водородных ТЭ продаются дорого: Honda Clarity – 51.000 евро, Toyota Mirai – 60.700 евро, Hyundai ix35 Fuel Cell – 65.400 евро. При этом покупатели получают компенсацию 20-30% стоимости автомобиля и гарантию на 5-10 лет. По оценке Hydrogen Council, существенное падение стоимости ТЭ (на 80%) может быть достигнуто за счет масштабирования производства машин и заправочной инфраструктуры. Стоимость батареи ТЭ Toyota Mirai в 2016 г. составила \$183/кВт, к 2025 г. она может снизиться до \$36/кВт.

ЗАПРАВКА ВОДОРОДОМ ЗАНИМАЕТ 3-6 МИНУТ

Власти Японии пообещали в 2020 г. обслуживать всех гостей Олимпиады на водородных автомобилях, - к этому времени в Японии должно быть, по разным данным, 40-50 тыс. легковых и автобусов на водородных ТЭ и 90-100 ВАЗС. К 2025 г. число зарегистрированных в стране машин, работающих на водороде, предполагается довести до 200 тыс., а к 2030 г. — до 800 тыс. Слоган инициативы: «Водородная заправка - в 15 минутах от вашего дома». Процесс распространения автомобилей H₂ сдерживается крайне ограниченным числом ВАЗС. В середине 2019 г. в трех крупнейших городах страны Токио, Нагое, Осаке работали 30 ВАЗС.

Евросоюз, в свою очередь, одобрил программу «Водородный коридор» (H₂ live), предусматривающую строительство ВАЗС в 20 минутах езды от потребителя к 2020 г. и в 10 минутах езды – к 2030 г. По данным на май 2018 г., Германия уже ввела 180 ВАЗС и к 2023 г. их количество превысит 500 штук

Заправочные станции состоят из системы хранения H₂, охлаждения, компрессора и раздаточных устройств заправки автомобилей. Стандарты проектирования ВАЗС являются международными.



Легковые электромобили помимо сжатого водорода и ТЭ имеют в системе буферную аккумуляторную батарею для холодного старта и поддержки пиковых нагрузок и ускорений. Выходная мощность серийных моделей 70-130 кВт, максимум скорости 160 км/ч, потребление водорода 0,76-1 кг H₂/100 км, давление 700 бар, дальность 385-750 км.

РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА

- Не встречается в чистом виде.
 - На его производство требуется постоянно расходовать углеводороды или ВИЭ
- Требуем затрат энергии на его производство больше, чем позволяет выработать на его основе
 - Это так, поэтому есть смысл вырабатывать водород в случае профицита мощности или запертых мощностей.
- Дорого обходится
 - Себестоимость производства водорода (LCOH) методом электролиза достигает \$3,8–5,2/кг
- Более взрывоопасен, чем природный газ и дизель
 - Водород легко воспламеняется при смешивании с кислородом в определенных условиях. Это стало причиной прекращения использования дирижаблей в 50-е годы XX века
 - В июне 2019 г. под Осло (Норвегия) произошел взрыв на ВАЗС: пострадало несколько человек. Работа заправок на время была остановлена.

РОССИЯ – ПРОЕКТЫ В ГЕНЕРАЦИИ

- Группа ТАИФ построит к 2022 году две тепловых электростанции производства Siemens мощностью 495 МВт и 270 МВт, в которых предусмотрено использование смеси природного газа (75%) и водорода (25%) с возможностью повышения доли H₂ до 51%.
 - Этот опыт может быть масштабирован в процессе проведения модернизации тепловой генерации России. Что позволит повысить экологические параметры ЕЭС России в целом.
- Газпром заявляет о лабораторных прототипах установок по производству H₂ без выбросов CO₂ в Самаре и Ухте.
 - Опыт может быть использован для выработки водорода из газа в местах его добычи или переработки. По аналогии с примером в Австралии (слайд 13) можно создавать более экологически чистые микро-гриды на добывающих месторождениях газа, нефти, угля, металлов в России – это существенно снизит выбросы CO₂ в России.
- Ветрогенераторы на о. Сахалин могут производить энергию, необходимую для электролиза с последующим получением зеленого водорода.
 - На совещании в Минэнерго решено определить пилотным проектом Сахалинскую область.

ЭЛЕКТРОБУСЫ В МИРЕ И РОССИИ



В Москве к имеющимся 220 электробусам в 2020 г. прибавятся еще 511 единиц. Они экологичнее из-за отсутствия вредных выбросов, маневреннее троллейбусов – не зависят от контактной сети. Суммарные затраты на эксплуатацию электробуса на 10% ниже, чем у троллейбуса. В салоне есть системы климат-контроля и спутниковой навигации, USB-разъемы для зарядки мобильных устройств, информационные медиа-экраны и бесплатный Wi-Fi. Двигается электробус практически бесшумно. Заряжается на ультрабыстрых зарядных станциях, расположенных на конечных остановках - в районе ВДНХ под эстакадой монорельса. Для пополнения заряда батареи требуется 6-15. Московские электробусы частично можно отнести к водородным проектам.

- Канадская компания Ballard поставила первые водородные ТЭ на автобусы Ванкувера, столицы Канады, еще в 1995 г.
- С 2005 г. аналогичный принцип активно используется в Голландии, Испании, Германии, Италии, Люксембурге, Исландии.
- Магистрат Цюриха в этом году купил 130 автобусов Хюндай на водороде плюс к уже имевшимся 160 шт. Основной рывок запланирован на 2021-2023 гг.
- Масштабные проекты по водородизации городского транспорта реализуются в Австралии и Китае.

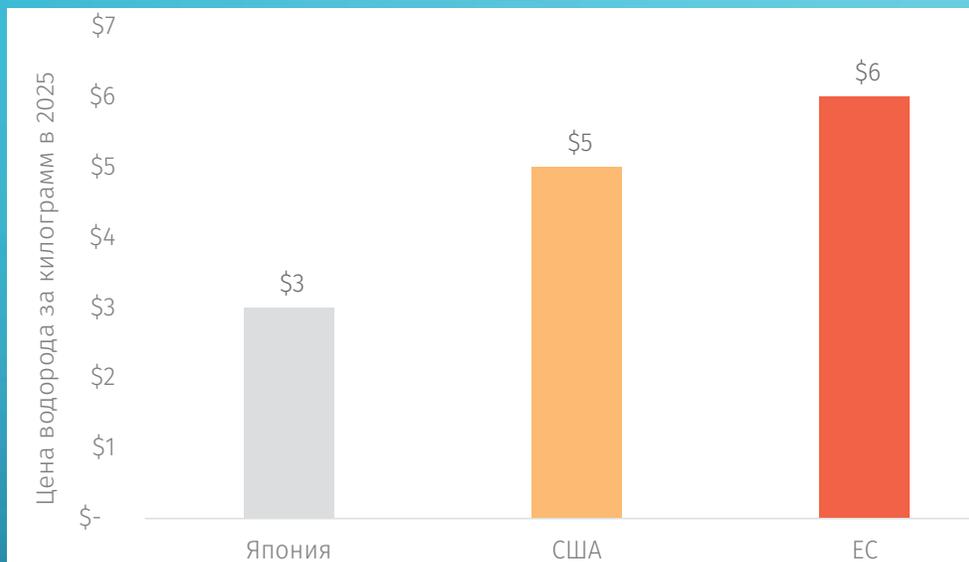
РОССИЯ - ТРАНСПОРТ



- В октябре 2019 г. на совещании в Минэнерго России при участии Ростеха, Газпрома, Сибура, Росатома было впервые принято решение разработать Национальную программу развития водородной энергетики. Программа будет обсуждена на стратегических сессиях Инфраструктурного центра EnergyNet с учетом представленного доклада «Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива».
- На форуме «Открытые инновации» в Москве в ноябре 2019 г. представлен первый российский автомобиль с водородными ТЭ (475 Вт*ч/кг весом 42 кг) с синхронным тяговым электродвигателем 40-60 кВт весом 50 кг
- В Санкт-Петербурге 1 ноября 2019 г. «Горэлектротранс» вывел на линию первый российский трамвай на водороде. В нем 8 сидячих мест и двигается он со скоростью 10 км/ч. Энергоустановка может быть уменьшена в 10 раз, а значит, салон увеличится. Если инвестиции поступят в начале 2020 г., то разработчики обещают усовершенствовать водородный трамвай за 3-4 года.
- Объединенная авиастроительная корпорация разрабатывает беспилотный летательный аппарат

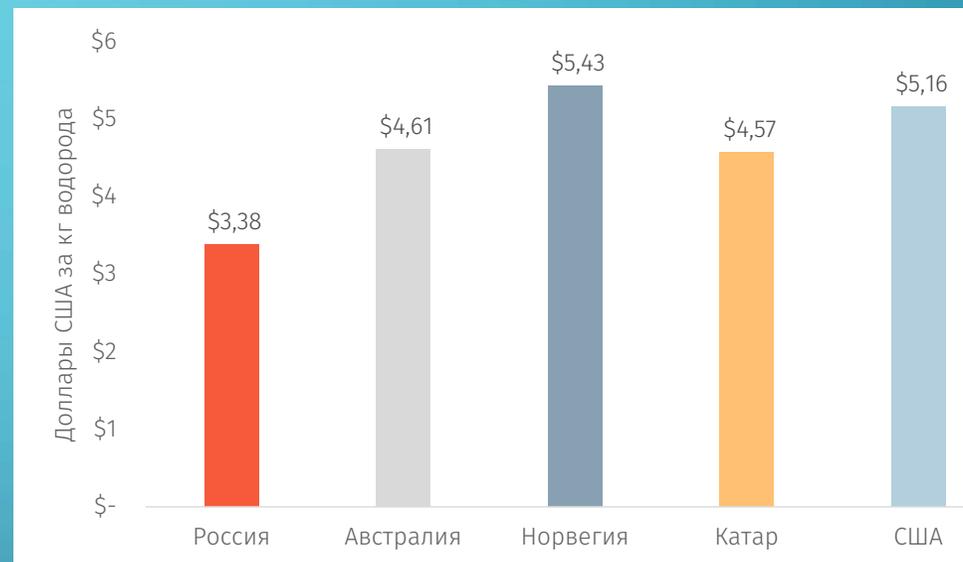
ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПОРТА ИЗ РОССИИ

Целевые значения цен водорода для конечного потребителя в 2025 году, долларов США за кг.



Источник: IRENA

Достижимые цены продажи водорода в Японию (цена CIF) в 2025 году.



Источники: ACIL ALLEN Consulting, ИЦ EnergyNet

Сценарий развития накопления электроэнергии в водородном цикле EnergyNet предусматривает возможность получения экспортной выручки в объеме \$1,7-3,1 млрд за счет более низких цен уже к 2025 г., что позволит претендовать на 10-15% мирового рынка водорода в перспективе 2030 г. По расчетам Acil Allen Consulting и ИЦ EnergyNet, Россия сможет предложить Японии как наиболее вероятному импортеру водород по \$3,38/кг против \$4,6/кг из Австралии и Катара и \$5,2-5,4/кг - США и Норвегии. В сентябре Росатом подписал соглашение о проработке экспорта H₂ в Японию.

ИСТОЧНИКИ ЭКСПОРТА ВОДОРОДА

- Водород на экспорт может быть произведен на месторождениях бурого угля, ставших нерентабельными – по аналогии с Австралией (слайд 14). Экспортные направления будут зависеть от маркетинговых исследований логистических затрат.
- Для рынка Японии и/или Южной Кореи водород можно производить на мощностях СПГ и НПЗ. К примеру, на Сахалин-1, Сахалин-2, Владивосток СПГ. Главное, приобрести установку очистки от выбросов CO₂.
 - Есть версия, что Южная Корея и Япония развивают проекты водорода, чтобы снизить цены на СПГ. Россия в этом случае сможет подстраховать свои доходы от экспорта СПГ.
- *«Пилотный проект может быть развернут на базе ГЭС или ветрогенерации на Дальнем Востоке, например, с использованием строящейся Усть-Среднеканской ГЭС им. Дьякова или ветрогенераторами на о. Сахалин»*, считают разработчики программы EnergyNet. На совещании в Минэнерго решено определить пилотным проектом Сахалинскую область.
- Водород также может повысить эффективность использования генерирующих мощностей в России,- считают авторы доклада,- и решить проблему запертых мощностей. EnergyNet полагает, что средний КИУМ генерирующих мощностей за счет загрузки резервов производства водорода вырастет на 5-7% к уровню 2017 г., а затраты на энергоснабжение на удаленных и изолированных территориях снизятся на 27-30%.
- EnergyNet полагает, что источниками производства водорода могли бы быть Кольская АЭС и Ленинградская АЭС, работающие не на полную мощность. «Росатом» активно принимает участие в маркетинговых исследованиях. Тем более, что у корпорации есть и дочерняя структура по ветрогенерации и исследовательские институты по разработке энергоблоков малой мощности.