



Водородная энергетика: мифы и реальность

НАТАЛЬЯ ГРИБ

Управляющий директор WMT Consult

В Санкт-Петербурге на Московском проспекте 1 ноября вышел на линию первый российский трамвай на водороде с надписью на борту «H₂». Что значит эта новость для участников нефтяного, газового, угольного и электроэнергетического рынка? Россия начала переход к водородной экономике вслед за Японией, Австралией, Южной Кореей, Германией или трамвай после круга почета вернут в депо, разберут на запчасти и водородные технологии при отсутствии серьезных инвестиций еще какое-то время не нарушат спокойствия стейкхолдеров отечественного ТЭК? Для понимания ситуации необходимо посмотреть на процессы, происходящие в мире, и осознать роль России на этом новом для нее технологическом рынке.

ВОДОРОД VS НЕФТЬ: ЧТО РАНЬШЕ?

Освещение газовыми фонарями улиц Лондона приписывают к 1798 году. В то время 30–40% газа приходилось на водород (остальное – метан и другие газы), получаемый в процессе высокотемпературного горения угля. Тогда как первую нефтяную скважину современного типа пробурили под Баку в 1848 году, а первый керосин в Северной Америке получили еще спустя девять лет. Так что водород в газовых горелках начали использовать на 60 лет раньше керосина, утверждают одни источники. Другие отмечают, что в Польше прикарпатскую нефть жгли для городского освещения с 1500 года, а в Китае и на Ближнем Востоке – и того раньше. Тут уж, как говорится, смотря от какой печки плясать.

Для последующего анализа важно, что водородно-метановый газ был самым дешевым способом освещения в Лондоне, и это давало ему конкурентные преимущества перед электричеством и керосином вплоть до 1910 года. Впрочем, копоть от газовых горелок и керосиновых ламп была такой сильной, что с развитием электричества от них отказались.

С середины XX века водород был интегрирован в технологии нефтепереработки, производства удобрений из природного газа (80%) и генерации электроэнергии (20%). Значительная часть водорода и сейчас используется для повышения качества удобрений (53%), нефтепродуктов (31%) и стали (8%) – в процессе гидроочистки, гидрообессеривания, гидрокрекинга, регенерации катализаторов. Отдельное хорошо освоенное

направление – охлаждение генераторов на электростанциях.

Будучи самым распространенным элементом на Земле и в космосе, водород (H₂) тем не менее остается почти не востребованным: если в 2018 году в мире было добыто 4,4 млрд тонн нефти и 3,86 трлн м³ природного газа (метана), то объем производства водорода не превышает 70 млн тонн, то есть объем его выработки в 6285 раз меньше, чем нефти, и в 5514 раз меньше, чем газа.

Принято разделять водород на «серый» – из угля, нефти и газа, на «голубой» – ПГУ ТЭС или АЭС с технологиями CCS, и на «зеленый» – из воды (ВИЭ). Согласно недавним 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».

ВОДОРОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Количество прогрессивных проектов с использованием водорода в области большой и распределенной энергетики, накопления энергии и всех видов транспорта, от автомобилей до самолетов и морских судов, переходит в статус «серийных». Складывается впечатление, что именно сейчас, в 2019–2020 годах, в мире происходит электрическая революция. Она может привести к смене уклада энергосистем и постепенному формированию общего мирового рынка энергетики, как это уже случилось после сланцевой революции на газовом и нефтяном рынках в 2008–2013 годах.

На Азиатском саммите по чистой энергетике 30 октября в Сингапуре эксперты обсуждали, какой именно энергоноситель водород заменит в первую очередь: нефть на транспорте или уголь и газ в генерации. Исполнительный директор Bloomberg New Energy Finance

(BNEF) Джон Мур прогнозирует, что еще до 2030 года «зеленый» водород ценой чуть выше \$2/кг начнет конкурировать с углем и природным газом в качестве энергоносителя при производстве стали, а к 2050 году 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».

Глядя на ситуацию из России, где цены на уголь и газ для потребителя традиционно составляют в среднем порядка 50% от мировых, реалистичность такого прогноза вызывает сомнение. Тем более что «зеленый» водород, по прогнозам международного агентства возобновляемой энергетики IRENA, к 2025 году будет стоить \$4–6/кг с перспективой снижения цен до \$2/кг к 2040 году. Мне ближе позиция исполнительного директора Vestas Asia Pacific Клайва Туртона, который видит будущее водорода в развитии топливных элементов как системы накопления энергии (в аммиаке как удобной для хранения и транспортировки форме водорода), которые к 2030 году, судя по прогнозу на Азиатском саммите, сравняются со средней ценой дизеля в мире.

ФИЛОСОФСКИЙ КАМЕНЬ ЭНЕРГЕТИКИ ЕВРОПЫ

Седрик Нейке, исполнительный директор Siemens AG Smart Infrastructure, охарактеризовал на Азиатском саммите водород как «философский камень энергетики» – универсальную субстанцию, которая превращает электричество в любой химический продукт и сама превращается в электричество.

На многих тепловых электростанциях Европы стоят

СПРАВКА

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.

Электролиз – процесс разложения воды под действием постоянного электрического тока на кислород и водород. Химическая реакция идет по схеме: 2H₂O + энергия → 2H₂ + O₂. **Преимущества:**

- ♦ доступное сырье – деминерализованная вода и электроэнергия;

- ♦ во время производства отсутствуют загрязняющие выбросы;

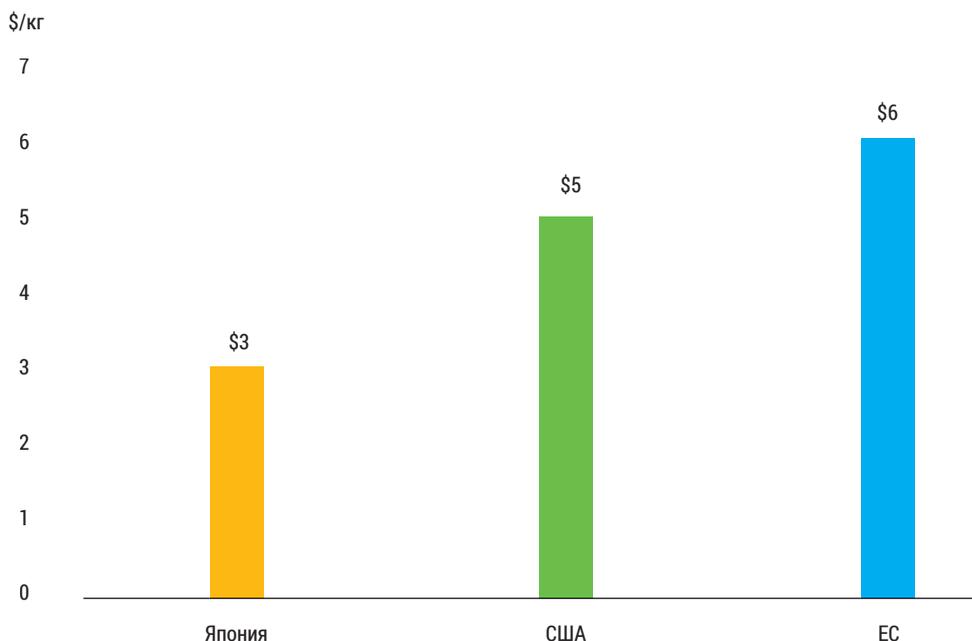
- ♦ процесс автоматизирован;

- ♦ 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, используемые для производства «зеленого» водорода, могут работать динамически, затрачивая всего нескольких секунд для выхода на максимальную мощность. Таким образом, они легко совмещаются с возобновляемыми источниками, которые работают нестабильно. Кроме того, водород может храниться в течение длительного времени в больших резервуарах для продажи в промышленных целях, интегрироваться в газовую сеть или применяться для питания топливных элементов.

ЦЕЛЕВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЦЕН ВОДОРОДА ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В 2025 г.



Источник: IRENA

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 семь раз большую теплопроводность по сравнению с воздухом и в 14 раз большую теплоемкость. Данный принцип применяют на АЭС и на ТЭС, построенных еще в 1960–1980 годах, но водород имеет «серое» или «голубое» происхождение.

Итальянская Enel еще в 2010 году запустила в пригороде Венеции первую в мире водородную электростанцию малой мощности (16 МВт), достаточной для энергоснабжения 20 тыс. частных домов и позволяющей сэкономить 17 тыс. тонн выбросов CO₂. Стоимость электростанции составила \$63 млн, сообщил в тот период генеральный директор Enel Флавио Конти. Впрочем, водород туда поступает с рядом расположенного ГПЗ, поэтому трудно назвать его «зеленым». Про экономику проекта компания также ничего не сообщает.

В 2017 году Enel Green Power Chile запустила первую в мире на 100% экологически чистую коммерческую микросеть 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 микросеть способна поставлять чистую энергию 24 часа в сутки без поддержки дизель-генератора, в отличие от электростанций такого типа. Это и есть пример «зеленого» водорода.

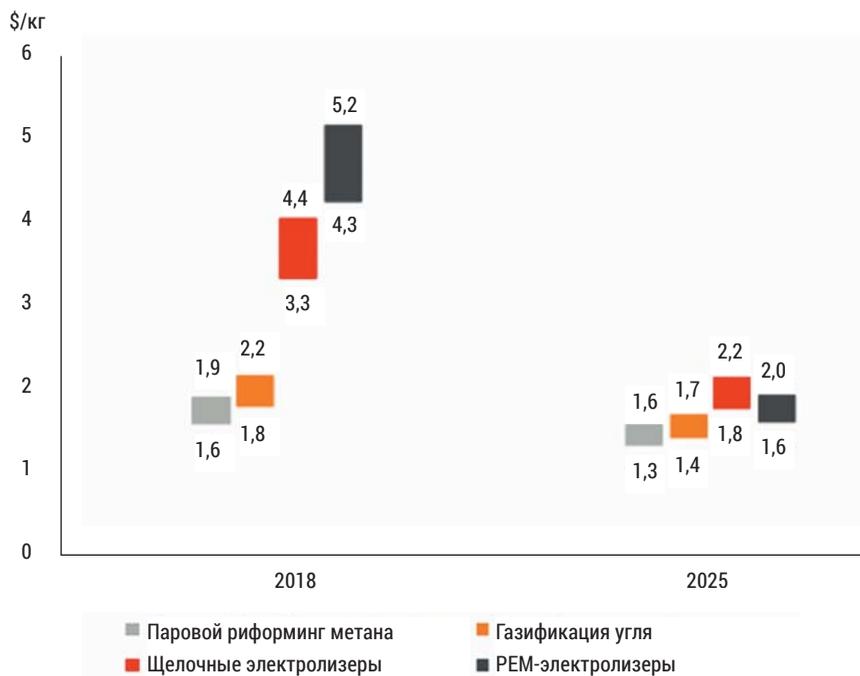
В апреле 2019 года французская EDF, владеющая 58 атомными энергоблоками, запустила программу Hynatics по поставкам и обслуживанию электролизеров, а также заправке водородного транспорта стоимостью 16 млн евро. Компания заявила о 40 потенциальных проектах во Франции, Бельгии, Германии и Великобритании. Полученный водород на базе электроэнергии АЭС будет иметь минимальный углеродный след.

В 2020 году в Германии должно производиться до 14 ГВт водорода на гидролизерах, в 2030 году – уже 44 ГВт.

Цена водородного киловатта на электролизе сегодня составляет 13 центов. Целевой задачей всех национальных водородных программ является ее снижение. По данным МЭА, с 2010 года в мире вводили в эксплуатацию около 10 МВт электролизеров ежегодно. В 2018 году введено уже 20 МВт, а до конца 2020 года ожидается ввод еще 100 МВт. Wood Mackenzie также прогнозирует рост: «До конца 2019 года должно быть развернуто 252 МВт проектов по «зеленому» водороду. К 2025 году в мире появится дополнительно 3205 МВт электролизеров, предназначенных для производства экологически чистого водорода – увеличение на 1272%».

Wood Mackenzie отмечает, что к 2025 году при ценах на электроэнергию \$30/МВт*ч производство «зеленого» водорода может быть неконкурентоспособным с «се-

ПРИВЕДЕННАЯ СТОИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА (LCOH)



Источник: CSIRO, ИЦ EnergyNet

рым» водородом в Германии, Южной Корее, США. Сегодня цены на ветряную и солнечную энергию на этих рынках колеблются от \$53 до \$153/МВт*ч. Только Австралия к 2030 году сможет производить «зеленый» водород, конкурентоспособный с водородом из газа.

ГАЗОВАЯ ТУРБИНА НА ВОДОРОДЕ

Ключевая технология, необходимая для масштабного использования водорода в газовой электроэнергетике, – водородная турбина. По оценке компании 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. MHPS успешно испытала в Японии сверхмощную газовую турбину серии J в работе на топливной смеси из природного газа (70%) и водорода (30%). Испытания были проведены на заводе в Такасаго на парогазовой установке мощностью 700 МВт (КПД – 63% с температурой газов после камеры сгорания ГТУ – 1600°C). Для сжигания топлива использовались горелки с вихревым перемешиванием. Благодаря водороду выбросы CO₂ сократились на 10%, а выбросы оксидов азота, по мнению компании, «остались на удовлетворительном уровне».

Кроме того, MHPS участвует в пилотном проекте по переводу действующего энергоблока мощностью 440 МВт на ТЭС Магнум в Гронингене (Нидерланды) с газа

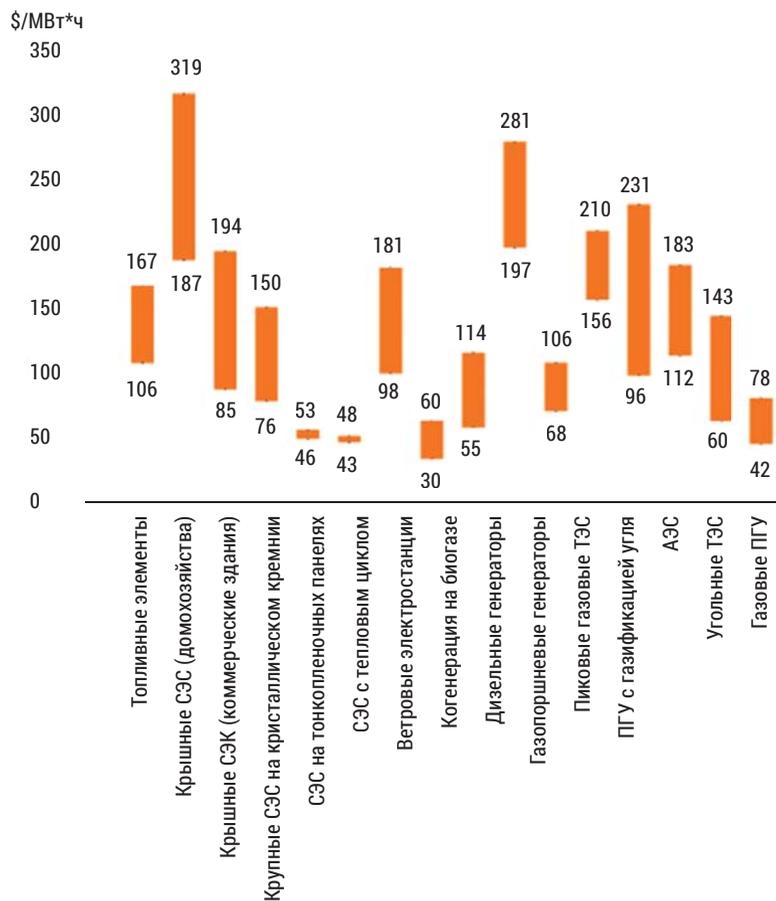
на 100%-ный водород к 2023 году.

Другие японские компании – Kawasaki Heavy Industries и Obayashi – в 2018 году довели долю водорода в топливном балансе газотурбинной ТЭЦ мощностью 1 МВт в г. Кобе в Японии до 100%. Подчеркну: это были краткосрочные испытания турбины. Информация об экономике проекта отсутствует. 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 тыс. местных жителей.

В порту г. Кобе начали строить инфраструктуру для импорта водорода (по аналогии с терминалом СПГ). 10 ноября 2019 года Kawasaki сообщила о сооружении терминала сжижения водорода в Австралии до 2020 года. Аналогичные проекты по сжижению H₂ заявлены японскими компаниями в Брунее и Индонезии. Норвегия готовится присоединиться к лиге экспортеров.

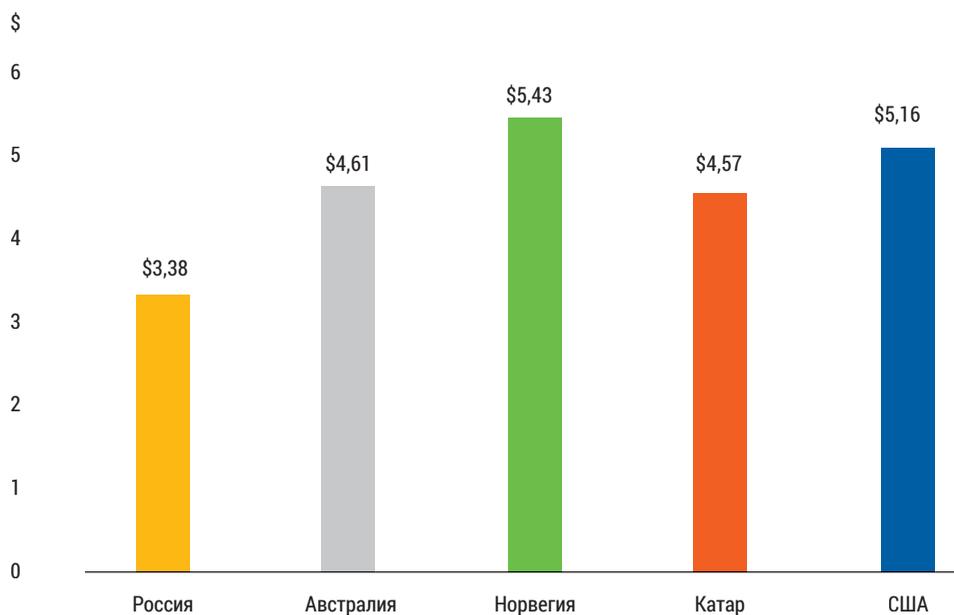
Для Европы вопрос транспортировки водорода имеет несколько путей решения. На протяжении 10 лет высказываются предложения использовать имеющуюся инфраструктуру газопроводов. В частности, популярностью в экспертных кругах пользуется идея создания в пустыне Сахара в Африке солнечных электростанций большой мощности с последующим электролизом водорода и передачей его по существующим или новым газопроводам из Северной Африки в Европу для производства энергии. То ли в шутку, то ли всерьез представитель

ПРИВЕДЕННАЯ СТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (LCOE) ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГЕНЕРАЦИИ



Источник: Lazard, ИЦ EnergyNet

ДОСТИЖИМЫЕ ЦЕНЫ ПРОДАЖИ ВОДОРОДА В ЯПОНИЮ (ЦЕНА CIF) В 2025 г.



Источник: ACIL ALLEN Consulting, ИЦ EnergyNet

«Нафтогаза Украины» предположил, что магистральные системы газопроводов в будущем могут использоваться под водород. Следует заметить, что металлические трубы не подходят для транспортировки водорода из-за высокой летучести H_2 .

Великобритания с целью вдвое сократить выбросы парниковых газов до 2050 года 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 года) говорится, что к 2030 году 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. Именно на этот вариант развития энергетики и рассчитывают в «Газпром экспорте», причем желательно с поставкой метана до страны-потребителя. В этом случае от компании не потребуется никаких существенных изменений.

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. Верхний предел определяется национальными технологическими стандартами, связанными с безопасностью газопроводов и генерирующего оборудования электростанций. Для масштабной европейской газотранспортной системы подмешивание 20% водорода, по данным МЭА, снизило бы выбросы CO_2 на 60 млн тонн в год (7%).

СПРАВКА

Микроэлектростанции на топливных элементах (fuel cell CHP) принципиально отличаются от ТЭС тем, что в них химическая энергия непосредственно преобразуется в электрическую (процесс, обратный электролизу) – соответственно, 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. Они используются в домашних хозяйствах и на малых коммерческих предприятиях.

ДОТАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ

Если 150 лет назад газ с водородом был самым дешевым видом топлива, то сегодня технологические решения стоят дорого и могут быть реализованы только при наличии государственных дотаций в той или иной форме. Круг стран, развивающих водородные направления в энергетике, пока не широк.

Япония первой в мире провозгласила курс на построение водородной экономики и приняла соответствующую стратегию. В приоритетном порядке страна развивает два направления: создание распределенной тепловой генерации на топливных элементах (ТЭ) для освещения и отопления жилых домов и офисных помещений и электромобилей с использованием водорода.

В рамках проекта Ene-Farm в Японии за прошлый год было установлено 50 тыс. домашних когенерационных микроэлектростанций на ТЭ, их общее количество увеличилось до 300 тыс. Водородная программа Японии предусматривает ввод 1,4 млн ТЭ к 2020 году, 5,3 млн – к 2030 году. Внедрение идет с отставанием. Но идет. Бюджет Японии на 2018 год предусматривал субсидии в объеме \$70 млн на производство ТЭ с использованием водорода.

Рынок микроэлектростанций активно развивается также в Южной Корее, отдельных штатах США (Калифорния) и странах Европейского Союза – при активной поддержке государства. В 2017 году была запущена общеевропейская инициатива Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), которая объединила 89 регионов и городов из 22 стран Европы. Ее участники используют водородные технологии в своих стратегиях в рамках «энергетического перехода» за счет реализации проектов общей стоимостью 1,8 млрд евро в течение пяти лет.

К примеру, в сентябре 2019 года Лёвенский университет (Бельгия) сообщил о создании новой мультисистемы, которая использует солнечную энергию и влажность атмосферного воздуха для синтеза водорода. Установка производит в день до 250 литров водорода, который можно пустить на обогрев дома или офиса.

А в Великобритании разработали первый термодинамически обратимый химический реактор, который производит водород в виде чистого потока – без необходимости отделять его от других химических элементов.

В 2018–2019 годах водородные стратегии приняли Австралия, Южная Корея, Германия, Великобритания, отдельные штаты США.

США в рамках одной лишь программы US DOE Hydrogen and Fuel Cells Program выделяет до \$120 млн (в 2004–2011 годах – вдвое больше).

Правительство Германии отобрало первые 20 крупных инновационных проектов для реализации в промышленных лабораториях с целью «энергетического перехода» (Reallabore der Energiewende). Крупные 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:

СПРАВКА

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, максимальная скорость – 160 км/ч (лимитирована системой программного контроля), потребление водорода – 0,76–1 кг H₂/100 км, водород под давлением 700 бар, дальность – 385–750 км.

- ◆ строительство 100-мегаваттного электролизера;
- ◆ 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.

ВОДОРОДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ (НЕ) ЗАМЕНИТ ДВС

Канада первой в мире интегрировала водород в городской транспортный автопарк. Канадская компания Ballard поставила первые ячейки на автобусы Ванкувера еще в 1995 году. За четверть века технологии были отработаны, и транспорт ездит исправно. С 2005 года аналогичный принцип активно используется в Нидерландах, Испании, Германии, Италии, Люксембурге, Исландии. Магистрат Цюриха, к примеру, в этом году купил 130 автобусов Hyundai на водороде плюс к уже имевшимся 150–160 единицам. Основной рывок запланирован на 2021–2023 годы. Масштабные проекты по водородизации городского транспорта реализуются также в Австралии и Китае.

На автосалоне в Ганновере в 2019 году все крупные производители легковых автомобилей представили свои модели на водороде, включая Audi, BMW, Daimler, Ford, GM, Mercedes-Benz.

Максимальной дальностью поездки в 750 км на одной заправке в 2019 году обладает серийный автомобиль Honda Clarity. В марте 2019-го в Китае был представлен амбициозный концепт-кар Grove, внешне похожий на модели Maserati с дверями в форме бабочки, ТЭ на водороде и дальностью хода 1000 км с выходом на серийное производство в 2020 году. Для сравнения: максимальная дистанция электромобиля (BEV) Tesla на одной зарядке – 590 км.

Автомобили на водородных ТЭ продаются дорого: Honda Clarity – 51 тыс. евро, Toyota Mirai – 60,7 тыс. евро, Hyundai ix35 Fuel Cell – 65,4 тыс. евро. При этом во всех странах покупатели получают компенсацию в 20–30% от 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 топливных элементов Toyota Mirai в 2016 году составила \$183/кВт. По прогнозу Департамента энергетики США, стоимость мощности топливных элементов с PEM к 2025 году может снизиться до \$36/кВт при условии производства не менее 500 тыс. батарей топливных элементов в год.

Власти Японии пообещали в 2020 году обслуживать всех гостей Олимпиады на водородных автомобилях. К этому времени на дорогах страны должно быть, по разным данным, 40–50 тыс. легковых автомобилей и автобусов на водородных топливных батареях и 90–100 водородных автозаправочных станций (ВАЗС). К 2025 году число зарегистрированных в стране машин, работающих на водороде, предполагается довести до 200 тыс., а к 2030 году – до 800 тыс. Слоган инициативы: «Водородная заправка – в 15 минутах от вашего дома».

Впрочем, пока процесс распространения водородных автомобилей сдерживается крайне ограниченным масштабом водородных заправок. В середине 2019 года заправочных станций было только 30 и только в трех крупнейших городах страны – Токио, Нагое, Осаке.

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

Ряд стран декларирует намерение создать парк водородных электромобилей до 1 млн штук к 2030 году – в сумме эти планы приближаются к отметке в 4,6 млн штук. На фоне имеющегося парка машин на ДВС (более 1 млрд) это небольшой показатель.

Эксперты «Сколково» уверены, что незначительные темпы внедрения водородных ТЭ на автомобилях не смогут полностью вытеснить ДВС до 2030 года. С этим выводом хочется согласиться. Но я предлагаю внимательно наблюдать за Китаем в ближайшие пять лет. До конца 2020 года планируется заменить 200 тыс. такси с ДВС на электромобили, что составит 20% таксопарка Пекина. А к концу 2023 года весь таксопарк столицы Китая должен стать электрическим. С этой целью в пределах

СПРАВКА

Заправочные станции состоят из системы хранения водорода, охлаждения, компрессора и раздаточных устройств заправки автомобилей. Стандарты проектирования ВАЗС являются международными, а модульная структура позволяет адаптировать их производительность и размер под прогнозируемый объем потребления.



пятого транспортного кольца в городе будет создана сеть электрозаправок на расстоянии 5–10 км. Кто знает, не начнет ли «азиатский дракон» штамповать и водородные автомобили после начала их серийного выпуска (заявки пообещали начать принимать на следующем автосалоне в Шанхае).

С учетом недавних инвестиций китайских Weichai-Power-Advance-China-Strategy и Broad-Ocean Motors в канадскую Ballard Power Systems и возможным риском передачи технологий в Китай и установления контроля над компанией, в ноябре 2019 года комитет по водороду The Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee (HTAC) при Департаменте энергетики США планирует обсудить вопрос устранения конкурентной угрозы. В своем промежуточном отчете в августе 2019 года комитет порекомендовал: «Уделить особое внимание бюджетам Управления технологий топливных элементов Министерства энергетики США на 2019–2020 финансовые годы, чтобы сделать упор на устранение конкурентной угрозы: принять срочные меры для обеспечения долгосрочного конкурентного преимущества либо позволить процессу следовать тем же путем, что и в фотоэлектрической и литий-ионной аккумуляторной промышленности».

То есть мировые экономические и энергетические лидеры рассматривают рынок водородных технологий как новый инструмент влияния и передела финансовых потоков. МЭА, австралийский Acil Allen Consulting и российский ИЦ EnergyNet оценивают емкость рынка водорода с существенной разбегой: \$1–15 млрд в 2025 году, \$10–55 млрд в 2030-м, \$21–102 млрд в 2035-м, \$32–164 млрд – в 2040-м при цене нефти Brent \$50/барр. Отмечу только, что рост объема продаж может обеспечить лишь

снижение цен с \$4 до \$2/кг в 2020–2040 годах, для чего потребуются большой объем инвестиций.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ ДЛЯ РОССИИ

На первый взгляд, Россия не вступила в водородную гонку и продолжает сохранять энергетический нейтралитет. К этому есть предпосылки: энергосистема России имеет самый низкий углеродный след (по доле использования угля в генерации) среди 10 крупнейших энергосистем мира и может себе позволить незначительный временной лаг с целью подождать, когда будут доработаны технологии и снизятся цены на ТЭ.

С другой стороны, территории, которые занимают китайцы, не достаются больше никому – они демпингуют. И тут «право первой ночи» будет работать в интересах более расторопного поставщика. В России большой потенциал для производства водорода, а в соседних Японии и Корее – большой запрос на импорт этого топлива.

В октябре 2019 года 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 уже доклада «Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива».

Доклад прогнозирует масштабное развитие экспортного потенциала. 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 году. Это позволит претендовать на 10–15% мирового рынка водорода в перспективе 2030 года.

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 из США и Норвегии. По мнению авторов доклада, «пилотный проект может быть развернут на базе гидроэнергетических или ветроэнергетических мощностей на Дальнем Востоке, например, с использованием строящейся Усть-Среднеканской ГЭС им. Дьякова или ветрогенераторов на о. Сахалин». На совещании в Минэнерго решено определить пилотным регионом Сахалинскую область.

Водород также может повысить эффективность использования генерирующих мощностей в России, считают авторы доклада, и решить проблему запертых мощностей. EnergyNet полагает, что средний коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) генерирующих мощностей за счет загрузки резервов производства водорода вырастет на 5–7% к уровню 2017 года, а затраты на энергоснабжение на удаленных и изолированных территориях снизятся на 27–30%.

В этой части я бы поспорила с коллегами из EnergyNet. Если в энергосистеме за счет накопителей из водорода удастся создать резерв в 20 ГВт, как они прогнозируют, и сгладить суточную и сезонную неравномерность (а есть еще перепады спроса рабочих и выходных дней), то отсутствие пиков потребления приведет к снижению загрузки генерации (КИУМ) и как следствие – к выводу некоторой части установленных мощностей, находящихся в резерве, где избыток и без того составляет 20 ГВт.

У водорода пока еще столько проблем, что работать с ним могут только большие корпорации – окупаемость здесь не так важна, если будет возможность занять у государства на приемлемых условиях. EnergyNet полагает, что источниками производства водорода могли бы быть Кольская 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 ис-

следовательские институты по разработке энергоблоков малой мощности.

У России имеется большой ресурс научных разработок по ТЭ, которые могут быть трансформированы в собственные технологии водородной энергетики. Не случайно спустя неделю после первого совещания по водороду в Минэнерго на форуме «Открытые инновации» в Москве был представлен первый российский автомобиль с водородными ТЭ (475 Вт*ч/кг весом 42 кг) с синхронным тяговым электродвигателем 40–60 кВт весом 50 кг. А еще через несколько дней в Санкт-Петербурге вышел на линию первый трамвай на водороде. Отдельные скептики тут же усмотрели зарубежные запчасти, из которых собран автомобиль, и обратили внимание, что в трамвае только восемь сидячих мест, потому что половину салона занимают водородные баллоны и топливные элементы, да и движется он как черепаха – 10 км/ч.

Зато с появлением первых реализованных проектов Россия вступает в клуб мировых технологических лидеров, а разработка отечественных аналогов или доработка технологий – это вопрос времени и инвестиций. Представитель «Горэлектротранса», выпустившего пилотный трамвай, подтверждает, что энергоустановка может быть уменьшена в 10 раз, а значит, салон увеличится. При этом водородному трамваю не нужны тяговые подстанции (100–150 млн рублей каждая), контактная и кабельная сети (14 и 21 млн руб./км, соответственно). Если инвестиции поступят в начале 2020 года, то разработчики обещают усовершенствовать водородный трамвай за три-четыре года.

Если нет, то к концу 2019 года опытный образец «H₂» разберут на запчасти. И нет ясности, будет ли собран следующий и когда.

Необходимо принять ряд законодательных и нормативных изменений с целью стимулирования развития новых технологий, и, в первую очередь, обеспечения системного финансирования в России. Возможно, хорошим выходом было бы выделение определенной доли из прибыли или оборотного капитала корпораций ТЭК России на научные разработки по приоритетным отраслям и направлениям – по аналогии с хорошо зарекомендовавшей себя в свое время системой НИОКР. ❗