



КОРПОРАЦИЯ  
**РАЗВИТИЕ**  
Белгородская область



# **Развитие водородной энергетики в России: новая энергополитика**



## Оглавление

Стратегия развития зеленого водорода .....	4
Виды водорода .....	5
Национальные водородные стратегии .....	6
Мировой рынок водорода .....	8
Водородная энергетика в России .....	10
Экспорт российского водорода .....	12
Ключевые игроки рынка водородной энергетики .....	13
Приоритетные направления водородной энергетики .....	15
Барьеры для развития водорода .....	15
Основные регионы спроса на водород .....	16
Рынок водородной энергетики: выводы и факты .....	17

## 1. Введение

Четвертый энергетический переход стал стимулом к развитию возобновляемой энергетики (ВИЭ), интеллектуальных электрических систем и использования 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 Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р также утвержден план мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года.

Главные направления использования водорода сегодня – в нефтепереработке и в химической промышленности (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).

Рис. 1. Структура потребления водорода

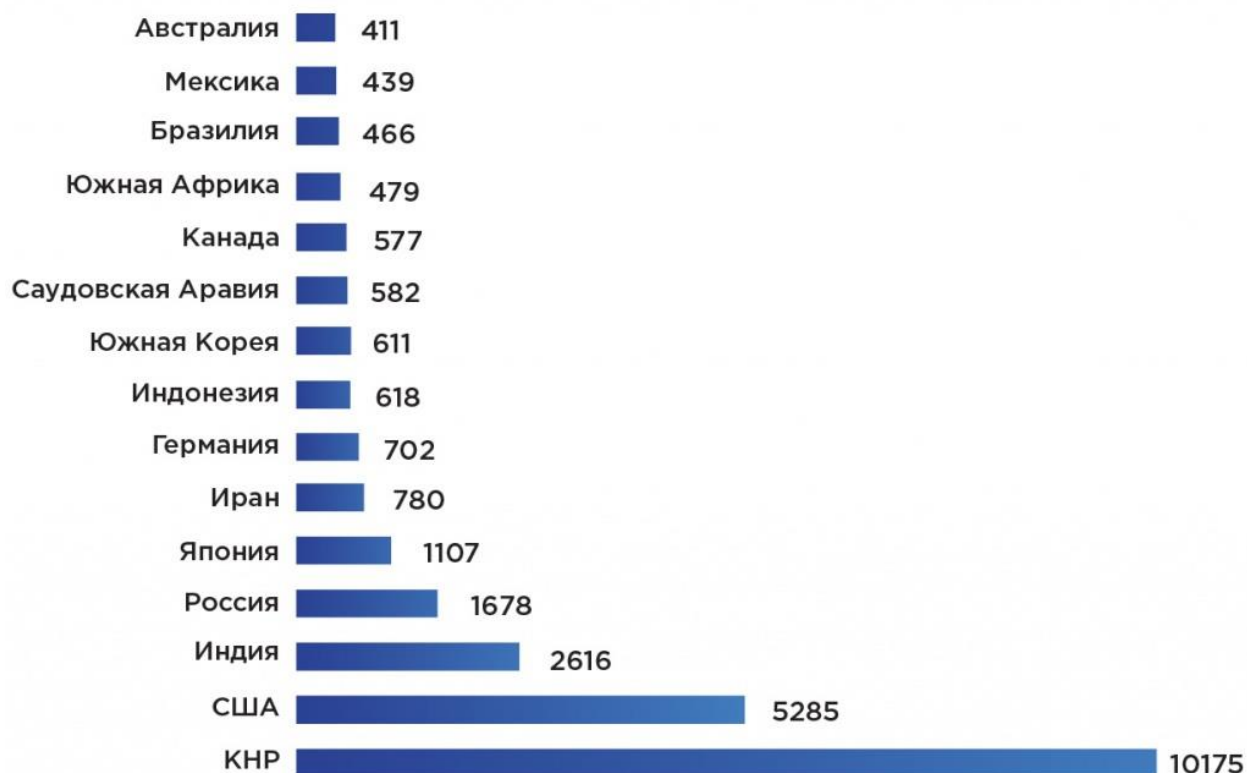


Источник: DECHEMA, DOE, Fair-PR, Linde

## 2. Стратегия развития зеленого водорода

Усиление активности в водородной сфере произошло после принятия Парижского соглашения 4 ноября 2016 года. Россия присоединилась к Парижскому соглашению осенью 2019 года. В соответствии с данным соглашением страны берут на себя ряд обязательств. Во-первых, в период с 2050 по 2100 годы 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 5 лет снижать объемы выбросов. 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 переход на возобновляемые источники энергии. Ориентировочные объемы помощи - 100 млрд долл. ежегодно до 2020 года.

Рис. 2. Выбросы парниковых газов по странам за 2020 год, млн т.



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

Аналитики International Renewable Energy Agency (IRENA) Международного агентства по возобновляемым источникам энергии 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;
- дающие возможности политики;
- национальные водородные стратегии.

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

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).

Рис. 3. Классификация водорода в Европейском союзе



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

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.

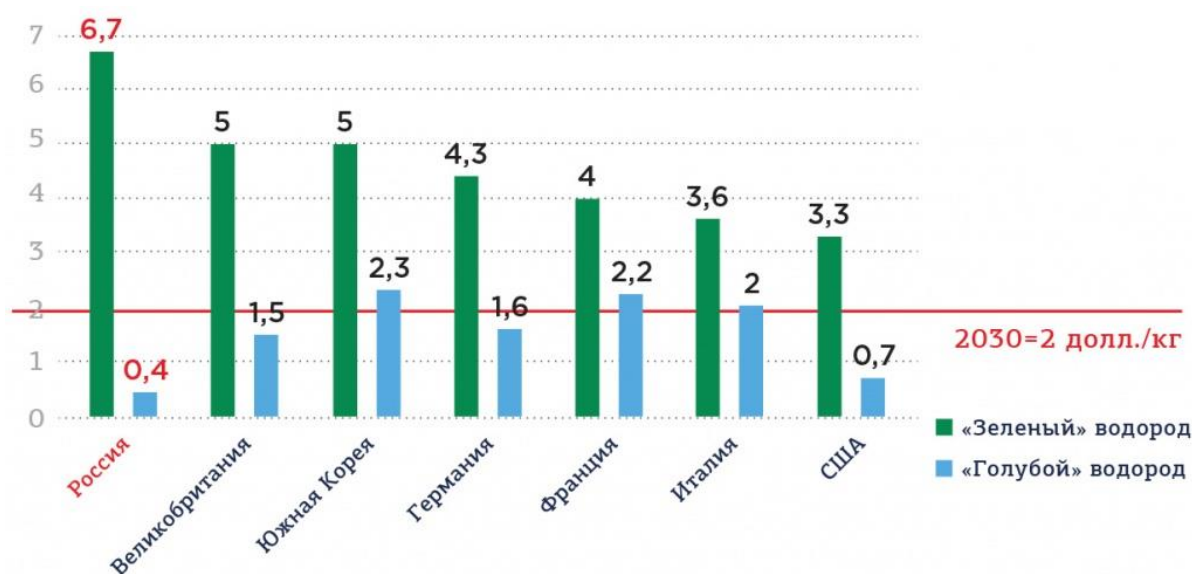
При этом ожидается, что доля водородного топлива (все виды) в энергобалансе ЕС вырастет с текущих менее 2 % до 13–14 % к 2050 году.

### 3. Виды водорода

В целом, водород принято классифицировать по способам его производства: «зеленый» - водород, произведенный технологией 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. Издержки на производство водорода разными технологиями в 2019 г., долл./кг.



Источник: расчеты ЦЭП ГПБ (АО)

#### 4. Национальные водородные стратегии

На ближайшие десять лет национальные стратегии ставят задачи по увеличению масштабов производства и снижению себестоимости водорода независимо от способа его производства. При этом переход от «голубого» водорода к «зеленому» откладывается до 2030-х гг.: для создания экономики масштаба страны готовы пожертвовать «чистотой» произведенного топлива и своей энергетической независимостью.

Таблица 1. Сравнительная характеристика действующих водородных стратегий некоторых стран

Страна	Ориентиры	Финансирование	Управление
Япония	<p>Базовая водородная стратегия 2017 года</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Достижение «общества водорода» для повышения энергобезопасности и декарбонизации</li> <li>■ Ориентация на импорт водорода (с акцентом на «зеленый» водород после 2040 года)</li> <li>■ Основное применение в электроэнергетике</li> <li>■ Развитие экспорта автомобилей на топливных элементах (например, Toyota)</li> </ul>	664 млн долл. США в 2020 финансовом году	Министерский совет по ВИЭ, водороду и смежным вопросам

Страна	Ориентиры	Финансирование	Управление
ЕС	<p>Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы 2020 года</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Достижение климатической нейтральности и отсутствия загрязнения</li> <li>■ Использование водорода на основе энергии ветра и солнца</li> </ul>	145 млрд евро (170 млрд долл. США) до 2030 года на гранты и субсидии	Европейский альянс чистого водорода, включающий представителей власти, бизнеса и гражданского общества
Германия	<p>Национальная водородная стратегия 2020 года</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Достижение климатической нейтральности</li> <li>■ Ориентация на импорт и внутреннее производство «зеленого» водорода</li> <li>■ Основное применение на транспорте и в промышленности</li> <li>■ Развитие технологий Power-to-X</li> </ul>	1,4 млрд евро (1,7 млрд долл. США) в 2016-2026 годах на инновации; 1,1 млрд евро (1,3 млрд долл. США) в 2020-2023 годах 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	<p>Национальная стратегия развития «чистого» водорода 2020 года</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Достижение климатической нейтральности</li> <li>■ Расширение мощностей электролиза и внутреннее производство «зеленого» водорода - Основное применение на транспорте и в промышленности</li> </ul>	7,2 млрд евро (8,5 млрд долл. США) до 2030 года - План восстановления	Национальный комитет по водороду; Французская ассоциация по водороду и топливным элементам
Норвегия	<p>Водородная стратегия 2020 года</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Достижение климатической</li> </ul>	120 млн крон (13 млрд долл. США) - План	Правительство

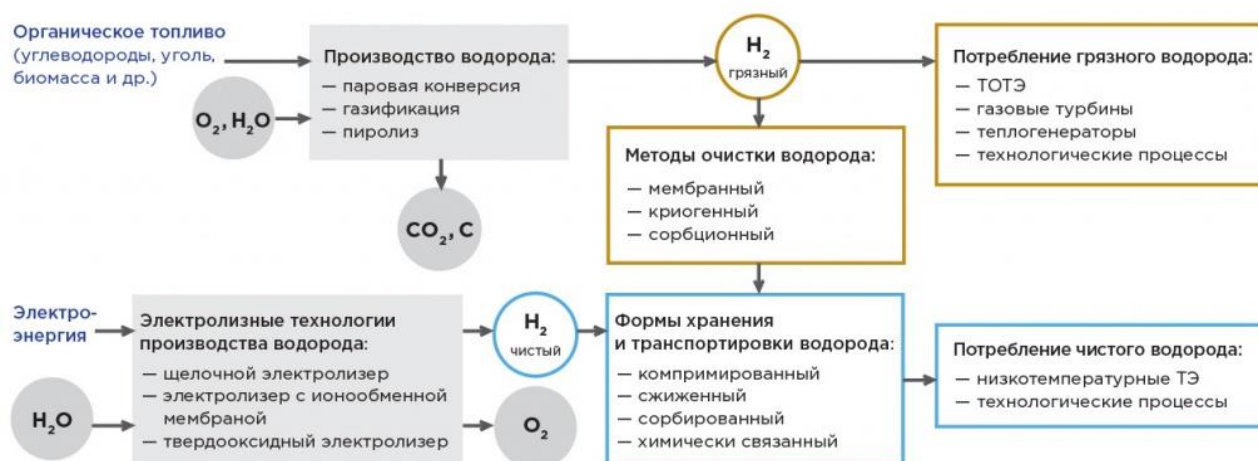


Страна	Ориентиры	Финансирование	Управление
	<p>нейтральности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Расширение мощностей электролиза и внутреннее производство «зеленого» водорода, в т.ч. с использованием CCS</li> <li>■ Основное применение на транспорте и в промышленности</li> </ul>	восстановления	

Источник: обзоры Bennett Jones

Основные компоненты водородной энергетики представлены на рис. 5. При проведении жесткой климатической политики водородная энергетика будет в значительной мере базироваться на безуглеродных источниках первичной энергии - ВИЭ, ядерной энергии и производстве водорода путем электролиза воды.

Рис. 5. Основные компоненты водородной энергетики



ТОНЭ - твердооксидный топливный элемент

## 5. Мировой рынок водорода

Мировой рынок водорода рос со среднегодовым темпом 2,9% за период 1990-2020 гг. Рост спроса обеспечивали все основные сегменты потребления водорода:

- Нефтепереработка (наблюдался наиболее высокий рост за счет увеличения спроса на нефтепродукты (в т.ч. с низким содержанием серы)).
- Производство аммиака.
- Производство метанола.



Рис. 6. Динамика потребления чистого водорода и водорода в смеси в мире по сегментам производства, млн т.



Источник: МИЭ

В 2020 г. мировое потребление чистого водорода и водорода в смеси с другими газами составило 75 и 44 млн тонн соответственно, из них лишь около 3 млн тонн были произведены 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. тонн в год до 14 млн тонн в год к 2030 г.

Рис. 7. Прогноз потребления водорода по сегментам экономики в мире, млн т./г.

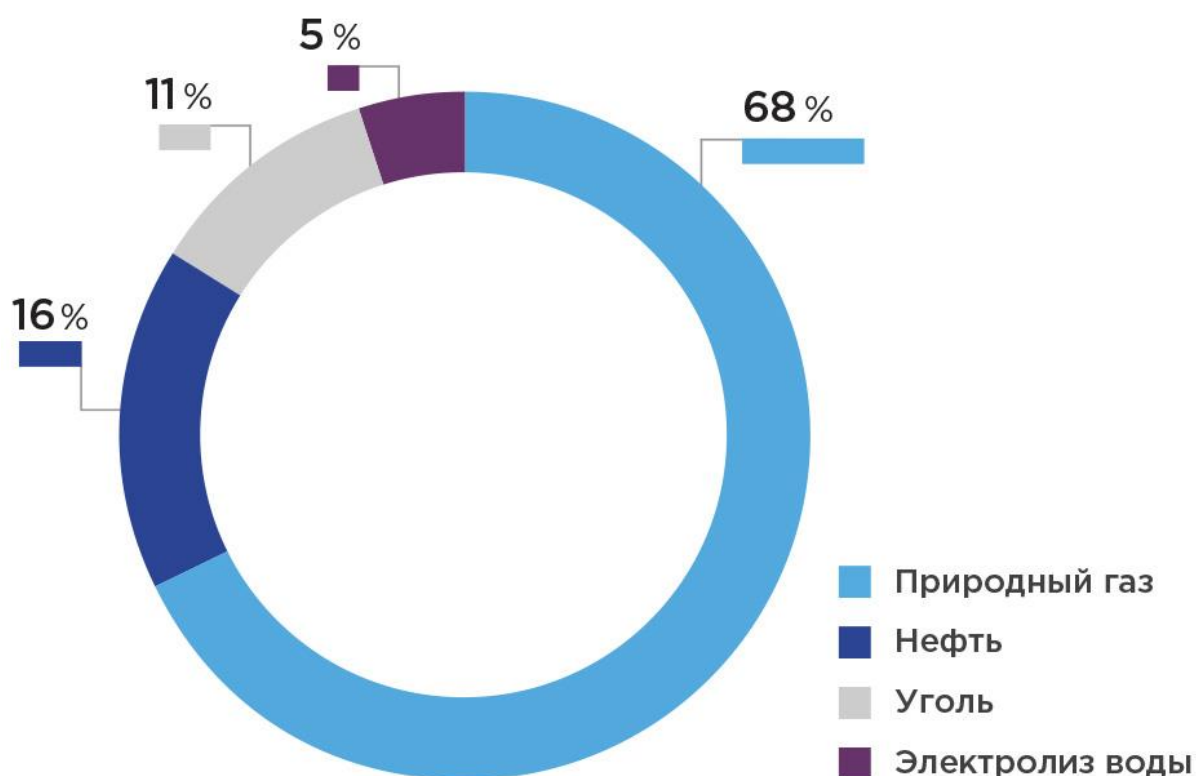


Источник: МЭА

**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 электролиза. Это объясняется сравнительной дешевизной производства из углеводородов – по различным оценкам, себестоимость водорода из природного газа пока в 2-5 раз ниже, чем при электролизе (рис. 8).

Рис. 8. Способы получения водорода



Источник: Neftegas.RU

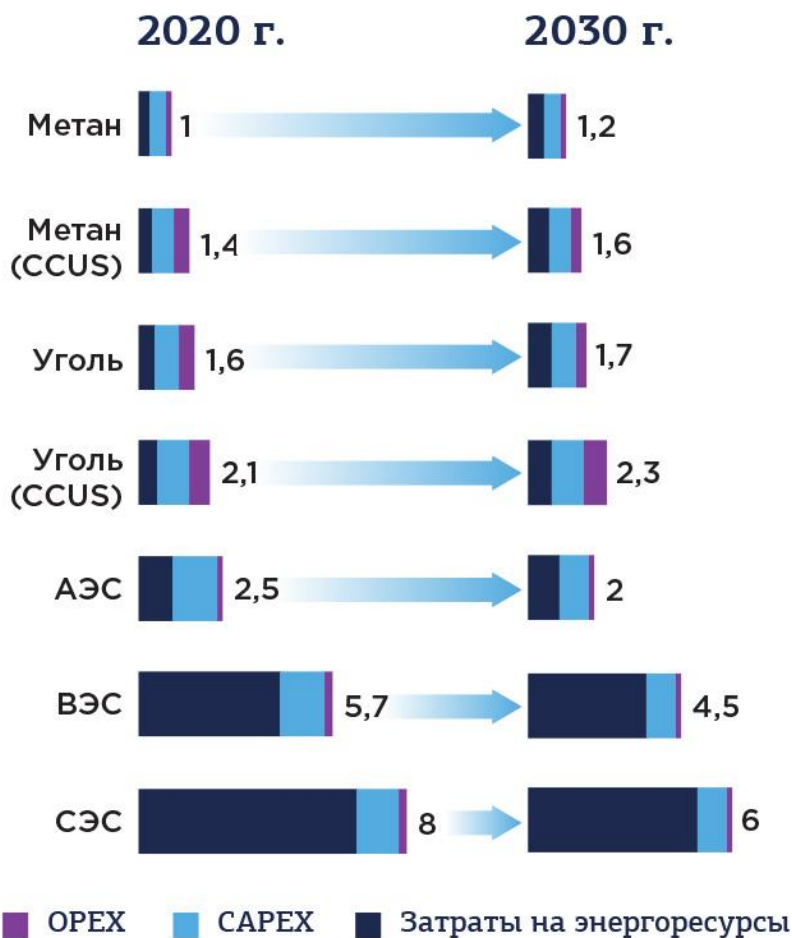
## 6. Водородная энергетика в России

В России задача по развитию водородной энергетики закреплена в ключевом отраслевом документе стратегического планирования – актуализированной Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. Вместе с тем в октябре 2020 года правительство РФ утвердило «дорожную карту» по развитию водородной энергетики до 2024 года, которая направлена на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также 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 тонн 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 тонн и 1 млн тонн в производстве аммиака и метанола соответственно).

Рис. 9. Стоимость производства водорода в России в зависимости от технологии долл./кг



Источник:

МИЭ

#### 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%.

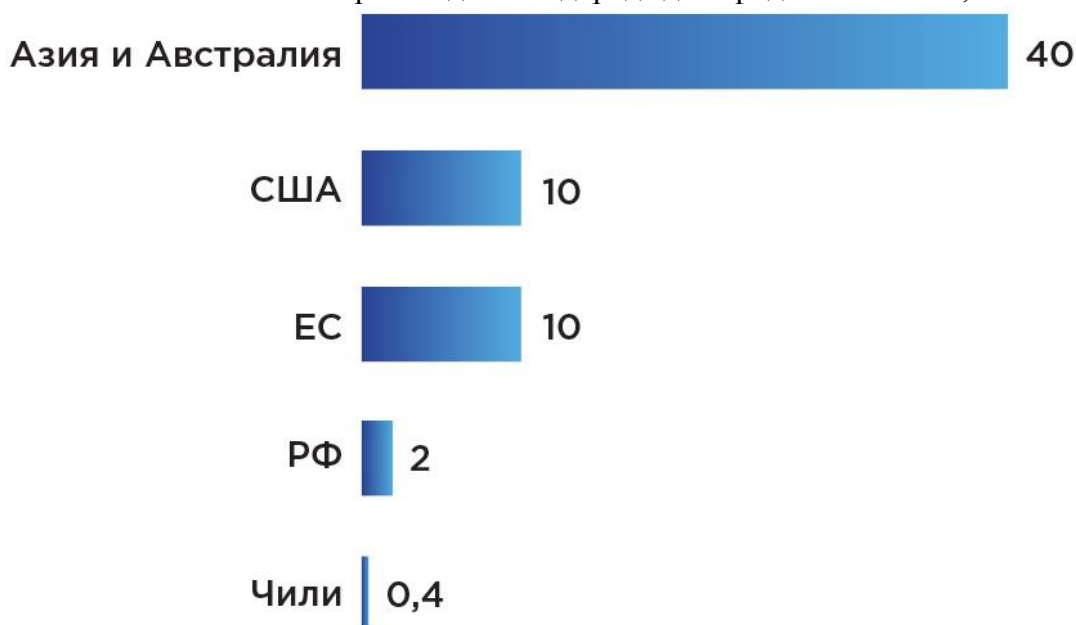
**Газификация угля.** Обходится дороже, чем конверсия из-за более высокого CAPEX, так как технология использует сложную и дорогостоящую систему очистки полученного водорода, по прогнозам МВФ, к 2030 г. цена угля возрастет на 20%, что повысит издержки на ~6%.

**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.** В данный момент данная технология находится на стадии разработки, если широкое применение технологии станет возможным, 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. 10. Плановые показатели производства водорода для продажи в 2030 г., млн т.



Источник: расчеты ЦЭП ГПБ (АО)

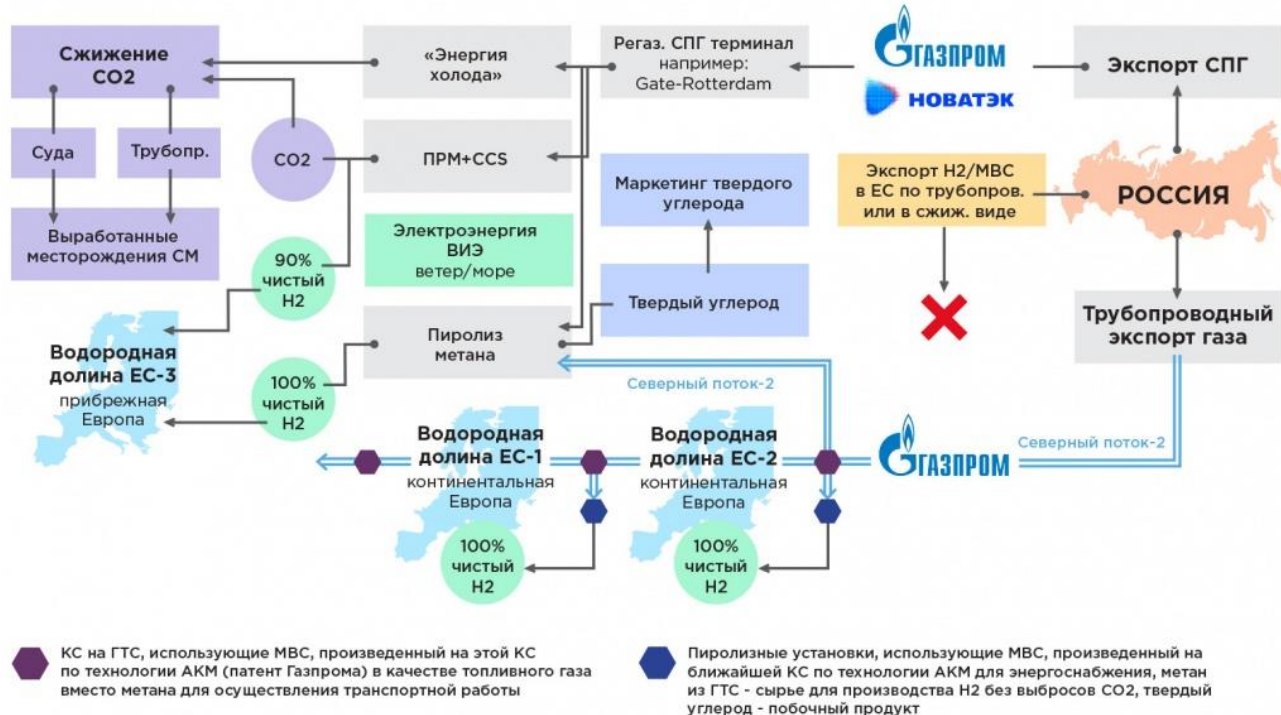
## 7. Экспорт российского водорода

Показателем решения задачи развития водородной энергетики в соответствии с Энергетической стратегией России до 2035 года установлены целевые значения экспорта H<sub>2</sub> к 2024 и 2035 гг. Это однозначно интерпретируется в России и за рубежом как нацеленность на производство H<sub>2</sub> внутри РФ и экспорт H<sub>2</sub>/MBC, что, увы, соответствует навязываемой России контрпродуктивной концепции развития внешнеэкономического сегмента формируемой водородной стратегии РФ.

В настоящее время специалистами Газпром предлагается альтернативная концепция развития сотрудничества РФ-ЕС в водородной сфере (рис. 11), в основе которой – экспорт российского природного газа по существующей ГТС РФ-ЕС и в виде СПГ и производство H<sub>2</sub> внутри ЕС в районах опережающего роста спроса на H<sub>2</sub> (водородные долины) либо методами ПРМ+CCS (прибрежные районы) с утилизацией CO<sub>2</sub>, либо пиролиза метана (и сходными технологиями) производства чистого H<sub>2</sub> без выбросов CO<sub>2</sub>. Разработкой и

обсуждением этой концепции сегодня специалисты занимаются в рамках Рабочей группы 2 «Внутренние рынки» Консультативного совета РФ-ЕС по газу.

Рис. 11. Два потока газовых поставок из РФ в ЕС для производства чистого водорода (без выбросов CO<sub>2</sub>) внутри ЕС (концепция, альтернативная предлагаемой программными документами ЕС/ФРГ и др.)



Источник: Газпром экспорт

## 8. 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 (Таблица 2).

Таблица 2. Проекты ГК «Росатом» и Группы «Газпром» в области водородной энергетики

Компания	Проекты в области водородной энергетики
ГК «Росатом»	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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.</li> </ul>

Компания	Проекты в области водородной энергетики
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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 годах. ТЭО пилотного проекта экспорта водорода из России в Японию. Рассматривается возможность производства водорода методом электролиза.</li>   <li>■ 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 АЭС. Сооружение головной АЭС может быть завершено к 2030 году.</li> </ul>
Группа «Газпром»	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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 CO<sub>2</sub> - на 30% и загрязняющих веществ: NO<sub>x</sub> - в 4,5 раза, CO - 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».</li>   <li>■ 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.</li>   <li>■ Реализуется международный научно-технический проект совместно с немецкими и австрийскими компаниями по проверке возможности безопасного хранения метано-водородных смесей в ПХГ.</li> </ul>



## 9. 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 АЭС и атомными энерготехнологическими станциями (АЭТС), соответственно. В 2020 году начата реализация мероприятий комплексной программы «Атомная наука, техника и технологии» ГК «Росатом», в т.ч. по развитию водородной энергетики. А в 2019 году 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.

## 10. Барьеры для развития водорода

Выходя на глобальный рынок, Россия обладает важными конкурентными преимуществами по развитию водородной энергетики по сравнению с потенциальными странами-участницами рынка:

- наличием значительного энергетического потенциала и ресурсной базы;
- наличием недозагруженных генерирующих мощностей;
- географической близостью к потенциальным потребителям водорода;
- научным заделом в сфере производства, транспортировки и хранения водорода;
- наличием действующей транспортной инфраструктуры.

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

Сегодня Россия проводит планомерную политику по дальнейшему повышению их экологичности. Уже сейчас своими стратегическими инициативами Россия видит создание экспортоориентированного производства водорода как низкоуглеродного из природного газа, так и безуглеродного на базе электролиза воды с использованием атомных станций и возобновляемых источников энергии. Параллельно работа ведется 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. Так, 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, сохраняется высокая энергозатратность и стоимость транспортировки, в первую очередь, при использовании технологии сжижения водорода, а также ограниченность нормативно-правовой базы в области водородной энергетики.

Кроме того, 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 по-прежнему остаются туманными. С одной стороны, только за 2020 год 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 вопрос, 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 году рынок торговли водородом (без учета сегодняшнего потребления) вырастет до \$70 - 160 млрд в год.

Рис. 12. Прогноз мирового рынка водородного топлива, млрд долларов США в год



Источники: ACIL ALLEN Consulting, анализ ИЦ «Энерджинет»

## 11. Основные регионы спроса на водород

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

Китай – потенциальный лидер мировой водородной отрасли. Страна уже является крупнейшим производителем водорода в мире (22 млн т), 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 три 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 т., из

которых на импорт придется 2,6 млн т. Крупнейшим поставщиком водорода в Германию может стать Марокко за счет масштабного развития солнечной энергетики.

## **12. Рынок водородной энергетики: выводы и факты**

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

2. 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.

3. Водород может использоваться в электроэнергетике для балансировки пиков производства и потребления электроэнергии.

4. 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.

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

Материалы предоставлены <https://delprof.ru/>