

РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ: НОВАЯ ЭНЕРГОПОЛИТИКА

АВТОР:

А.А. ШНИПОВА,
ГРУППА «ДЕЛОВОЙ
ПРОФИЛЬ»

В статье рассматриваются перспективные методы решения проблем аккумулирования энергии как в централизованной энергетике, так и в системах автономного энергоснабжения с долгосрочным хранением энергии с помощью водородных технологий.

Ключевые слова: водородная энергетика; водородная энергетика в России; рынок водорода в России; мировой рынок водорода; водородные технологии; перспективы водородной энергетике; проекты водородной энергетике; проблемы водородной энергетике.



Производство возобновляемой энергии водорода — водородный газ для чистой электроэнергии солнечной и ветряной турбины

Сегодня водородная энергетика рассматривается как одно из ключевых направлений в рамках программ по декарбонизации и достижению углеродной нейтральности. Общий объем производства водорода в мире в настоящее время оценивается в 55–70 млн тонн при совокупном среднегодовом темпе роста 1,6%. Спрос на водород в России для производства аммиака и метанола в 2020 г. составлял примерно 2,8 млн и 700 тыс. тонн соответственно. Ожидается, что к 2030 г. показатель составит совокупно 4,4 млн тонн.

Четвертый энергетический переход стал стимулом к развитию возобновляемой энергетике (ВИЭ), интеллектуальных электрических систем и использованию водорода в качестве энергоносителя. В мире реализуются крупные проекты по развитию ВИЭ, производства, транспортировки и использования водорода в качестве топлива для различных видов транспорта, производства «зеленого» углеводородного топлива, газификации жилого фонда. Сегодня водородная энергетика рассматривается как одно из ключевых направлений при реализации программ декарбонизации и достижения углеродной нейтральности — водород можно получать из низкоуглеродных источников и его использование в качестве энергоносителя не приводит к выбросам парниковых газов.

По сути, водород является видом энергоносителя, который рассматривается для решения климатических задач и может быть использован для накопления, хранения и доставки энергии. Япония, Германия, США, Китай и ряд других стран приняли «зеленые» энергетические стратегии, смысл которых ясно изложен в Энергетической стратегии Европы. Распоряжением Правительства РФ от 12.10.2020 № 2634-р также утвержден план мероприятий (дорожная карта) по развитию водородной энергетике в Российской Федерации до 2024 г.

СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДОРОДА

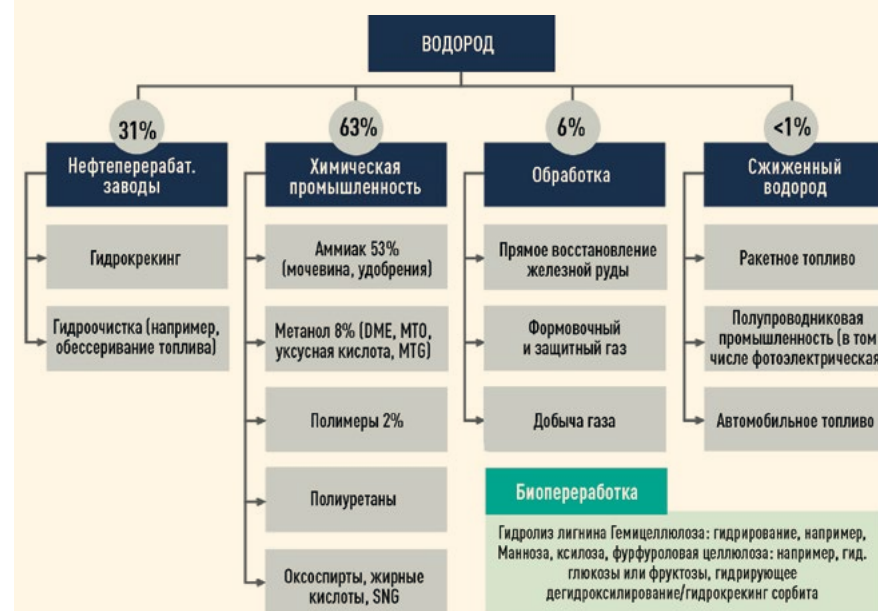


Рис. 1

Источник: DECHEMA, DOE, Fair-PR, Linde.

ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО СТРАНАМ ЗА 2020 Г., МЛН ТОНН

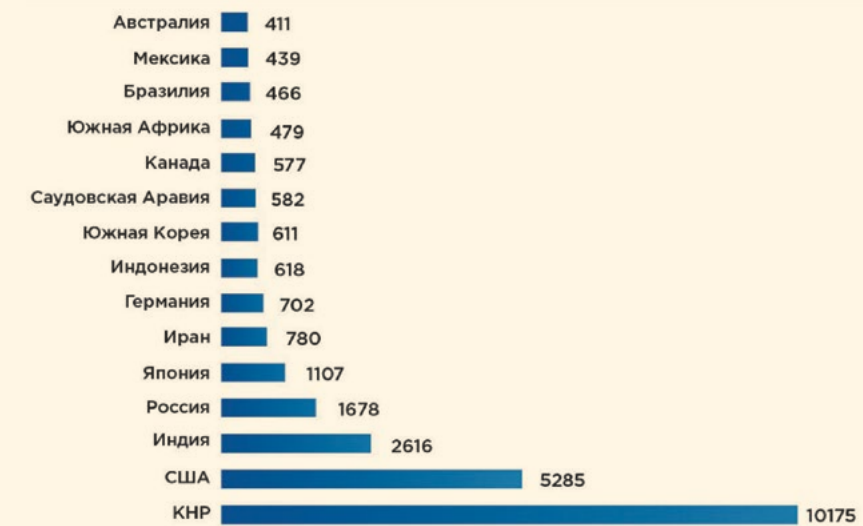


Рис. 2

Источник: Global Carbon Atlas. // Global Carbon Atlas. 2019. <http://globalcarbonatlas.org>

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОРОДА В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ



Рис. 3

Источник: Энергетическая политика (<https://energypolicy.ru>).

Главные направления использования водорода — нефтепереработка и химическая промышленность (для производства различных товаров, в первую очередь аммиака и метанола). Энергетическое использование водорода оценивается всего в 1–2% от общих объемов его потребления (рис. 1).

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОГО» ВОДОРОДА

Усиление активности в водородной сфере произошло после принятия Парижского соглашения 4 ноября 2016 г. Россия присоединилась к Парижскому соглашению осенью 2019 г. В соответствии с данным соглашением страны берут на себя ряд обязательств. Во-первых, в период с 2050 по 2100 г. ограничивать выброс парниковых газов до уровня, который экосфера сможет переработать естественным образом. При этом каждая страна добровольно берет на себя обязательства по определенному снижению уровня эмиссии и обязуется раз в пять

лет снижать объемы выбросов (рис. 2). Во-вторых, развитые страны мира (преимущественно G7) обязуются выделять деньги в специальный климатический фонд для помощи бедным государствам в борьбе с последствиями климатических изменений

и переходу на ВИЭ. Ориентировочные объемы помощи — 100 млрд долл. ежегодно до 2020 г.

Аналитики Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency, IRENA) в руководстве по принятию политических решений, связанных с «зеленым» водородом, подчеркивают необходимость интегрированного политического подхода к тому, чтобы «зеленый» водород из качества нишевого игрока перешел в качество распространенного энергоносителя. Такой подход, отмечается в руководстве, должен иметь четыре основных столпа:

- установление политических приоритетов;
- гарантии происхождения;
- возможности политики;
- национальные водородные стратегии.

Восьмого июля 2020 г. Европейская комиссия опубликовала Стратегию в области водорода (Building a hydrogen economy for a climate-neutral Europe). В этот же день было официально

ИЗДЕРЖКИ НА ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ПО РАЗНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В 2019 Г., ДОЛЛ./КГ

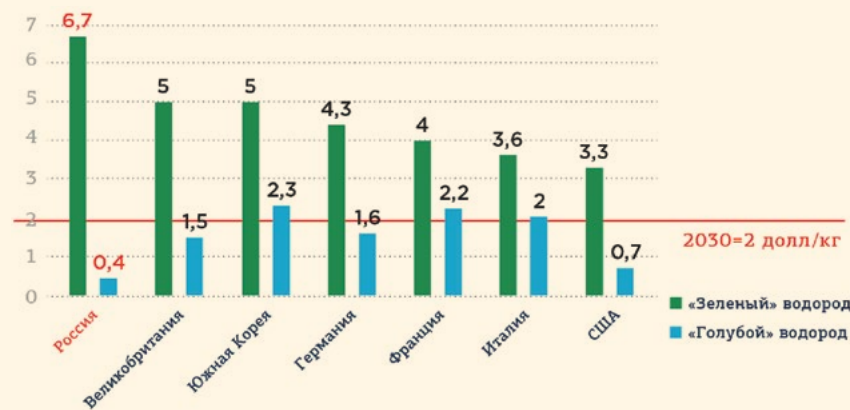


Рис. 4

Источник: расчеты ЦЭП ГПБ (АО).

объявлено о начале работы Альянса по развитию «чистого» водорода (Clean Hydrogen Alliance). В стратегии впервые приводится подробная классификация различных видов этого газа в зависимости от источника происхождения и способа производства (рис. 3).

В ЕС установлены исключительно кратко- и среднесрочные показатели для возобновляемого водорода:

- на первом этапе (2020–2024 гг.) — производство 1 млн тонн возобновляемого водорода и установка электролизеров общей мощностью не менее 6 ГВт;
- на втором этапе (2025–2030 гг.) — производство 10 млн тонн возобновляемого водорода и установка мощностей по его производству в объеме не менее 40 ГВт.

При этом ожидается, что доля водородного топлива (все виды) в энергобалансе ЕС вырастет с текущих менее 2 до 13–14% к 2050 г.

ВИДЫ ВОДОРОДА

В целом водород принято классифицировать по способам его производства: «зеленый» — водород,

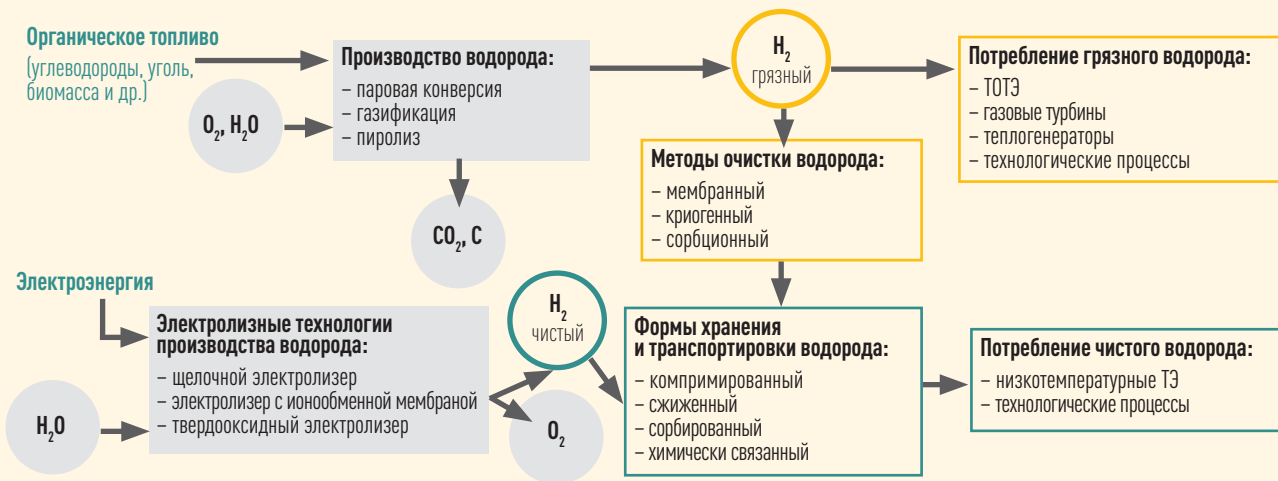
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОРОДНЫХ СТРАТЕГИЙ НЕКОТОРЫХ СТРАН

Страна	Ориентиры	Финансирование	Управление
Япония	Базовая водородная стратегия 2017 г. Достижение «общества водорода» для повышения энергобезопасности и декарбонизации. Ориентация на импорт водорода (с акцентом на «зеленый» водород после 2040 г.). Основное применение в электроэнергетике. Развитие экспорта автомобилей на топливных элементах (например, Toyota)	664 млн долл. США в 2020 финансовом году	Министерский совет по ВИЭ, водороду и смежным вопросам
ЕС	Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы 2020 г. Достижение климатической нейтральности и отсутствия загрязнения. Использование водорода на основе энергии ветра и солнца	145 млрд евро (170 млрд долл. США) до 2030 г. на гранты и субсидии	Европейский альянс чистого водорода, включающий представителей власти, бизнеса и гражданского общества
Германия	Национальная водородная стратегия 2020 г. Достижение климатической нейтральности. Ориентация на импорт и внутреннее производство «зеленого» водорода. Основное применение на транспорте и в промышленности. Развитие технологий Power-to-X	1,4 млрд евро (1,7 млрд долл. США) в 2016–2026 гг. на инновации; 1,1 млрд евро (1,3 млрд долл. США) в 2020–2023 гг. на R&D и трансфер технологий; 9 млрд евро (10,6 млрд долл. США) — план восстановления	Государственный комитет по водороду (состоящий из министров); Координационный офис по водороду в правительстве; Национальный совет по водороду (экспертный)
Франция	Национальная стратегия развития «чистого» водорода 2020 г. Достижение климатической нейтральности. Расширение мощностей электролиза и внутреннее производство «зеленого» водорода — основное применение на транспорте и в промышленности	7,2 млрд евро (8,5 млрд долл. США) до 2030 г. — план восстановления	Национальный комитет по водороду; Французская ассоциация по водороду и топливным элементам
Норвегия	Водородная стратегия 2020 г. Достижение климатической нейтральности. Расширение мощностей электролиза и внутреннее производство «зеленого» водорода, в том числе с использованием CCS. Основное применение на транспорте и в промышленности	120 млн крон (13 млрд долл. США) — план восстановления	Правительство

Таблица 1

Источник: обзоры Bennett Jones.

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Обозначения: ТОТЭ — твердооксидный топливный элемент.

Рис. 5

произведенный по технологии электролиза с использованием возобновляемой энергии; «голубой» — водород, синтезированный из природного газа; «серый» — водород, полученный с помощью технологии газификации угля. Ежегодно в мире производится около 70 млн тонн водорода, более 90 % которого приходится на неэкологичный «голубой» водород (при синтезе 1 кг «голубого» водорода в атмосферу выделяется 3 кг углекислого газа). В соответствии с принятыми стратегиями целевой вид водорода — «зеленый», себестоимость которого пока в 2–3 раза превышает неэкологичную альтернативу (рис. 4).

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ВОДОРОДНЫЕ СТРАТЕГИИ

На ближайшие 10 лет национальные стратегии ставят задачи по увеличению масштабов выработки и снижению себестоимости водорода независимо от способа его производства (табл. 1). При этом переход

от «голубого» водорода к «зеленому» откладывается до 2030-х гг.

Основные компоненты водородной энергетики представлены на рис. 5. При проведении жесткой климатиче-

ской политики водородная энергетика будет в значительной мере базироваться на безуглеродных источниках первичной энергии — ВИЭ, ядерной энергии и производстве водорода путем электролиза воды.

ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЧИСТОГО ВОДОРОДА И ВОДОРОДА В СМЕСИ В МИРЕ ПО СЕГМЕНТАМ ПРОИЗВОДСТВА, МЛН ТОНН



Рис. 6

Источник: МИЭ.

МИРОВОЙ РЫНОК ВОДОРОДА

Мировой рынок водорода в 1990–2020 гг. (рис. 6) рос со среднегодовым темпом 2,9%. Рост спроса обеспечивали все основные сегменты потребления водорода:

- нефтепереработка (наблюдался наиболее высокий рост за счет увеличения спроса на нефтепродукты (в том числе с низким содержанием серы);
- производство аммиака;
- производство метанола.

В 2020 г. мировое потребление чистого водорода и водорода в смеси с другими газами составило 75 млн и 44 млн тонн соответственно, из них лишь около 3 млн тонн было произведено с низким углеродным следом. В США, Китае, Японии, Евросоюзе и других странах в последние годы были утверждены стратегии развития водородного транспорта, при достижении заявленных целей потребление водорода в транспортном секторе вырастет с 140 тыс. до 14 млн тонн в год к 2030 г. (рис. 7).

Общий объем производства водорода в мире в настоящее время оценивается различными источниками в 55–70 млн тонн, причем совокупные среднегодовые темпы его роста за последние 20 лет невысоки — около 1,6%. Более 90% водорода производят на месте его потребления (так называемый кэптивный продукт) и менее 10% поставляют специализированные компании, работающие на рынке промышленных газов (Air Liquide, Linde, Praxair Inc. и др.).

Сегодня в качестве сырья для производства водорода доминируют углеводороды. Более 68% водорода получают сейчас из природного газа, 16% — из нефти, 11% — из угля и 5% — из воды с помощью

ПРОГНОЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДОРОДА ПО СЕГМЕНТАМ ЭКОНОМИКИ В МИРЕ, МЛН ТОНН/ГОД

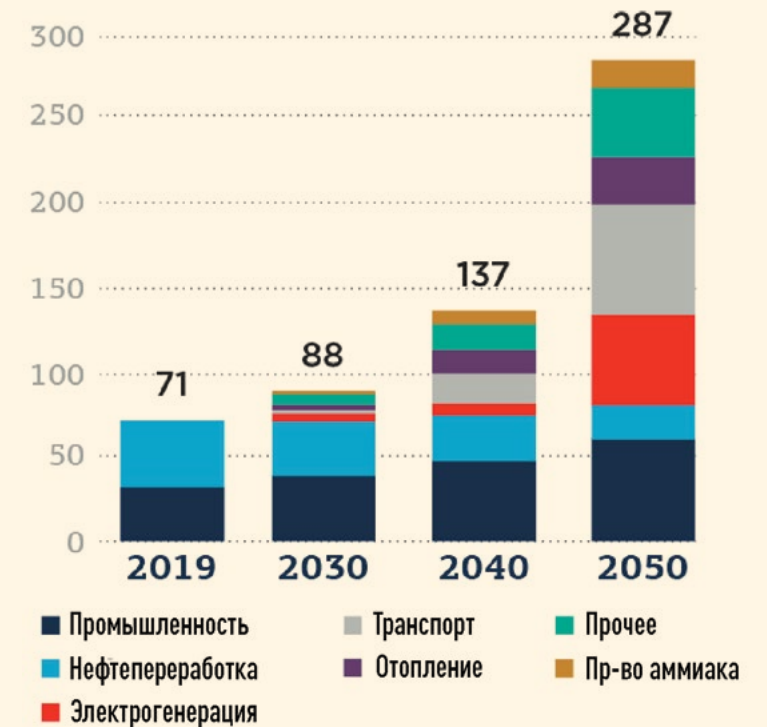


Рис. 7

Источник: МЭА.

электролиза. Это объясняется сравнительно дешевой производством из углеводородов — по различным оценкам, себестоимость водорода из природного газа пока в 2–5 раз ниже, чем при электролизе (рис. 8).

ХРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВОДОРОДЕ

Водородные технологии в настоящее время рассматриваются как одни из наиболее перспективных для решения задач аккумулирования энергии и в централизованной энергетике, и в системах автономного энергоснабжения с долгосрочным хранением энергии.

В частности, в связи с широким распространением ВИЭ актуальным является вопрос длительного хранения электроэнергии с помощью водорода. Две характерные черты электрической энергии как энергоносителя приводят к всевозрастающей потребности создания современных и эффективных систем хранения энергии:

- электричество потребляется одновременно с генерацией, достаточное количество электрической энергии должно быть предоставлено потребителю, чтобы удовлетворить переменное потребление. Разбаланс между поставкой и потреблением может снизить стабильность и качество (напряжение и частоту) электроснабжения;

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

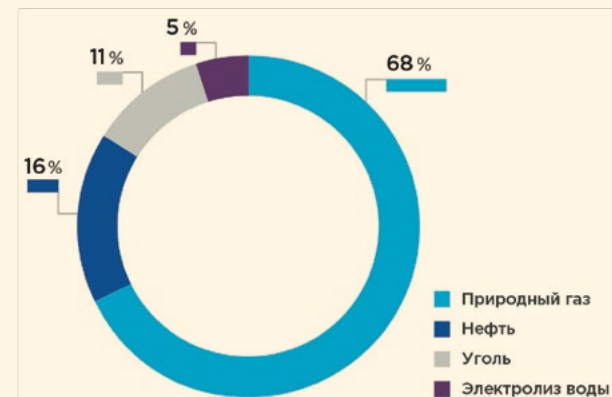


Рис. 8

Источник: Neftegas.RU.

— традиционно электроэнергия производится вдали от тех мест, где она потребляется. Генерирующие мощности и потребители объединены в энергетическую систему с помощью сетей, качество и пропускная способность передающих сетей могут существенно влиять на стабильность и качество (напряжение и частоту) электроснабжения.

Известно, что солнечная и ветровая энергетика характеризуются низкими коэффициентами использования установленной мощности.

Таким образом, обеспечение качества электроснабжения при широком распространении ВИЭ в этом случае должно быть подкреплено системами хранения энергии.

Основными направлениями использования систем хранения электроэнергии являются:

— качество электроэнергии — степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. Запасенная энергия используется в течение секунд или меньшего времени для поддержания параметров сети;

- бесперебойное питание — поддержание непрерывности питания приемников в случае нарушения питающей сети переменного тока. Запасенная энергия используется в течение секунд или минут на время переключения с одного источника питания на другой;
- регулирование потребления энергии — согласование графиков производства и потребления электроэнергии. Например, выравнивание графика нагрузки. Запасенная энергия может использоваться в течение многих часов;
- изменение структуры сетевой генерации при внедрении ВИЭ приведет к повышению требований к функционированию и устойчивости сети, а также создаст новые вызовы развитию технологий аккумулирования энергии.

По данным WEO2018, повышение устойчивости сети, создание дружественных к требованиям сети солнечных

и ветровых электростанций, обеспечение доступности электростанций, готовых включиться в поддержание уровня мощности за короткое время, могут быть эффективны только до момента, когда доля ВИЭ в генерации достигнет 25%. В системах с большей долей ВИЭ либо нужно отключать возобновляемую генерацию при избытке мощности или снижении потребления, либо устанавливать крупномасштабные системы аккумулирования энергии.

Обычно водородное аккумулирование энергии рассматривается в виде цепочки, связывающей первичный источник энергии, производство водорода, систему хранения водорода и водородную энергоустановку. Относительно применения ВИЭ эта цепочка сводится, как правило, к получению водорода путем электролиза, хранению водорода в сжатом или твердофазном связанном виде и получению электрической энергии с использованием электрохимических

МЕХАНИЗМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ



Рис. 9

POWER-TO-GAS (ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ-В-ГАЗ)

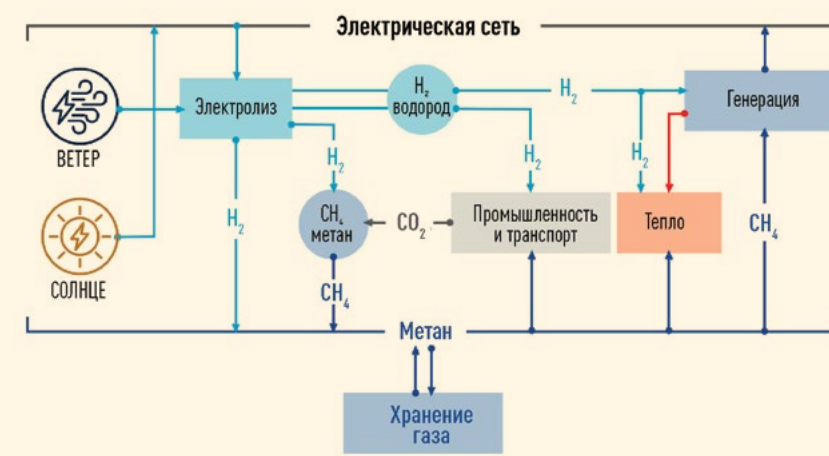


Рис. 10

генераторов (топливных элементов) либо водородосжигающих установок (включая двигатели внутреннего сгорания). Подобная система рассматривается в качестве буфера между электрической сетью и ВИЭ и предназначена не только для долгосрочного хранения энергии, но и для сглаживания существенных пульсаций, связанных с переменным характером ВИЭ (рис. 9).

Среди технологий хранения энергии водородное аккумулирование отличается относительно низким КПД (40–60%), однако этот недостаток компенсируется достоинствами водородных систем, среди которых выделяются возможность длительного хранения энергии без потерь, что недостижимо для химических источников тока, высокая плотность хранения энергии и малые капитальные затраты по сравнению с ГАЭС и ПАЭС.

Крупномасштабное хранение энергии с помощью водорода сегодня рассматривается как часть следующих концепций:

— Power-to-Power (электроэнергия-в-электроэнергию) с хранением водорода как в газообразном

(в том числе в подземных газохранилищах), так и в связанном состоянии;

— Power-to-Gas (электроэнергия-в-газ), включающая добавление водорода в существующую инфраструктуру для природного газа (обогащенный водородом природный газ), а также создание синтетического метана из водорода (метанизация) (рис. 10).

Последняя концепция водородного аккумулирования энергии является наиболее распространенной за рубежом, а в российской действительности связана с перспективой замены российского природного газа на синтетический метан.

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ

В России задача по развитию водородной энергетики закреплена в ключевом отраслевом документе стратегического планирования — актуализированной Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г. Вместе с тем

в октябре 2020 г. правительство РФ утвердило дорожную карту по развитию водородной энергетики до 2024 г., которая направлена на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также на вхождение страны в число мировых лидеров по его производству и экспорту. В то же время в завершающей стадии находится работа по подготовке концепции развития водородной энергетики России.

В 2020 г. в России было переработано около 270 млн тонн нефти, что составляет 6% мировой нефтепереработки, для этого было использовано около 2,2 млн тонн водорода. К 2030 г. ожидается рост спроса на нефтепродукты и соответственно на водород в этом сегменте на 8%.

Спрос на водород в России для производства аммиака и метанола в 2020 г. составлял примерно 2,8 млн и 700 тыс. тонн соответственно, с учетом мировых темпов роста производства этих веществ в 2030 г. спрос на водород в России в химической промышленности составит около 4,4 млн тонн (3,4 млн и 1 млн тонн в производстве аммиака и метанола соответственно).

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Что касается технологий производства водорода, то основной и самой дешевой технологией в России является паровая конверсия метана. Низкая цена на природный газ делает производство в России по этой технологии одним из самых дешевых в мире. По прогнозам Всемирного банка, к 2030 г. цена природного газа возрастет на 50%, что повысит издержки на 20% (рис. 11).

Газификация угля обходится дороже, чем конверсия, из-за более высокого

СТОИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА В РОССИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ, ДОЛЛ/КГ

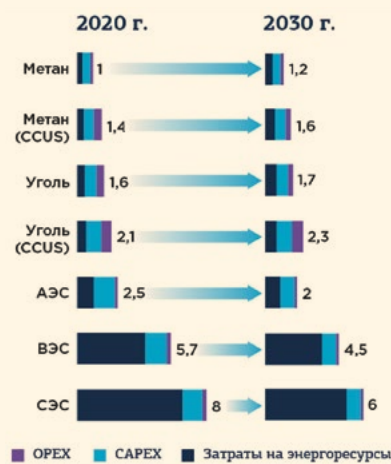


Рис. 11

Источник: МИЭ.

CAPEX, так как технология использует сложную и дорогостоящую систему очистки полученного водорода. По прогнозам МВФ, к 2030 г. цена угля возрастет на 20%, что повысит издержки примерно на 6%.

Электролиз. К 2030 г. ожидается падение стоимости электролизеров на 30–40%, что сделает электролиз на АЭС перспективной технологией для развития в России: минимальные выбросы при относительно невысокой цене. К 2030 г. в России ожидается снижение себестоимости генерации на СЭС и ВЭС более чем на 20%, тем не менее «зеленый» водород останется в 2–3 раза более дорогим относительно других технологий.

CCUS. Данная технология находится на стадии разработки. Если широкое применение технологии станет воз-

ПЛАНОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ДЛЯ ПРОДАЖИ В 2030 Г., МЛН ТОНН



Рис. 12

Источник: расчеты ЦЭП ГПБ (АО).

можным, паровая конверсия с CCUS станет оптимальной с экономической точки зрения технологией для производства водорода в России.

Ввиду обширных запасов природного газа Россия обладает рядом преимуществ для производства и экспорта «голубого» водорода. Согласно дорожной карте, к 2035 г. в России должны быть созданы мощности для экспорта 2 млн тонн водорода (или 6 млрд долл., что соответствует 1,5% от экспорта 2019 г.; рис. 12).

ЭКСПОРТ РОССИЙСКОГО ВОДОРОДА

Показателем решения задачи развития водородной энергетики в соответствии с Энергетической стратегией России до 2035 г. установлены целевые значения экспорта H_2 к 2024 и 2035 гг. Это однозначно интерпретируется в России и за рубежом как нацеленность на производство H_2 внутри РФ и экспорт H_2 /MBC, что, увы, соответствует навязываемой России контрпродуктивной концепции развития внешнеэкономического

сегмента формируемой водородной стратегии РФ.

В настоящее время специалистами Газпрома предлагается альтернативная концепция развития сотрудничества РФ и ЕС в водородной сфере (рис. 13), в основе которой экспорт российского природного газа по существующей ГТС РФ и ЕС и в виде СПГ и производство H_2 внутри ЕС в районах опережающего роста спроса на H_2 (водородные долины) методами либо ПРМ+CCS (прибрежные районы) с утилизацией CO_2 , либо пиролиза метана (и сходными технологиями), либо с помощью пиролиза метана без выбросов CO_2 . Разработкой и обсуждением этой концепции сегодня специалисты занимаются в рамках рабочей группы 2 «Внутренние рынки» Консультативного совета РФ — ЕС по газу.

КЛЮЧЕВЫЕ ИГРОКИ РЫНКА ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Значительный интерес к развитию технологий водородной энергетики

в России проявляет корпоративный сектор, прежде всего ГК «Росатом» и Группа «Газпром» — ключевые участники плана (табл. 2).

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Водородная энергетика включена в перечень приоритетных направлений научно-технологического развития ГК «Росатом». Приоритет отдается производству водорода за счет эффективной электрической и тепловой энергии, генерируемой соответственно АЭС и атомными энерготехнологичес-

кими станциями (АЭС). В 2020 г. началась реализация мероприятий комплексной программы «Атомная наука, техника и технологии» ГК «Росатом», в том числе по развитию водородной энергетики. А в 2019 г. дан старт двум проектам с участием госкорпорации: организации в России железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах и пилотному проекту по экспорту водорода в Японию.

Для Группы «Газпром» освоение и внедрение водородных технологий также является одним из перспективных направлений инновационного развития. Производство и применение метано-водородных смесей и водорода рассматривается

компанией в качестве перспективного направления диверсификации и повышения эффективности использования природного газа. Компании реализуют проекты по водородной тематике.

БАРЬЕРЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Россия, выходя на глобальный рынок, обладает важными конкурентными преимуществами по развитию водородной энергетики по сравнению с потенциальными страна-

ДВА ПОТОКА ГАЗОВЫХ ПОСТАВОК ИЗ РФ В ЕС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТОГО ВОДОРОДА (БЕЗ ВЫБРОСОВ CO_2) ВНУТРИ ЕС (КОНЦЕПЦИЯ, АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ПРОГРАММНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ ЕС/ФРГ И ДР.)

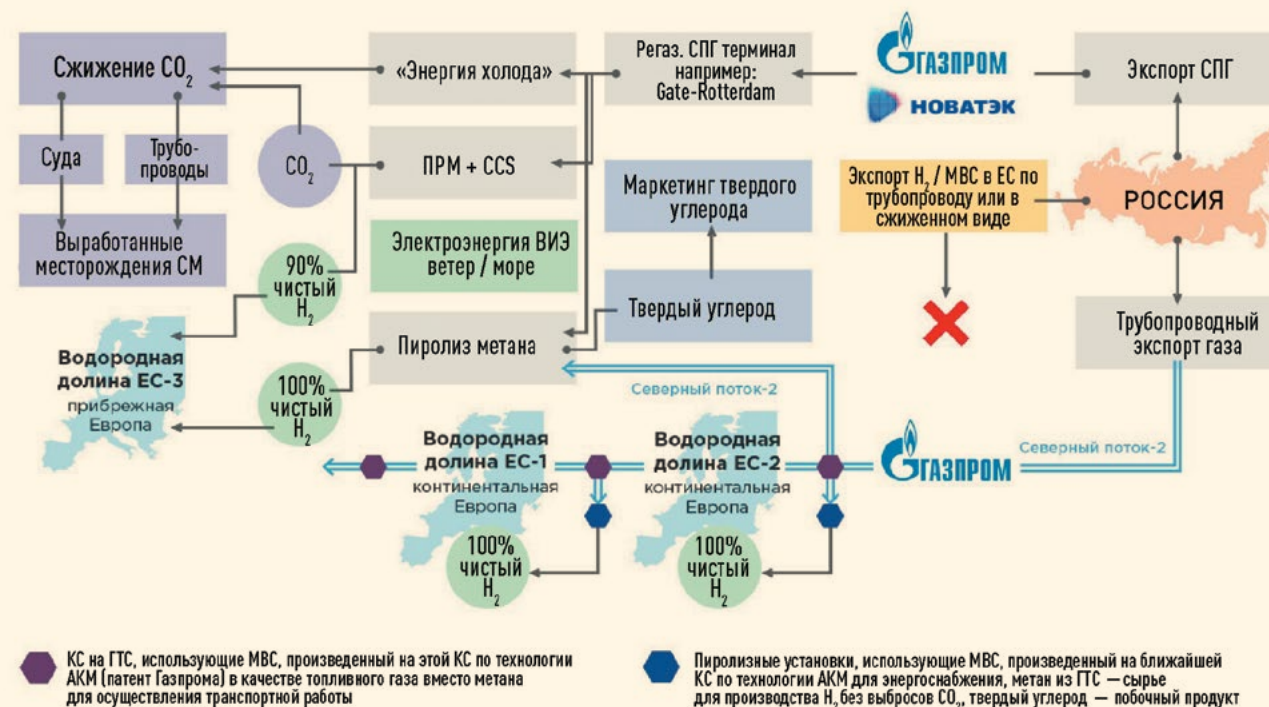


Рис. 13

Источник: Газпром-экспорт.

ПРОГНОЗ МИРОВОГО РЫНКА ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА, МЛРД ДОЛЛ. США В ГОД

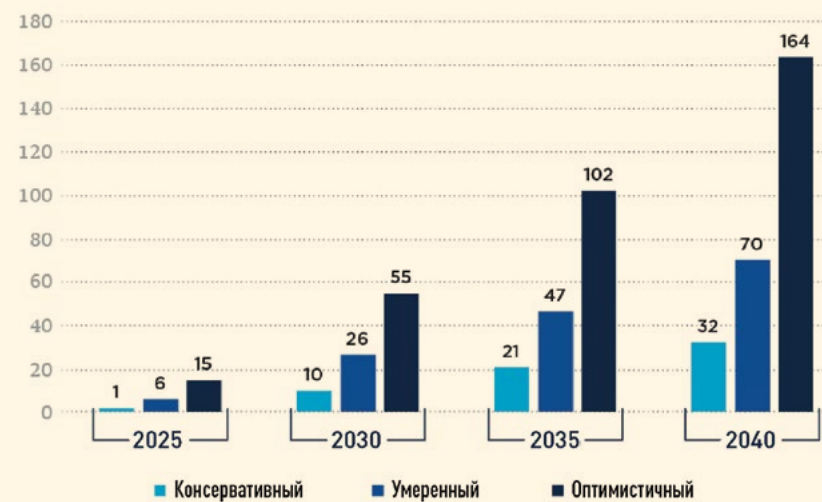


Рис. 14

Источник: ACIL ALLEN Consulting, анализ ИЦ «Энерджинет».

ми — участницами рынка, которые включают:

- наличие значительного энергетического потенциала и ресурсной базы;
- наличие недозагруженных генерирующих мощностей;
- географическую близость к потенциальным потребителям водорода;
- научный задел в сфере производства, транспортировки и хранения водорода;
- наличие действующей транспортной инфраструктуры.

Это может позволить России в перспективе занять место лидера в сфере производства и поставок водорода на глобальный рынок.

Россия проводит планомерную политику по дальнейшему повышению их экологичности. Уже сейчас своими стратегическими инициативами Россия создает базу для экспортоориен-

тированного производства водорода как низкоуглеродного из природного газа, так и безуглеродного на базе электролиза воды с использованием атомных станций и ВИЭ. Параллельно ведется работа и в сфере российского ТЭК через создание внутри страны региональных рынков применения водорода в целях декарбонизации и повышения инвестиционной привлекательности экспортоориентированных производств, а также стимулирования использования низкоуглеродного водорода.

Тем не менее на пути к лидерству на этом рынке России предстоит решить несколько важных задач. Например, уже сегодня развитие водородной энергетики сталкивается как с технологическими, так и с экономическими и регуляторными барьерами, такими как отсутствие необходимой инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода. Кроме того, сохраняются высокие энергозатратность и сто-

имость транспортировки, в первую очередь при использовании технологии сжижения водорода, а также ограниченность нормативно-правовой базы в области водородной энергетики.

Несмотря на решительно набирающее обороты развитие водородной экономики за рубежом и превращение водорода в один из ключевых элементов стратегий, программ, планов и проектов построения углеродно-нейтральной экономики, перспективы глобального водородного рынка остаются туманными. С одной стороны, только за 2020 г. были опубликованы водородные стратегии ЕС, Германии, Франции, Бельгии, Нидерландов и Канады, дополнившие более ранние документы Японии и Австралии. На подходе водородные дорожные карты Великобритании (на основе «10 пунктов Джонсона»), США, Испании и Италии. Но, с другой стороны, все эти документы не позволяют однозначно и уверенно ответить на вопросы, сколько водорода эти страны будут покупать через 10 или 15 лет, не будет ли почти весь водород производиться внутри тех экономик, в которых он же будет и потребляться, будет ли этот водород обязательно «зеленым», или же «желтый» (из энергии, выработанной на АЭС) и «голубой» (из газа) водород сохранят за собой сильные позиции на рынке, при каком уровне цен на водород установится равновесие на рынке и какой будет конструкция этого рынка. Взвешенные и консервативные оценки говорят о том, что к 2040 г. рынок торговли водородом (без учета сегодняшнего потребления) вырастет до 70–160 млрд долл. в год (рис. 14).

ОСНОВНЫЕ РЕГИОНЫ СПРОСА НА ВОДОРОД

По итогам 2020 г. можно наблюдать формирование ключевых регионов спроса на водород в Европе и Азии.

ПРОЕКТЫ ГК «РОСАТОМ» И ГРУППЫ «ГАЗПРОМ» В ОБЛАСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Компания	Проекты в области водородной энергетики
ГК «Росатом»	<p>В сентябре 2019 г. подписано соглашение между ГК «Росатом», ОАО «РЖД» и АО «Трансмашхолдинг» о сотрудничестве и взаимодействии по проекту организации железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах. В рамках проекта ГК «Росатом» может выступить в качестве поставщика водорода, топливных элементов и другого ключевого оборудования проекта.</p> <p>В сентябре 2019 г. АО «Русатом Оверсиз» и Агентство по природным ресурсам и энергетике Министерства экономики, торговли и промышленности Японии подписали соглашение о сотрудничестве в сфере совместной разработки в 2020–2021 гг. ТЭО пилотного проекта экспорта водорода из России в Японию. Рассматривается возможность производства водорода методом электролиза.</p> <p>В августе 2018 г. АО «Концерн Росэнергоатом» заключило контракт с АО «ОКБМ Африкантов» на обоснование разработки проектных предложений по энергоэффективному и экологически чистому промышленному производству водорода на АЭТС. Сооружение головной АЭТС может быть завершено к 2030 г.</p>
Группа «Газпром»	<p>Реализуются два инновационных проекта по получению метано-водородного топлива в качестве топливного газа газоперекачивающих агрегатов на основе адиабатической конверсии метана — в Самаре и Уфе. Эффект от внедрения выражается в экономии топливного газа до 5%, снижении выбросов CO₂ на 30% и загрязняющих веществ: NO_x в 4,5 раза, SO в 5 раз. Следующий шаг — организация блочно-комплектного исполнения оборудования по производству метано-водородного топлива (его унификация) для серийного производства и тиражирование технологии на объектах «Газпрома».</p> <p>Ведется работа над созданием полностью безуглеродных технологий производства водорода из природного газа. В качестве перспективной рассматривается инновационная технология разложения природного газа в неравновесной низкотемпературной плазме на водород и углерод.</p> <p>Реализуется международный научно-технический проект совместно с немецкими и австрийскими компаниями по проверке возможности безопасного хранения метано-водородных смесей в ПХГ</p>

Таблица 2

Китай — потенциальный лидер мировой водородной отрасли. Страна уже является крупнейшим производителем водорода в мире (22 млн тонн), однако доля экологически чистого водорода в производстве составляет только около 3%.

Себестоимость производства «зеленого» водорода в стране оценивается в 4 долл/кг, что практически в 3 раза дороже альтернативы. В долгосрочной перспективе Китай планирует повысить долю экологичного водорода до 70% и увеличить емкость внутреннего рынка водорода в 40 раз: с 44 млрд долл. в 2019 г. до 1,7 трлн долл. в 2050 г.

Германия — флагман европейской водородной экономики — планирует стать нетто-импортером водорода: внутренний спрос страны в 2030 г. оценивается в 3 млн тонн, из которых на импорт придется 2,6 млн

тонн. Крупнейшим поставщиком водорода в Германию может стать Марокко за счет масштабного развития солнечной энергетики.

РЫНОК ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: ВЫВОДЫ И ФАКТЫ

В целом большую роль в развитии технологий и применения водородного топлива играет поддержка государства.

Водородное топливо уступает аккумуляторам в транспортной сфере для коротких дистанций, но имеет преимущество для больших расстояний. Главным образом это относится к авиации и морским перевозкам. Водород может использоваться в электроэнергетике для баланси-

ровки пиков производства и потребления электроэнергии.

Электроэнергия может генерироваться как с использованием ВИЭ, так и на основе АЭС или ГЭС. В первом случае использование водородного топлива позволит сбалансировать неравномерное производство и потребление электроэнергии. Во втором случае АЭС или ГЭС, работая в равномерном режиме, способны в периоды снижения спроса на электроэнергию обеспечивать производство водородного топлива, которое потом может быть использовано для покрытия пиков спроса на электроэнергию.

Вероятно, будут прорабатываться проекты применения синтетического топлива с оптимальными свойствами для каждого направления использования.