

Перспективы развития экспорта российских технологий для водородной энергетики

Октябрь, 2023

Дисклеймер

Данный отчет содержит резюме с ключевыми выводами на основе проведенного SBS Consulting аналитического исследования. Представленные в отчете данные, аналитика и любая другая информация предназначены только для информационных целей и не могут являться заменой услуг профессиональных консультантов в сферах бизнеса, финансов, инвестиций и др.

При полном или частичном использовании материалов ссылка на sbs-consulting.ru обязательна.

SBS Consulting
+7 (495) 792 59 79
info@sbs-consulting.ru

Москва, БЦ PortPlaza
Проектируемый проезд, 4062,
д. 6, стр. 2



HYDROGEN

Резюме



H₂
HYDROGEN

01 Мировой рынок водородной энергетики

- Водородная энергетика - стратегически важная для достижений целей углеродной нейтральности отрасль с прогнозируемым среднегодовым темпом роста 4% в мире в период 2022-2050 гг.
- В 2050 г. 6 стран-лидеров будут производить ~250 млн тонн водорода, 13% из которых будет производиться Россией
- В 2050 г. Китай, США и Индия останутся крупнейшими потребителями водорода (97, 73 и 29 млн тонн в год соответственно)

02 Перспективы экспорта водорода и технологий

- Россия производит самый низкий по себестоимости желтый водород в мире, однако для развития его экспорта необходимо развивать инфраструктуру и снижать стоимость перевозки
- Российские компании активно развивают технологии генерации и транспортировке водорода, а также пассажирский и грузовой транспорт на водородных элементах
- Потенциальными импортерами российского водорода и технологий являются Китай, Турция и Индия
- На 2023 г. российские технологии по генерации (электролиз) и по морской транспортировке водорода являются конкурентоспособными на глобальном рынке

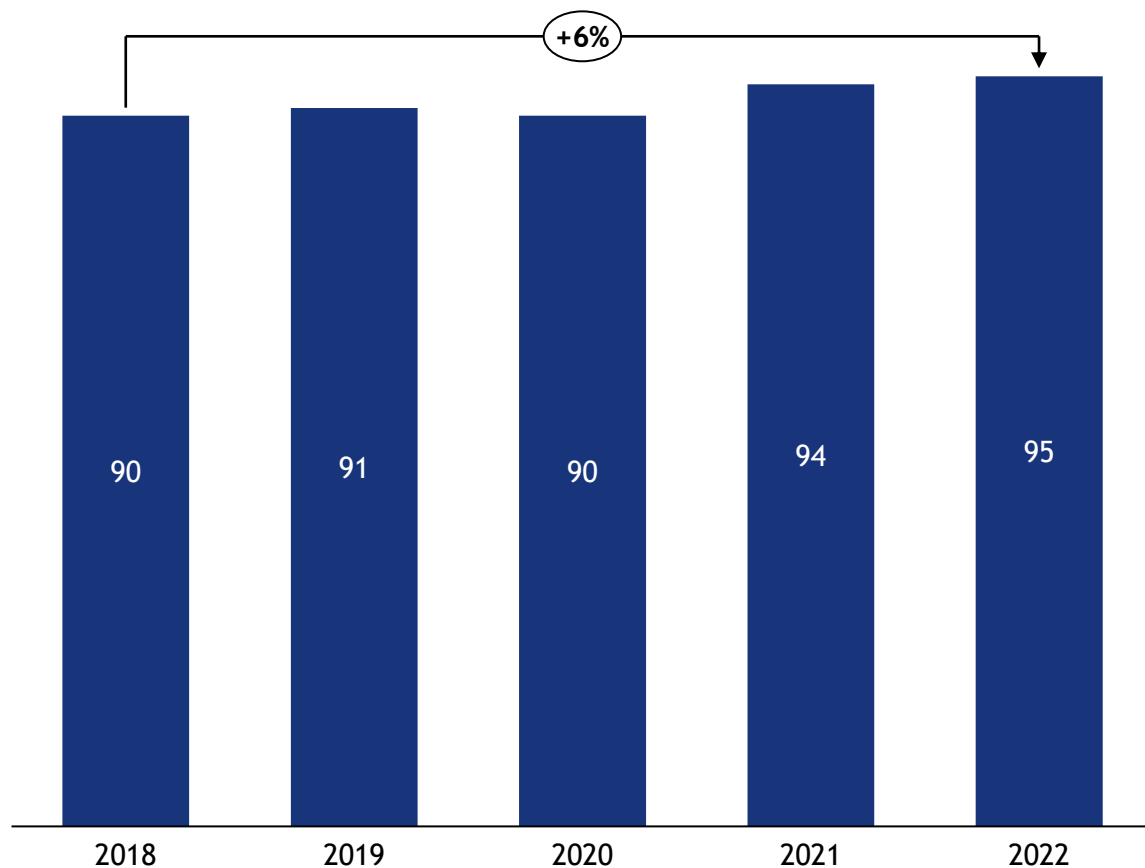
Содержание

Мировой рынок водородной
энергетики

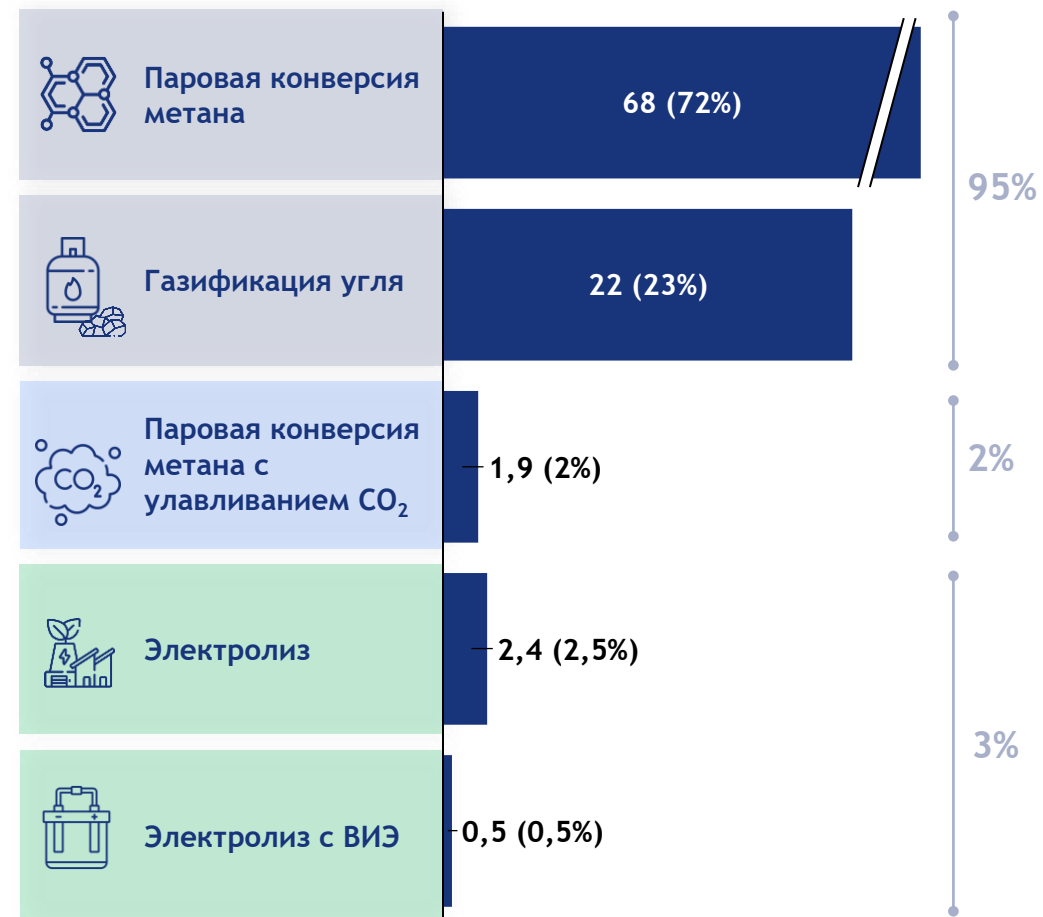
Оценка текущей
конкурентоспособности
российской продукции

В 2022 г. в мире было произведено 95 млн тонн водорода, 95% которых составило производство «серого» водорода

Динамика мирового производства водорода¹ 2018-2022 гг., млн тонн



Структура мирового производства водорода в 2022 г., млн тонн (%)

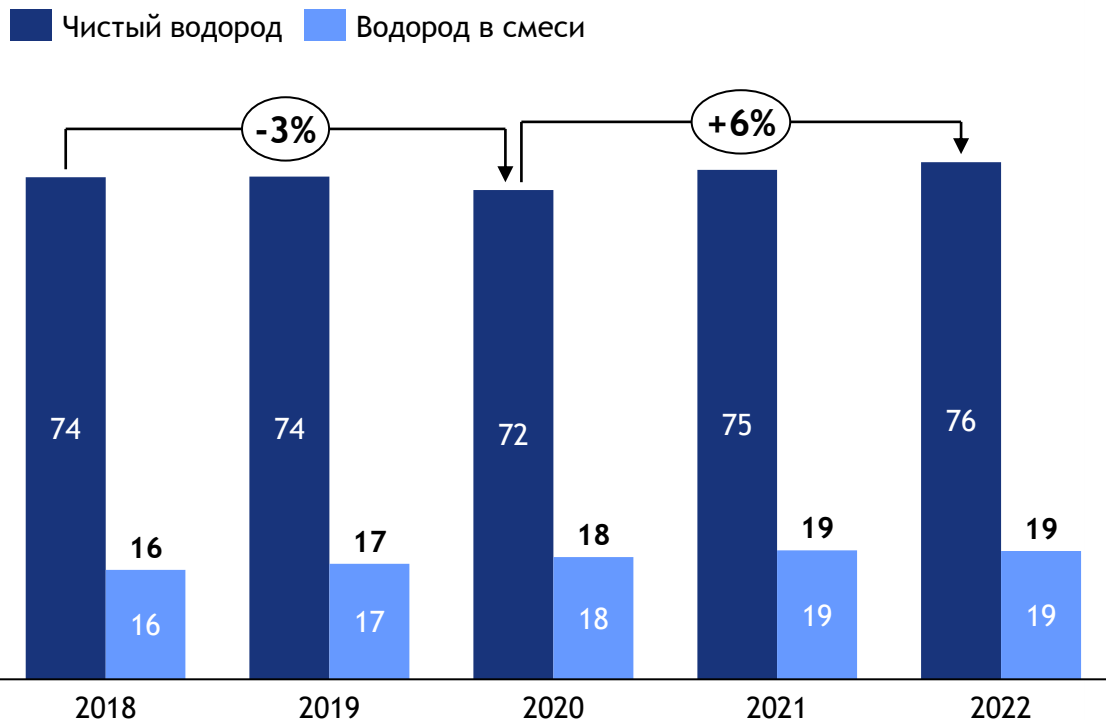


1) Было исключено около 30 млн тонн водорода, присутствующего в остаточных газах промышленных процессов. Поскольку такое использование связано с естественным присутствием водорода в этих остаточных потоках, а не с прямой потребностью в нем, в анализе он не учитывается

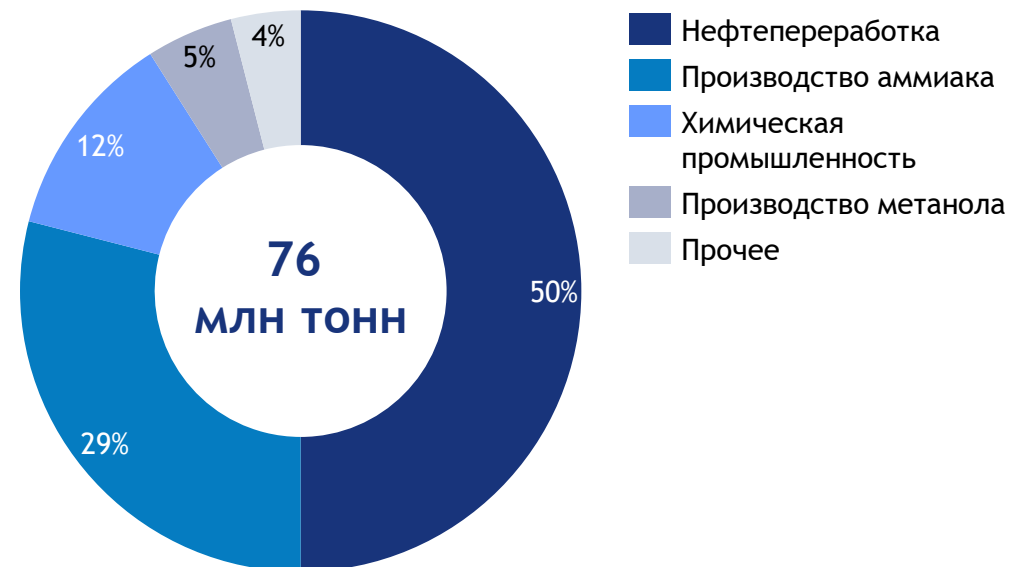
Источники: IEA, S&P, Global CCS Institute, SBS Consulting

Спрос на чистый водород вырос на 6% с 2020 г., 96% потребления приходится на нефтеперерабатывающую и химическую отрасли

Общепланетарное потребление чистого водорода и водорода в смеси, млн тонн



Потребление чистого водорода по секторам в 2022 г., млн тонн



- Падение потребления в 2020 г. обусловлено закрытием части производств из-за пандемии Covid-19

- Новые технологии на водороде (например, транспортный сектор) потребляют 0,02% от совокупного объема ежегодно

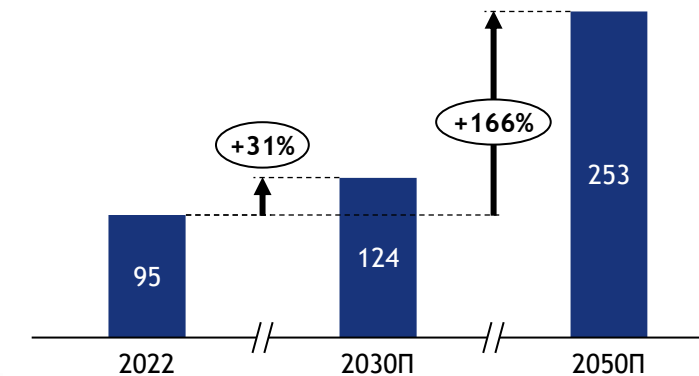
В мировой практике водород считается одним из ключевых источников энергии для достижения целей по углеродной нейтральности

Содержание целей по устойчивому развитию в отношении водородной энергетики в мире

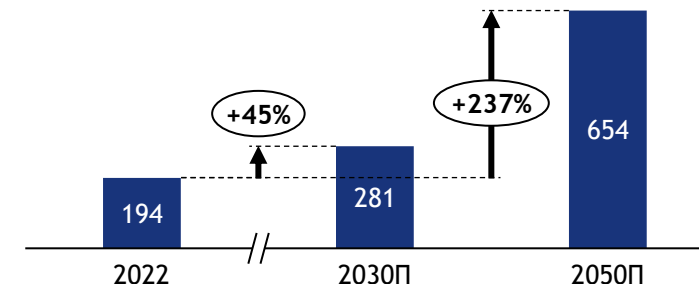
Страны-члены ООН	Ведущие страны	Дружественные страны
<p>Net Zero 2050:</p> <ul style="list-style-type: none"> Достижение к 2050 г. баланса между количеством произведенных и сокращенных выбросов парникового газа Поддержание средней глобальной температуры ниже, чем 2°C выше доиндустриального уровня, (предпочтительный предел: 1,5°C) 	 <p>Китай</p> <ul style="list-style-type: none"> Водород - стратегическая развивающаяся индустрия (NDRC, 2020 г.) Документы в рамках 14th Five-Year Plan и др.¹ поощряют R&D и устанавливают водород как инструмент создания низкоуглеродистой энергетической системы, в т.ч. в транспорте, промышленности, хранении и выработке электроэнергии 	
	 <p>США</p> <ul style="list-style-type: none"> Водород является составной частью дорожной карты по трансформации энергетического сектора в <i>The Long-Term Strategy of the United States (2021 г.)</i> Планируется, что водород позволит достичь ~5-10% от общего сокращения выбросов на пути к углеродной нейтральности до 2050 г. 	
	 <p>Япония</p> <ul style="list-style-type: none"> Водород является одним из 14 ключевых секторов роста для достижения углеродной нейтральности в <i>Green Growth Strategy (2021 г.)</i> Водород и аммиак займут 1% от энергобаланса в 2030 г., 10% - в 2050 г. (производство зеленого водорода составит 20 млн тонн) 	
	 <p>Индия</p> <ul style="list-style-type: none"> Водород считается одним из ключевых энергоносителей будущего в <i>India's Long-Term Low-Carbon Development Strategy (2022 г.)</i> Рассматривается для потребления в обрабатывающей промышленности и транспорте, генерации энергии, балансировке энергосистемы, производстве стали 	
	 <p>Турция</p> <ul style="list-style-type: none"> Для достижения углеродной нейтральности в 2053 г. в <i>Türkiye National Energy Plan (2022 г.)</i> природный газ при потреблении рекомендуется смешивать с водородом Доля водорода в газовой смеси составит 3,5% к 2035 г. и 12% - к 2053 г., в то время как мощности для электролиза достигнут 5 ГВт к 2035 г. 	
	 <p>Перу</p> <ul style="list-style-type: none"> Водород рассматривается как ключевой элемент декарбонизации в <i>Bases and recommendations for the elaboration of the Green Hydrogen Strategy in Peru (2022 г.)</i> в отраслях электроэнергетики, транспорта, газа и тяжелой промышленности Планируется проникновение водорода в промышленность не менее 40% к 2030 г. 	

Прогнозный объем потребления водорода в мире²

В натуральном выражении, млн тонн



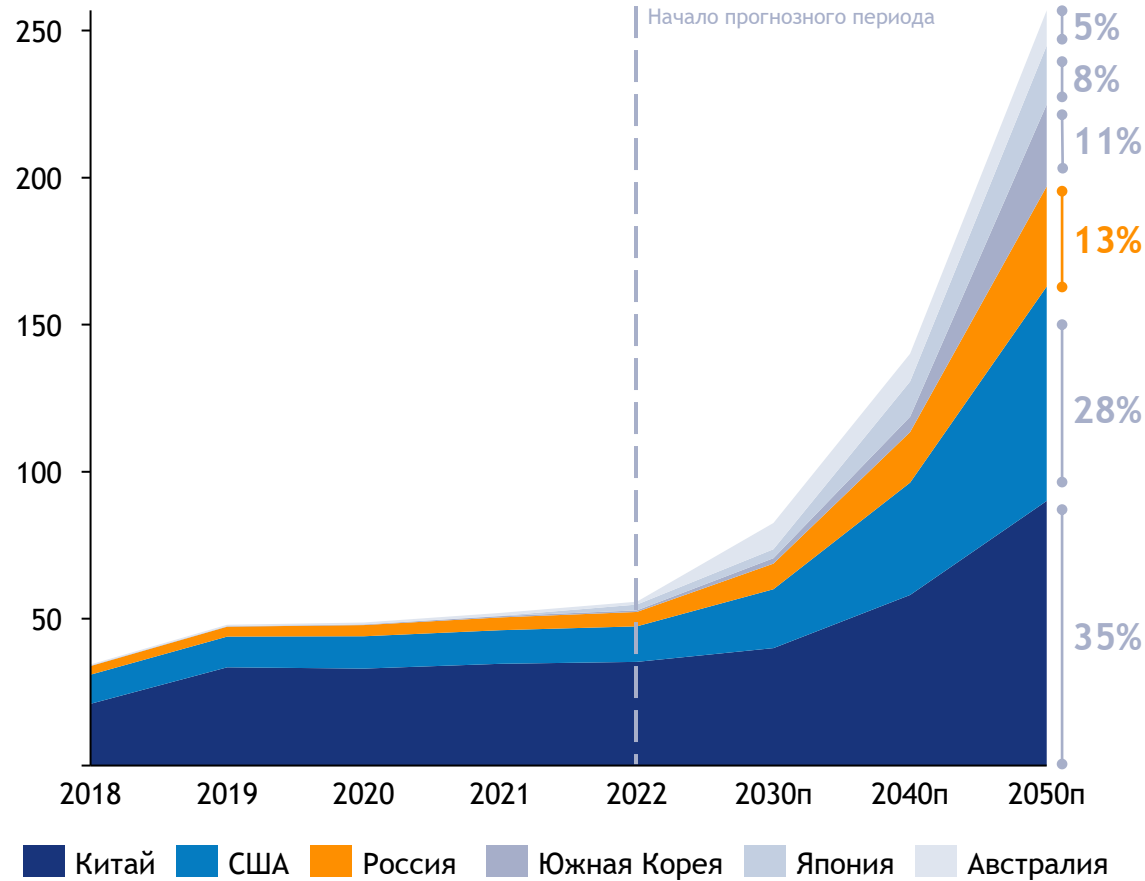
В денежном выражении³, млрд долл. в ценах 2022 г.



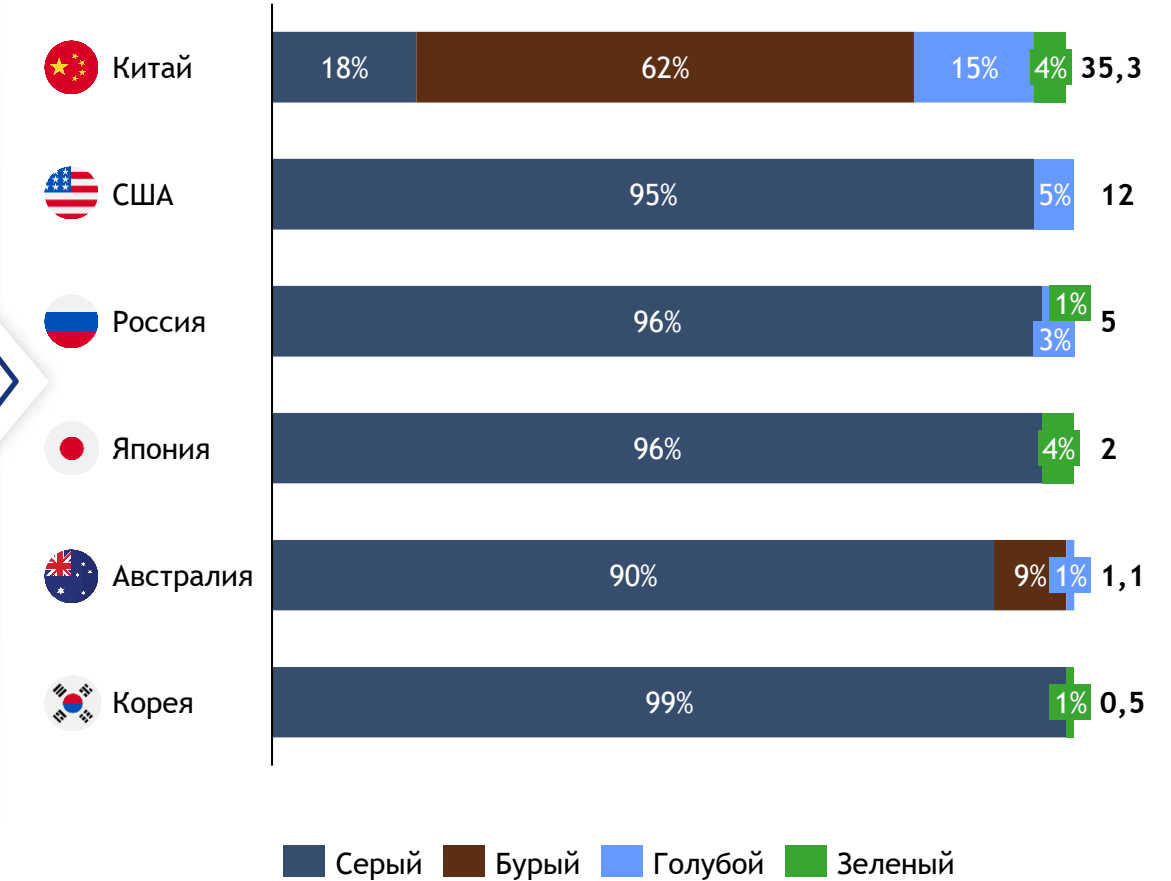
1) В т.ч. 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development and Long-Range Objectives for 2035, 14th Five-Year Plan of Energy Technology Innovation, Working Guidance for Carbon Dioxide Peaking and Carbon Neutrality in Full and Faithful Implementation of the New Development Philosophy; 2) Включает чистый водород и смесь с углеродосодержащими газами для производства метанола и стали; Исключает водород, присутствующий в остаточных газах промышленных процессов; Прогноз основан на Announced Pledges Scenario от IEA; 3) Стоимость водорода оценена на основе медианной стоимости производства кг водорода по миру

Реализация планов по повышению углеродной нейтральности стран-лидеров обеспечит рост производства до ~250 млн тонн водорода в 2050 г.

Ретроспективная и прогнозная динамика производства водорода стран-лидеров¹ 2018-2050 гг., млн тонн











Структура производства водорода в странах-лидерах в 2022 г., млн тонн



1) Прогноз основан на целевых показателях, которые страны намерены достичь в соответствии с принятыми ими стратегиями углеродной нейтральности и водородными стратегиями
 Источник: IAE, Deloitte, S&P, Global Australia, MacQuarie, Hydrogen Insight, Правительство Российской Федерации, Merics China Monitor, Правительство США, SBS Consulting

К 2050 г. Китай будет крупнейшим рынком водорода, водородный транспорт станет главным драйвером потребления

Обзор перспектив стран-лидеров по потреблению

Страна	Потребление к 2050 г., млн тонн	CAGR 2019-2022 гг.	Факторы развития	Пример фактора	Состояние отрасли на 2023 г.
 Китай	97,0	3,7%	 Транспорт  Отопление  Электроэнергия	Рост водородного автопарка до 29,8 млн ТС к 2050 г.	<ul style="list-style-type: none"> Китай - крупнейший рынок водородных транспортных средств с 8 200 ед. в парке
 Индия	28,8	5,5%	 Сталь  Транспорт  Производство метанола	Рост водородного автопарка до 50 млн ТС к 2050 г.	<ul style="list-style-type: none"> В Индии уже работают две водородные заправочные станции Индия - 4-ая в мире страна по себестоимости зелёного водорода
 Иран	н/д	н/д	-		<ul style="list-style-type: none"> Иран - 3-я в мире страна по объёмам потребления водорода В Иране нет утверждённой водородной стратегии
 Турция	4,1	6,5%	 Транспорт	20% проникновение водородных ТС в общественный и грузовой транспорт к 2050 г.	<ul style="list-style-type: none"> Энергетическая стратегия Турции ставит высокий приоритет на импортозамещение нефти и газа производством зелёного водорода
 Перу	0,4	5,1%	 Транспорт  Удобрения  Добыча	Планируется не менее 40% проникновения водорода в промышленность к 2030 г.	<ul style="list-style-type: none"> В Перу уже существуют технологии производства водорода, утверждена водородная стратегия

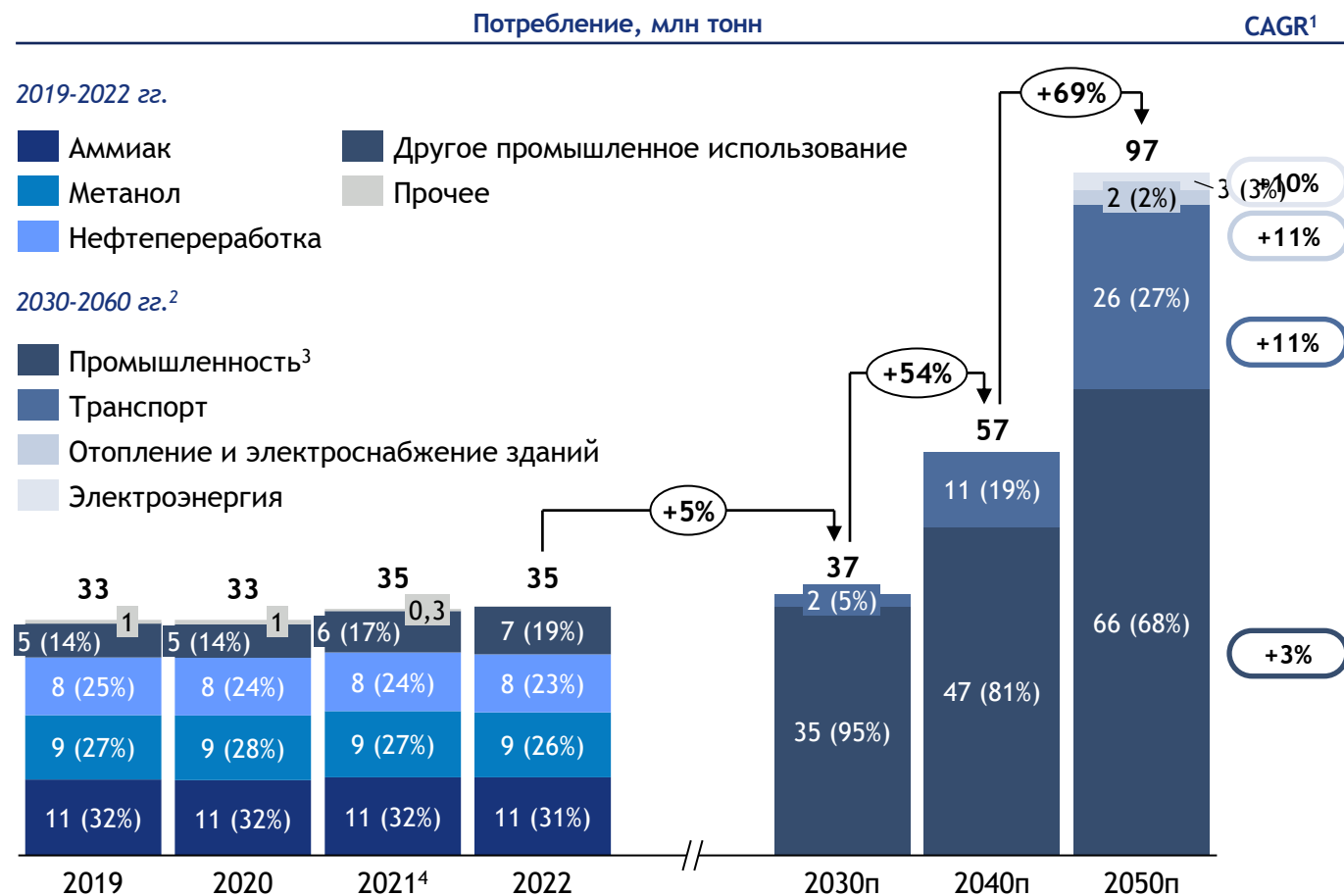


Выводы: страны-лидеры по потреблению ожидают высокий рост популярности водородомобилей и использования водорода в различной промышленности, где водород - единственное топливо, способное декарбонизовать производство



В Китае основным драйвером роста потребления водорода до 100 млн тонн к 2050 г. является использование водородного транспорта

Ретроспективная и прогнозная динамика потребления водорода в Китае в 2019-2060 гг.



Текущая степень развития водородной энергетики

- На китайском рынке **самый высокий спрос** на водород в мире (35 млн тонн)
- По состоянию на 2022 г., в Китае **более 120 проектов**, связанных с зелёным водородом; в том числе крупнейший в мире проект по производству экологически чистого водорода - с инвестициями около 4,5 млрд долл.
- В Китае **водород позиционируется как ключевой драйвер Net Zero (2060)**, декарбонизации промышленности, транспорта, отопления и энергетики



Факторы развития отрасли

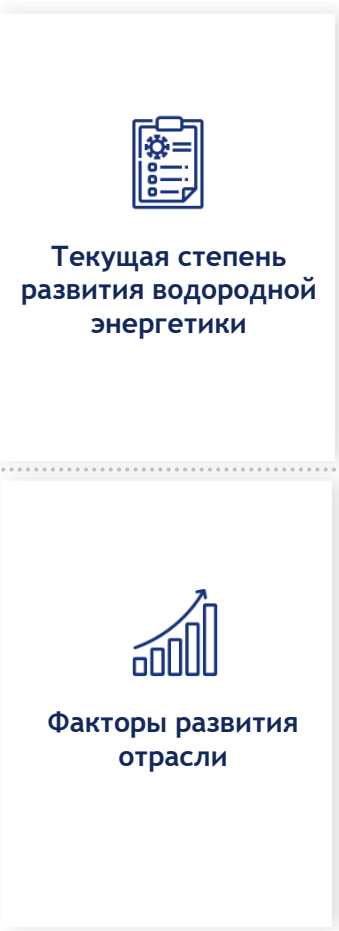
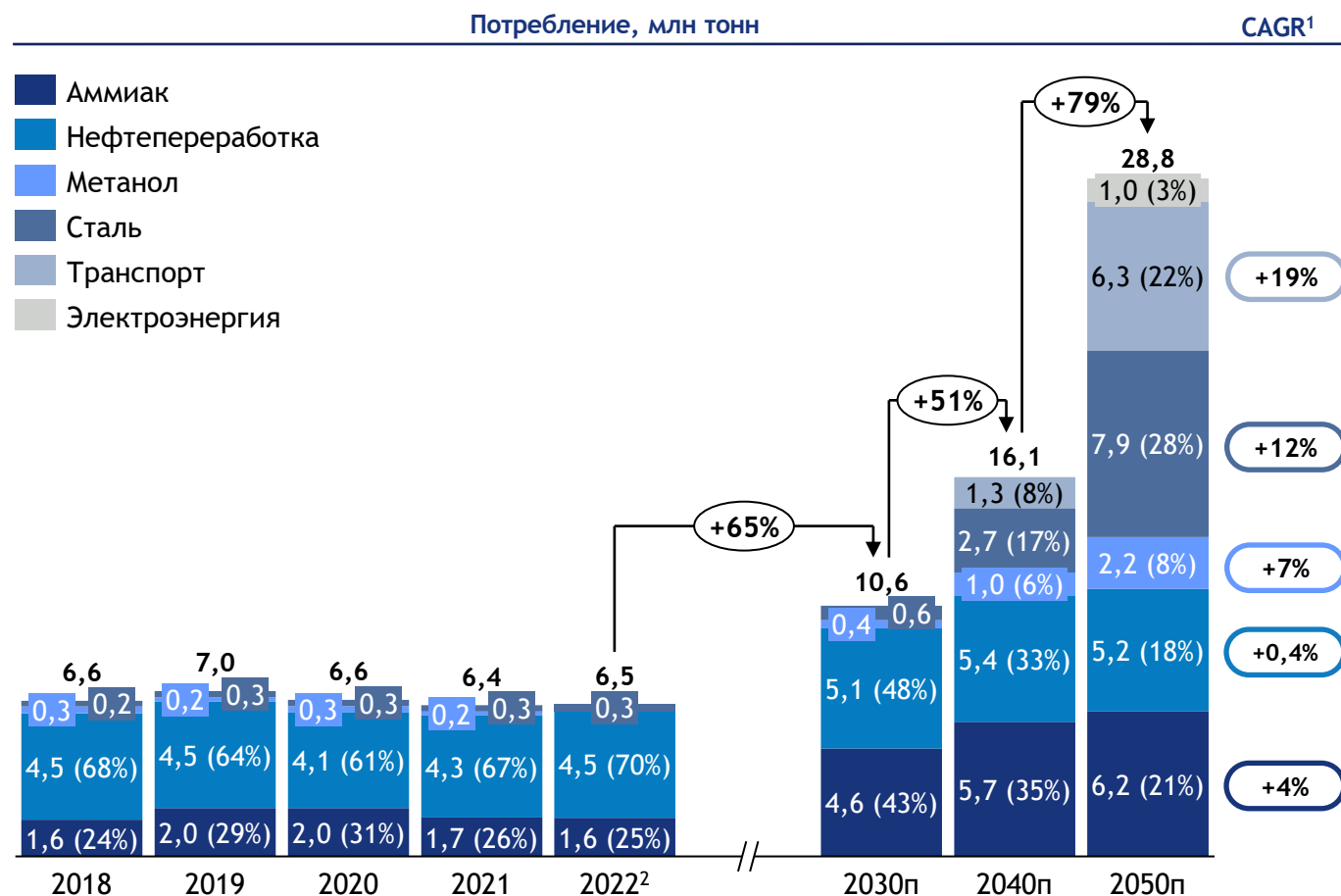
- К 2050 г. ожидается увеличение водородных транспортных средств до 29,8 млн с текущих 8 200 единиц
- По сценарию Net Zero к 2050 г. **уровень выбросов углекислого газа в атмосферу от производства стали сократится на 96%** по сравнению с 2020 г.
- Ожидается, что к 2050 г. **потребление аммиака вырастет в 1,5 раза** - до почти 90 млн тонн в год; из них 40 млн тонн - в сфере хранения энергии

1) CAGR оценен на основе роста потребления в сегментах прогнозных периодов, в которых присутствовало потребление; 2) Прогноз предоставлен China Hydrogen Alliance в рамках углеродно-нейтрального сценария; 3) Включает в т.ч. промышленное сырье и промышленное топливо; 4) Структура потребления в 2021 г. оценена на основе усредненной структуры в 2020 г. и 2022 г.

Источники: IEA, China Hydrogen Alliance, World Economic Forum, SBS Consulting

В Индии рост потребления водорода до 29 млн тонн к 2050 г. ожидается, в основном, за счет применения в транспорте и производстве стали

Ретроспективная и прогнозная динамика потребления водорода в Индии в 2018-2050 гг.



- В Индии уже используются две водородные заправочные станции
- Для хранения излишков возобновляемой энергии вырабатывается зелёный водород
- Индийский зелёный водород - четвертый по средней себестоимости среди лидеров по объёмам производства (3,7-5,8 долл./кг). - это связано с субсидиями до 0,61 долл./кг. Правительство также выделило -2,1 млрд. долл. в качестве мер поддержки производителей водорода

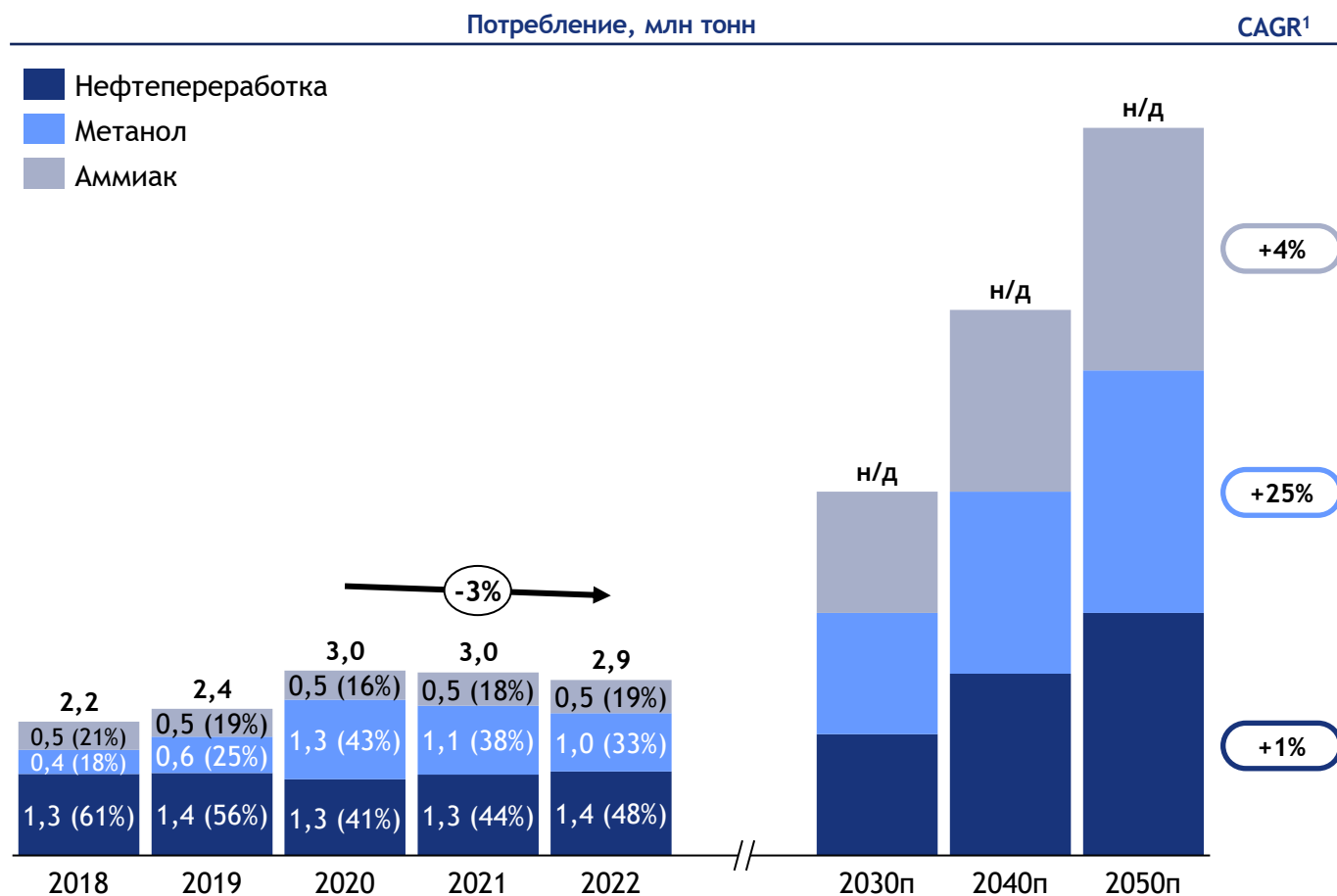
- По сценарию Net Zero к 2050 г. в Индии будет использоваться около 50 млн водородных легковых транспортных средств
- Ожидается, что к 2030 г. в Индии будут использоваться 12 000 водородных грузовиков
- Правительство Индии вводит проекты/инициативы при получении «выражений заинтересованности» от компаний. В 2023 г. 6 крупнейших нефтеперерабатывающих заводов объявили о планах производить 30,8 тыс. зеленого водорода в год к 2030 г.

1) CAGR оценен на основе роста потребления в сегментах ретроспективных и прогнозных периодов, в которых присутствовало потребление; 2) В 2022 г. отсутствуют данные по потреблению водорода в виде метанола



Объем потребления водорода в Иране был нестабильным в 2018-2022 гг., в то время как в будущем также отсутствуют стимулы для его роста

Ретроспективная и прогнозная динамика потребления водорода в Иране в 2018-2022 гг.



Текущая степень развития водородной энергетики

Факторы развития отрасли

- Водород - 55-ый по популярности импортный продукт в Иране
- Иран - 104-ая страна по объёму экспорта водорода
- Мощность производства возобновляемой энергии в Иране - около 20 ГВт (в то же время у Турции со схожими климатическими возможностями - в 5 раз больше)

- В Иране на государственном уровне не утверждена водородная стратегия
- Иран не ратифицировал Парижское соглашение об изменении климата

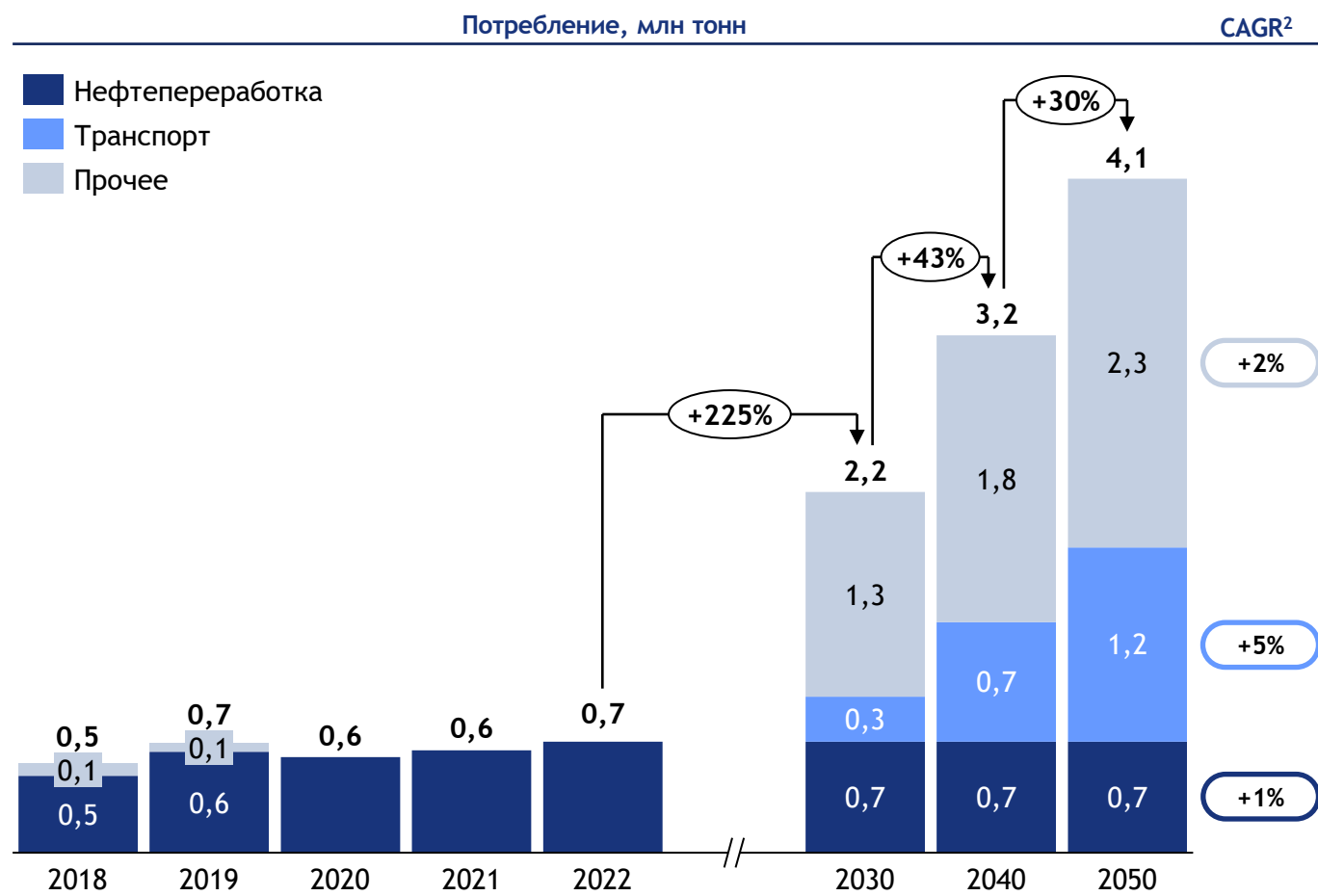
1) CAGR оценен на основе роста потребления в ретроспективных периодах

Источники: USGS, NIPNA, IPF - 2014 Tehran, OPEC, Lelementarium, OEC, Iran Open Data, SBS Consulting



В Турции рост потребления водорода к 2050 г. ожидается в связи с развитием применения водородного транспорта

Ретроспективная и прогнозная динамика потребления водорода в Турции в 2018-2022 гг.¹



Текущая степень развития водородной энергетики

- По словам Министра Энергетики и Природных Ресурсов Турции, водород позиционируется как важнейший инструмент достижения Net Zero к 2053 г.
- В Турции уже создана дорожная карта внедрения водорода в различные сферы, а также включающая программы поощрения и планы по локализации



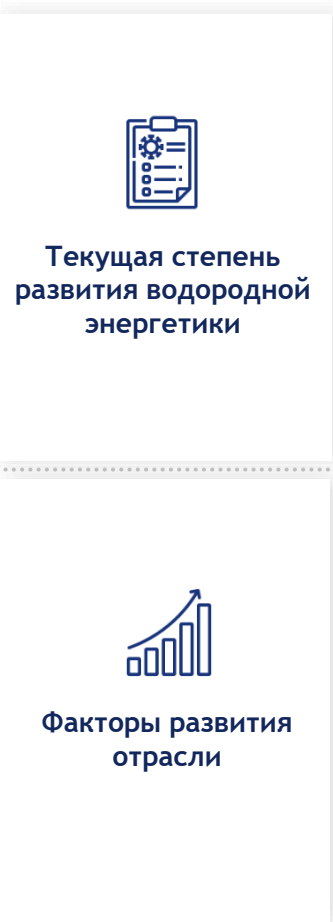
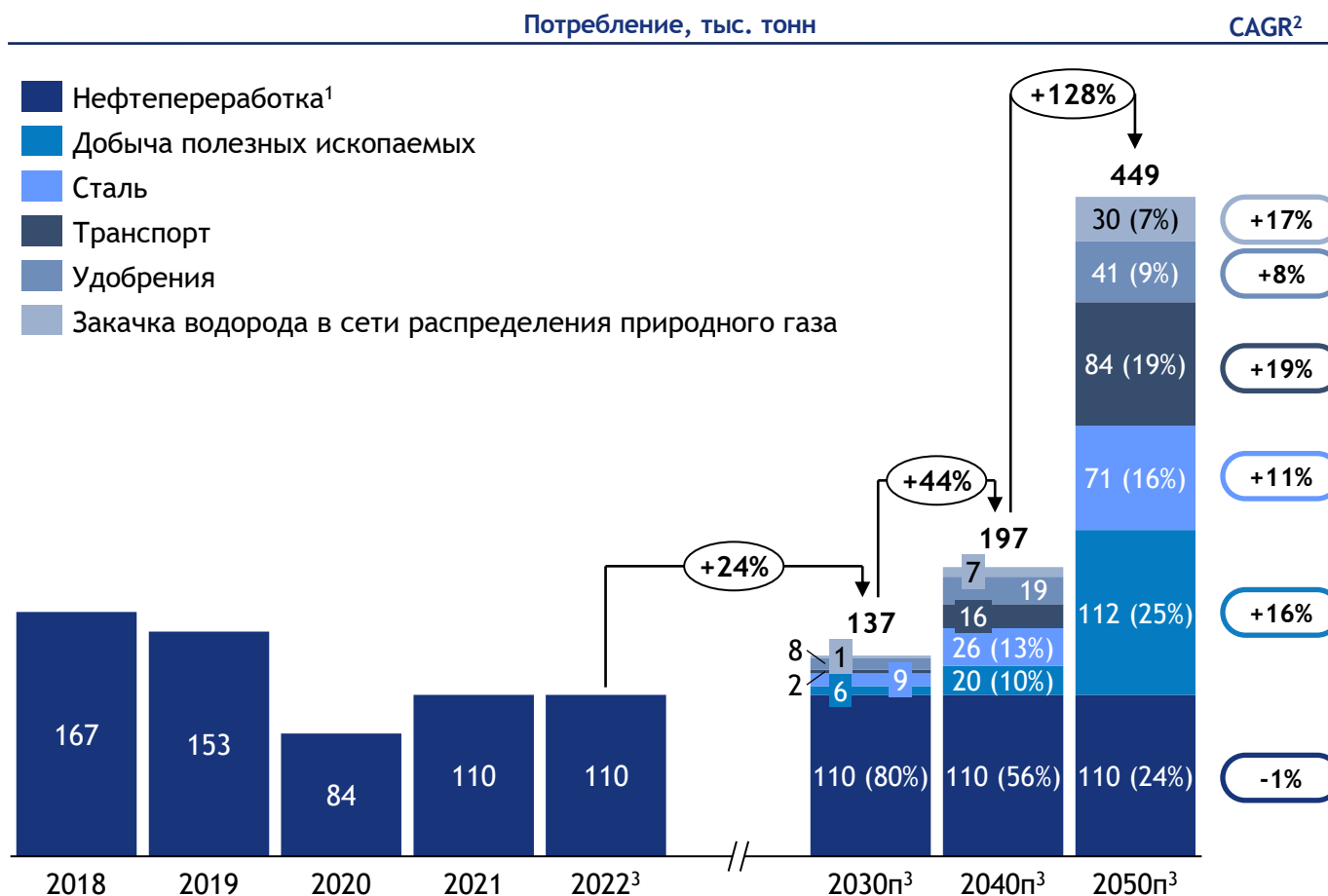
Факторы развития отрасли

- В Турции планируется снижение себестоимости зелёного водорода до уровня <2,4 долл. / кг к 2035 г. и <1,2 долл. / кг к 2053 г.
- Энергетическая стратегия Турции уделяет особое внимание замене импорта нефти и газа производством экологически чистого водорода
- По сценарию Net Zero, к 2050 г. проникновение водородных ТС достигнет 20% в общественном и грузовом транспорте

1) Информация о производстве аммиака в 2020-2022 гг. и метанола в 2018-2022 гг., используемая для оценки потребления, является конфиденциальной в статистических источниках Турции; 2) CAGR оценен на основе роста потребления в ретроспективных и прогнозных периодах в сегментах, в которых присутствовало потребление
 Источники: USGS, Turkish Statistical Institute, PwC, OPEC, IEA, SBS Consulting

В Перу рост потребления водорода будет вызван в основном развитием применения в транспорте, производстве удобрений и добыче

Ретроспективная и прогнозная динамика потребления водорода в Перу в 2018-2021 гг.



1) Общее потребление водорода в ретроспективе в основном направлено на нефтепереработку, в то время как потребление в виде аммиака и метанола < 1%; 2) CAGR оценен на основе роста потребления в сегментах, в которых присутствовало потребление; 3) В 2022 г. и в 2030-2050 гг. предполагается, что объем нефтепереработки сохранится на уровне 2021 г.

Источники: UN Comtrade Database, IEA, USGS, BP, Asociación Peruana de Hidrógeno, SBS Consulting

Содержание

Мировой рынок водородной
энергетики

Оценка текущей
конкурентоспособности
российской продукции

К 2050 г. Россия планирует достичь лидерства в производстве и экспорте водорода с объемами поставок в 10 млн тонн

Дорожная карта Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации

I 2021-2024 гг.



II 2025-2035 гг.



III 2036-2050 гг.



Цель

- Реализация потенциала по производству, экспорту, применению водорода и промышленной продукции для водородной энергетики
- Вхождение в число мировых лидеров по их производству и экспорту с обеспечением конкурентоспособности экономики страны в условиях глобального энергетического перехода



Планируемые мероприятия

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Создание региональных водородных кластеров, разработка мер поддержки и нормативно-правовой базы ▪ Запуск пилотных проектов для производства водорода из ископаемых топлив с CCUS¹ и электролизом ▪ Создание научно-технологической инфраструктуры ▪ Разработка технологий и производство промышленной продукции для водородной энергетики | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Серийное и массовое применение водородных технологий, масштабирование их производства и экспорта ▪ Формирование инфраструктуры в регионах повышенного спроса на водород с началом крупномасштабного экспортноориентированного производства | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Реализация крупных проектов по производству и экспорту водорода на основе ВИЭ² ▪ Россия становится одним из крупнейших экспортеров водорода и энергетических смесей, промышленной продукции и технологий на мировой рынок ▪ Широкое коммерческое применение водородных технологий в сферах транспорта, энергетики и промышленности |
|---|---|---|



Ожидаемый объем экспорта

млн тонн

0,2

2

10

10

50



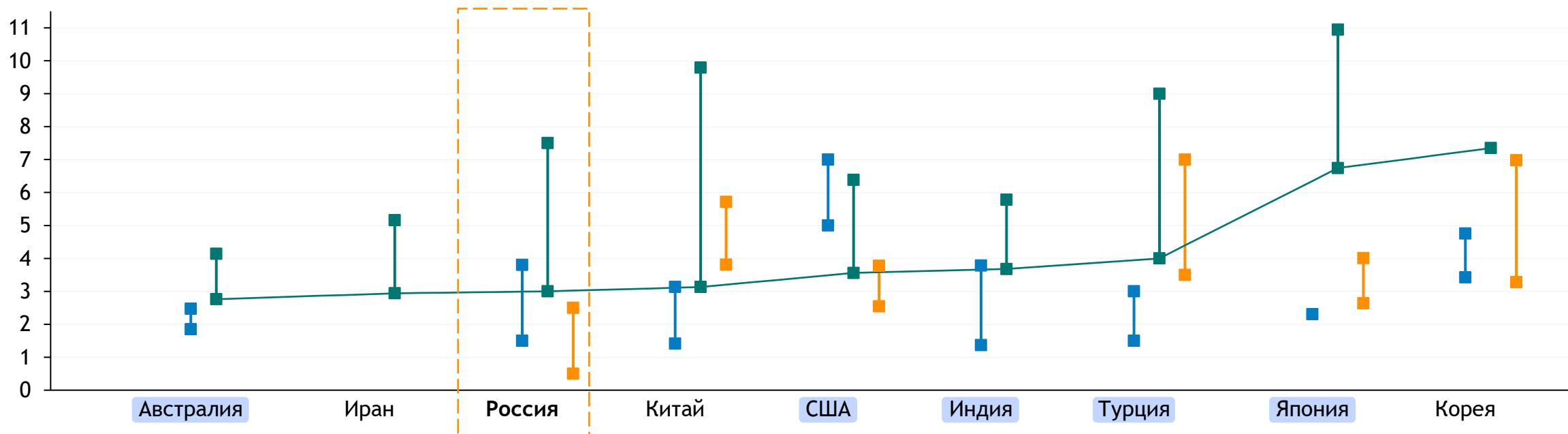
- Реализация «Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации», опубликованной в 2021 г., может быть затруднена, так как ожидаемые результаты мероприятий основаны на возможностях экспорта продукции в страны Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона, что в настоящий момент осложнено из-за санкционных ограничений

1) CCUS (Carbon Capture Utilization & Storage) - технология улавливания, использования и хранения углерода; 2) ВИЭ - возобновляемые источники энергии

Россия производит в среднем самый дешевый желтый водород, а Австралия лидирует по себестоимости зеленого и голубого

Себестоимость водорода в 2022 г., долл. / кг

— Голубой водород — Зеленый водород — Жёлтый водород Наличие государственной поддержки производителей водорода



Драйвер 1: Чувствительность к цене ресурсов

Наиболее чувствителен к стоимости ресурсов жёлтый водород: в зависимости от цены атомной энергии, себестоимость водорода может колебаться на $\pm 38\%$. Чувствительность голубого водорода к цене газа - $\pm 29\%$, зелёного к цене возобновляемой электроэнергии - $\pm 28\%$

Драйвер 2: Государственная поддержка

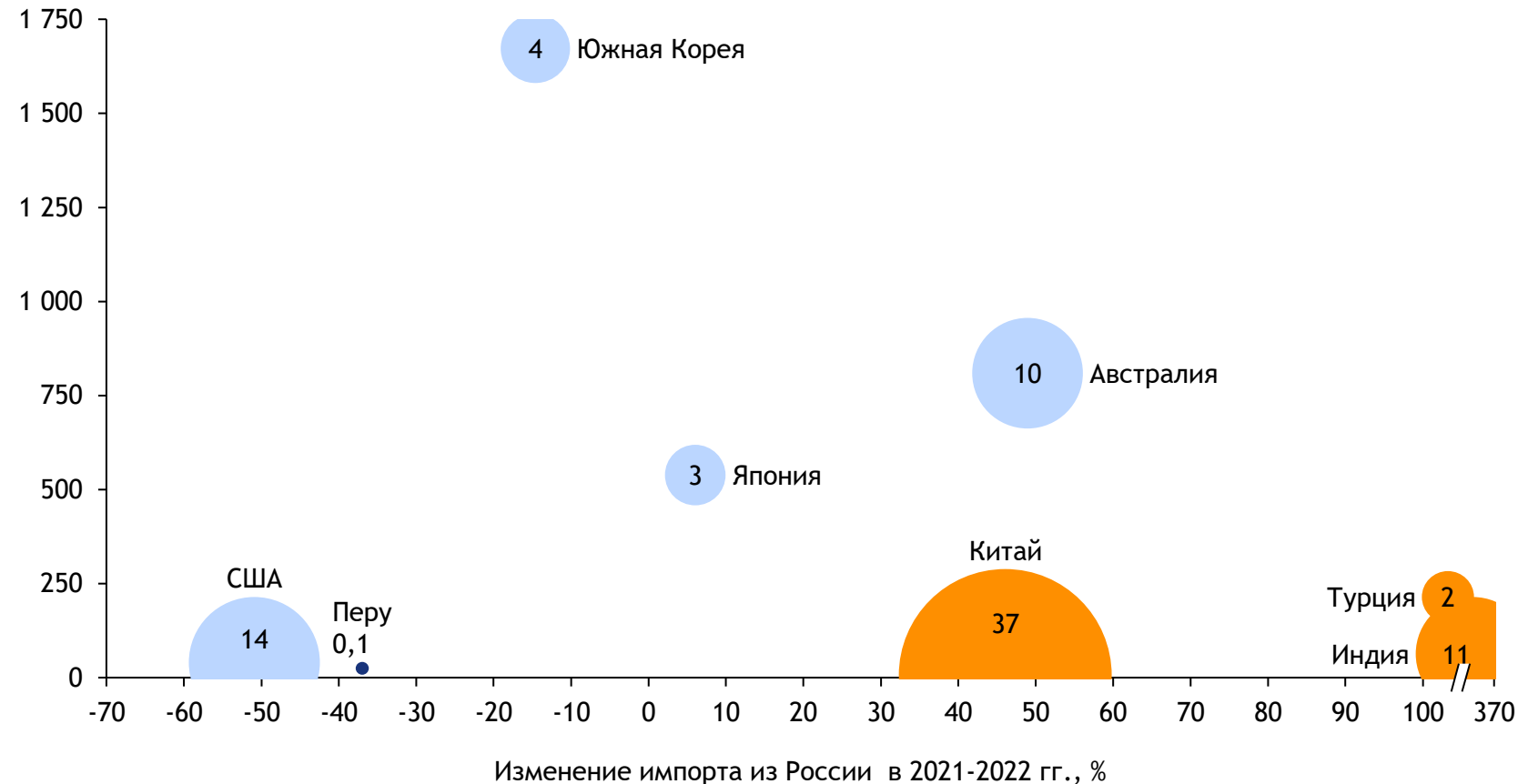
Государственная поддержка производителей низкоуглеродного водорода помогает бизнесу справиться с высокими капитальными затратами

Наибольшим потенциалом для экспорта водорода и технологий для водородной энергетики обладают Китай, Индия, а также Турция

Объем потребления водорода в 2030 г., млн тонн

Оценка потенциала

Изменение потребления водорода в 2022-2030П гг., %



Дружественные страны

Потенциальные торговые партнеры

Дружественные страны

Экспорт может быть затруднен логистическими ограничениями

Недружественные страны

Поставка товаров затруднена введенными ограничениями

1. В качестве диаметра выступает прогнозируемый объем потребления водорода страной в 2030 г., млн тонн

2. Уровень дружественности страны присваивался в соответствии с изменением объема импортируемых товаров за анализируемый период и позицией страны в отношении санкций против России по состоянию на октябрь 2023 г.

Источники: Trademap, Trading Economics, Energy Monitor, The Korea Economic Daily, Hover, РБК, SBS Consulting

Экспорт водорода из России может быть сильно усложнён отсутствием государственной поддержки и узким выбором торговых партнёров

Риски и барьеры для потенциального экспорта российского водорода, 2023 г.

Генерация

Транспортировка

Технологические



Начальный уровень развития инфраструктуры

- В настоящее время Россия производит водород только для потребления внутри промышленных производств
- Тестирование мощностей для производства зелёного водорода началось в 2022 г.
- Полноценный запуск производства голубого водорода планируется только в 2030 г.



Высокие требования к транспортировке

- В зависимости от расстояния транспортировки водород необходимо перевозить в одной из трёх форм: сжатый газ (до 2 600 км), сжиженный водород (до 16 500 км), ЛОНС (до 25 000 км)
- На коротких дистанциях более выгодно транспортировать трубопроводом; на средних и дальних дистанциях - наземным транспортом
- Требовательность водорода к условиям перевозки обуславливает потребность производств и потребителей иметь мощности для конвертации водорода и широкий выбор способов транспортировки

Экономические



Высокие капитальные затраты

- Минэнерго оценивает объём инвестиций для развития водородной инфраструктуры в 21,1 млрд долл. (6% расходов федерального бюджета России за 2022 г.)
- Без государственной поддержки производителей на этапе предпроектной подготовки успешные водородные проекты возможны только в Якутии и на Сахалине - в специальных экономических зонах. У проектов в остальных регионах оба показателя (IRR, NPV) обещают быть отрицательными








Высокая стоимость транспортировки

- Экспортная стратегия водорода была разработана до введения антироссийских санкций - главными торговыми партнёрами должны были стать Япония, Европа и Южная Корея; эти рынки сейчас закрыты
- Ближайшие дружественные страны-потребители водорода - Китай (самый крупный производитель) и страны Южной Америки
- Транспортировка водорода в Южную Америку из России будет существенно дороже, чем, например, из США











В России изготавливается продукция для каждого этапа цепочки производства и реализации экологичного водорода

Цепочка производства и реализации зеленого, голубого и желтого видов водорода, 2023 г.

Ступень цепочки	Генерация		Транспортировка		Использование	
 <p>Виды и типы продукции</p>	<p>Электролиз воды</p> <ul style="list-style-type: none"> AWE (Электролиз щелочной воды) AEM (Анионообменный мембранный электролиз) PEM (Электролиз с протонообменной мембраной) SOEC (Твердооксидный электролиз) 		<p>Транспортировка по суше</p> <ul style="list-style-type: none"> В газообразном виде В сжиженном виде <p>Транспортировка по морю</p> <ul style="list-style-type: none"> В газообразном виде В сжиженном виде В составе смеси 		<p>Использование в качестве топлива для транспорта</p> <ul style="list-style-type: none"> Водородомобили Водоробусы Грузовики Трамваи Железнодорожный транспорт Суда 	
 <p>Ключевые страны-производители</p>	<p>  Германия  США  Китай </p> <p>  Франция  Россия </p>		<p>  США  Россия </p> <p>  Япония  Россия </p>		<p>  Япония  Нидерланды  Корея </p> <p>  Россия  Германия  Китай </p>	
 <p>Основные компании-производители</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sunfire Cummins Elogen PERIC Hydrogen Technologies Центротех 		<ul style="list-style-type: none"> BayoTech Cryolor Центротех H2 Tex Kawasaki HI Chiyoda Corporation H2 Tex 		<ul style="list-style-type: none"> Toyota Honda Hyundai Aurus Tsuneishi Komatsu KAMA3 	

Российские технологии электролиза соответствуют мировым аналогам по энергоэффективности, но уступают по производительности

Сравнительный анализ технологий, генерирующих водородное топливо, 2023 г.

Вид технологии	Страна-производитель	Название компании	Энергоэффективность электролизера (кВт*ч/м ³)	Энергоэффективность системы (кВт*ч/м ³)	Скорость генерации (м ³ /ч)	Дополнительная информация
 AWE (электролиз щелочной воды)	 Германия	Sunfire	4,2 ¹	4,5	2 161	<ul style="list-style-type: none"> Продано >1000 систем Экспортируется в более чем 30 стран
	 Китай	PERIC Hydrogen Technologies	4,3	н/д	2 000	
 PEM (электролиз с протонообменной мембраной)	 США	Cummins	н/д	4,6	4 000	<ul style="list-style-type: none"> В 2022 г. - крупнейший производитель PEM страны Поставляет в Австралию, Корею и пр.
	 Франция	Elogen	4,3	4,8	4 000	
 SOEC (твёрдооксидный электролиз)	 Германия	Sunfire	3,3	3,6	750	-
 АЕМ (анионообменный электролиз)	 Россия	НПО Центротех, Росатом	4,0	н/д	1 000	<ul style="list-style-type: none"> Реализуется в г. Новоуральск






Выводы: Российские электролизеры характеризуются более высокой эффективностью по сравнению с китайскими или французскими аналогами

1) Здесь и далее в таблице отображены лучшие показатели энергоэффективности продукции компании
 Источники: CSSC, НПО Центротех, Germany Sunfire, Asahi Kasei, Cummins, Elogen, SBS Consulting

Российские технологии перевозки сжиженного водорода находятся в стадии разработки, газообразного - не уступают иностранным аналогам

Сравнительный анализ технологий, перевозящих водородное топливо по суше, 2023 г.







Агрегатное состояние	Страна-производитель	Название компании	Название проекта	Вместимость единицы	Давление (атм.)	Описание
 Газообразный	 США	BayoTech	Модули хранения топлива; грузовики, оборудованные для быстрого пополнения и разгрузки водорода	10 кг	345	<ul style="list-style-type: none"> Технология стандартизована и уже доступна в сфере транспортировки природного газа Срок службы - 10-15 лет Объем - от 5 до 500 л Технология позволяет как транспортировать, так и хранить сжатый водород
	 Россия	НПО Центротех, Росатом	Металлокомпозитные баллоны высокого давления	16 кг	500	
 Сжиженный	 США	Cryolor	LH ₂ Трейлеры - цистерны для фур, позволяющие перевозить жидкий водород	4,5 тонн	1,4	<ul style="list-style-type: none"> Ключевое условие транспортировки сжиженного водорода - соблюдение температуры -253 С° Для перевозки опасных жидкостей существует стандартный контейнер, одобренный ООН - UN 75T ISO
	 Россия <i>Этап: разработка прототипа</i>	H2 Тех, Морской Регистр Судоходства	CryoSafe-42 - контейнер стандарта UN 75T ISO, способный перевозить водород	2,8 тонн	н/д	



Выводы: в России и мире уже существуют и используются технологии, позволяющие транспортировку водорода как в газообразной, так и сжиженной форме

Технологии морской транспортировки водорода эксплуатируются только в Японии, в России они находятся на стадиях прототипов и патентования

Сравнительный анализ технологий, перевозящих водородное топливо по морю, 2023 г.

Агрегатное состояние	Страна-производитель	Название компании	Название проекта	Вместимость единицы (тонн)	Давление (атм.)	Описание
 Сжиженный	 Япония	Kawasaki Heavy Industries	Грузовой танк для сжиженного водорода на судне Suiso Frontier	75	5,1	<ul style="list-style-type: none"> Транспортировка при температуре -253 С° Использование вакуумной криогенной теплоизоляции
 Сжиженный	 Россия <i>Этап: разработка прототипа</i>	H2 Тех, Морской Регистр Судоходства	CryoSafe-42 - контейнер стандарта UN 75T ISO, способный перевозить водород	2,8	11,7	
 В составе энергоносителя	 Япония	Chiyoda Corporation	Система SPERA Hydrogen™ для получения из водорода метилциклогексана для перевозки в контейнерах	32,1	4,0	<ul style="list-style-type: none"> Требуется установка технологий гидрирования и дегидрирования Используется существующая инфраструктура: контейнеры-цистерны ISO для толуола и метилциклогексана¹, а также химовозы









- Российская технология перевозки сжиженного водорода в настоящее время находится на этапе разработки прототипа при более низкой вместимости контейнеров-цистерн и более высоком давлении, чем в Японии, в то время как технология перевозки водорода в составе энергоносителей пока находится на этапе патентования
- В Корее существуют наработки проектов по перевозке сжиженного водорода, в Австралии - сжатого, а в Китае фокусируются на разработке трубопроводов

¹) Вместимость танков и давление при перевозке водорода в составе энергоносителя оценено на основе использовавшись в 2020 г. в испытаниях контейнеров-цистерн типа ISO UN PT емкостью 24 килолитра

Источники: Kawasaki Heavy Industries, H2 Инвест Компания группы «Газпромбанк», Chiyoda Corporation, SBS Consulting

Япония и Корея сохраняют лидерство на рынке водородомобилей: суммарный парк двух стран превышает 95 тыс. штук

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.

Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Дальность следования (км)	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Парк (тыс. шт.)	Дополнительные характеристики
 Водородомобиль	 Япония	Toyota Motor Corporation	Toyota Mirai	650	175	134	23,5	-
 Водородомобиль	 Япония	Honda Motor Company	Honda Clarity	579	160	133	42,0	<ul style="list-style-type: none"> Достигает скорости 96 км/ч за 8,1 секунду быстрее, чем Hyundai Nexo и Toyota Mirai
 Водородомобиль	 Корея	Hyundai Motor Company	Hyundai Nexo	700	179	120	29,9	-
 Водородомобиль	 Россия	Aurus Motors	Aurus Senat Hydrogen	600	н/д	140	н/д	<ul style="list-style-type: none"> Достигает скорости 100 км/ч за 4 секунды



Выводы: Российский Aurus Senat Hydrogen имеет наибольшую скорость разгона среди водородомобилей, выпущенных в 2023 г.

Большая часть проектов по производству и внедрению водробусов реализуется в странах Азии, меньше - в Европе и России

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.

Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Дальность следования (км)	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Парк (шт.)	Дополнительные характеристики
Водробус	Япония	Toyota Motor Corporation	Toyota Sora	н/д	113	600	100	-
Водробус	Корея	Hyundai Motor Group	Elec City Fuel Cell bus	500	180	845	300 500	<ul style="list-style-type: none"> Ввод новой партии планируется до конца 2024 г.
Водробус	Нидерланды Польша	Connexxion, Solaris Bus & Coach	Solaris Urbino 12 hydrogen, Solaris Urbino 18 hydrogen	350	250	312	120 130	<ul style="list-style-type: none"> Имеет 5 топливных баков Подписан контракт на поставку партии в 2024-2026 гг.
Водробус	Россия	ПАО "КАМАЗ"	КАМАЗ-6290 <i>Этап: опытная эксплуатация</i>	250	45 ¹⁾	600	н/д	<ul style="list-style-type: none"> Способен развить скорость до 80 км/ч

➤ **Выводы:** Российский водробус пока уступает иностранным аналогам в мощностях и дальности следования






Эксплуатируется Портфель заказов

1) Мощность водородной установки

Источник: Hyundai Motor Group, Toyota UK media site, Solaris Bus & Coach, пресс-центр КАМАЗ, Bibimot, SBS Consulting

В России водородные грузовики находятся на стадии разработки, завершение работ запланировано на конец 2024 г.

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.

Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Дальность следования (км)	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Парк (шт.)	Дополнительные характеристики
Грузовик	 Нидерланды	Holthausen Clean Technology Investment	HuMax 450	520	н/д	550	90	-
Грузовик	 Корея	Hyundai Motor Group	Xcient Fuel Cell	400	85	350	60 / 1 600	<ul style="list-style-type: none"> Полный цикл заправки водородом 8-20 мин Запуск новой партии планируется в 2025 г.
Грузовик	 Швеция	Volvo	HX04 <i>Этап: испытания на дорогах общего пользования</i>	1 000	80	300 ¹	н/д	<ul style="list-style-type: none"> 2 топливных элемента Способен работать в условиях холода Полярного круга
Грузовик	 Россия  Белоруссия	АФК «Система», Белкоммунмаш	Грузовик на водородных топливных элементах <i>Этап: разработка</i>	н/д	н/д	100 ²	20	<ul style="list-style-type: none"> Грузоподъемность 12 т. Поставка первой партии планируется на 2024 г.

➤ **Выводы:** В 2023 г. Volvo и Hyundai расширили линейку водородных грузовиков, увеличив дальность следования моделей. Однако их модели уступают по мощности двигателя грузовикам Holthausen. В России массовое производство пока запущено быть не может




1. Мощность одного топливного элемента
2. Мощность одного топливного элемента

Источник: Hyundai Rotem Tech, H2 Energy News, Volvo Trucks, Quto, SBS Consulting

 Эксплуатируется  Портфель заказов

Российский трамвай на водородных элементах успешно завершил опытные испытания, однако не был запущен в серийное производство

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.









Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Дальность следования (км)	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Парк (шт.)	Дополнительные характеристики
Трамвай	 Китай	CRRC Corporation	Трамвай на водородных топливных элементах	125	70	200	10	<ul style="list-style-type: none"> Потребление водорода 25-30кг/100км Были произведены поставки в Турцию
Трамвай	 Россия	СПб ГУП Горэлектротранс	Трамвай на водородных топливных элементах <i>Этап: опытная эксплуатация</i>	н/д	7	80 ¹	1	<ul style="list-style-type: none"> В качестве основы взята модель ЛМ-68М В 2021 г. было объявлено, что опытные испытания прошли успешно Эксплуатируется в г. Санкт-Петербурге
Трамвай	 Корея	Hyundai Rotem	Трамвай на водородных топливных элементах <i>Этап: опытная эксплуатация</i>	150	70	550	н/д	<ul style="list-style-type: none"> Генерирует 107,6 кг чистого воздуха и очищает 800 мкг мелких частиц за каждый час работы

➤ **Выводы:** На 2023 г. Китай - единственная страна, которая завершила этап испытаний и перешла к серийному производству трамваев на водородных элементах

1. Мощность установки
Источник: H2 Today, International Railway Journal, Ballard, РБК, Администрация Санкт-Петербурга, Hyundai Rotem Tech, SBS Consulting

Страны Азии и Европы активно развивают пассажирские поезда на водороде, конкурируя в дальности следования, скорости и мощности

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.

Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Дальность следования (км)	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Дополнительные характеристики
 Поезд	 Япония	Toyota Motor Corporation, East Japan Railway Co, Hitachi	Hybari <i>Этап: опытная эксплуатация</i>	140	100	н/д	<ul style="list-style-type: none"> Коммерческая эксплуатация начнется в 2030 г.
 Поезд	 Китай	CRRC Corporation	Ningdong	600	160	800	<ul style="list-style-type: none"> Емкость двигателя 270 кг сжиженного водорода, может работать до 190 ч. В коммерческом пользовании с января 2023 г.
 Поезд	 Корея	Woojin Industrial Systems, Korean Railroad Corporation	Электropоезд на водородных топливных элементах	600	110	1 200	-
 Поезд	 Германия	Alstom	Coradia iLint	1 000	140	200 ¹	<ul style="list-style-type: none"> Оснащен 64 баками высокого давления (до 500 бар), 6 компрессорами и 2 топливными насосами 14 поездов в эксплуатации









➤ **Выводы:** Китай производит самые скоростные водородные поезда, в то время как Корея - самые мощные. Немецкие поезда обладают наибольшей дальностью следования среди моделей, представленных на рынке. В России разработкой занимается компания «Траснмашхолдинг» с 2021 г., поставка 5 поездов РЖД планируется на 2025 г.

1. Мощность одного топливного элемента

Источник: Hyundai Rotem Tech, H2 Energy News, New Atlas, Railway Supply, Metro Trains, South China Morning Post, SBS Consulting

Японские и нидерландские компании активно развивают строительство судов и специализированной техники на водородных элементах

Сравнительный анализ технологий, использующих водородное топливо, 2023 г.

Вид транспорта	Страна-производитель	Название компании	Модель транспорта	Скорость движения (км/ч)	Мощность двигателя (кВт)	Дополнительные характеристики
 Судно	 Япония	Tsuneishi Facilities and Craft	Пассажирское судно Hydro Bingo	43	441	<ul style="list-style-type: none"> Вместительность до 80 пассажиров
 Судно	 Япония	Yanmar	Прогулочный катер EX38A FC	41	250	<ul style="list-style-type: none"> Грузоподъемность 7,9 т
 Судно	 Нидерланды	Holland Shipyards Group, Future Proof Shipping	Судно "H2 Barge 1"	н/д	800	<ul style="list-style-type: none"> Максимальная длина и ширина - 61,5 и 399,99 м соответственно
 Судно	 Россия	Sitronics Group, АФК "Система"	Электросудно на водороде <i>Этап: опытная эксплуатация</i>	н/д	н/д	<ul style="list-style-type: none"> Продолжительность хода до 20 ч.

➤ **Выводы:** Технологии нидерландских компаний обладают большими мощностями в сравнении с японскими аналогами. В России массовое строительство водородных судов не налажено. В феврале 2023 г. ЦКБ "Балтсудопроект" выпустил первое прогульно-экскурсионное судно на водородном топливе вместимостью 10 чел. и скоростью до 12 км/ч

В краткосрочной перспективе поставяться на экспорт могут российские технологии генерации и морской транспортировки водорода

Конкурентоспособность российских технологий производства и реализации зеленого, голубого и желтого видов водорода, 2023 г.

Степень цепочки	Генерация		Транспортировка		Использование						
 <p>Виды и типы продукции</p>	<p>Генерация водорода путем электролиза</p> 		<p>Транспортировка по суше</p> 	<p>Транспортировка по морю</p> 	<p>Использование в качестве топлива для транспорта</p> 						
 <p>Конкурентная способность¹ технологий России</p>	 <p>Выше средней</p>		 <p>Низкая</p>	 <p>Высокая</p>							<p>Низкая</p>
 <p>Выводы</p>	<ul style="list-style-type: none"> Технология может поставяться на экспорт 		<ul style="list-style-type: none"> Технологии способны конкурировать на международном рынке перевозок по морю, но не на рынке транспортировки по суше 		<ul style="list-style-type: none"> Низкая степень технологической зрелости Российские технологии, использующие водород в качестве топлива, не способны конкурировать в текущем состоянии на международном рынке. Вывод на экспорт нецелесообразен 						
 <p>Рекомендации</p>	<ul style="list-style-type: none"> Инвестиции в R&D Проведение работ по улучшению характеристик 		<ul style="list-style-type: none"> Стимулирование инвестиций в R&D Повышение квалификации имеющих на рынке труда кадров 		<ul style="list-style-type: none"> Стимулирование инвестиций в R&D Повышение квалификации имеющих на рынке труда кадров Строительство и развитие инфраструктуры по эксплуатации водородного транспорта Стимулирование спроса на водородный транспорт среди частных лиц (на автомобили, суда) и юридических организаций (на автобусы, поезда, трамваи и грузовики) 						

1. Относительно характеристик лучшей модели на рынке
Источник: SBS Consulting

Авторы



Владимир Самохвалов
Управляющий партнер

E-mail vsamokhvalov@sbs-consulting.ru



Дмитрий Бабанский
Директор департамента консалтинга

E-mail dbabansky@sbs-consulting.ru

Вячеслав Романычев
Консультант

Research Team



- Тел.: +7 (495) 792-5979
- Адрес: Москва, Проектируемый проезд №4062, д.6, с.2
- Сайт: www.sbs-consulting.ru
- E-mail: info@sbs-consulting.ru