



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Комплексная программа развития отрасли низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации

Материалы для обсуждения с межведомственной рабочей группой по
развитию в Российской Федерации водородной энергетики

17 февраля 2022

Состав рабочей группы по разработке Программы

Банки, инвестиционные компании



ПАО "Сбербанк"



ООО "УК "РОСНАНО"



Евразийский банк развития



ПАО "АФК Система"



АНО "Институт ВЭБ.РФ"



АО "Газпромбанк"

Металлургические, химические компании



ООО "Сибур"



ПАО "Северсталь"



ПАО "Акрон"



ПАО "Полюс"

Энергетические компании



АО "Русатом Оверсиз"

ООО "ЛИНК"

АО "Татэнерго"

ПАО "Газпром нефть"

ПАО "Интер РАО"

ПАО "НОВАТЭК"

ПАО "Фортум"

ПАО "Энел Россия"

ПАО "Юнипро"

Эн+ Холдинг Лимитед

ООО "Газпром энергохолдинг"

ООО "Солар Системс"

ООО "АГК-1"

ООО "Н2 Чистая Энергетика"

ГК "Хевел"

Производители оборудования и машиностроительные компании



КРИОГЕНМАШ

НТЦ ПАО "КАМАЗ"



ПАО "Криогенмаш"

ООО "Сименс Энергетика"

Органы гос. управления, НКО



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
АГЕНТСТВО



КООРДИНАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ПРАВИТЕЛЬСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Министерство энергетики
Российской Федерации
ФГБУ "Российское энергетическое
агентство" Минэнерго России

Координационный центр при
Правительстве Российской
Федерации

Ассоциация развития
возобновляемой энергетики

Консультанты



BCG



Энерджинет



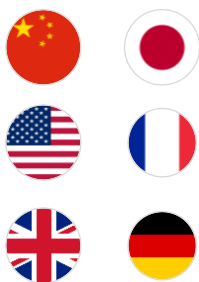
РАНХиГС при Президенте РФ



EnergyNet
National
Technology Initiative

Декарбонизация, которую начали крупнейшие экономики мира, невозможна без применения водорода

Крупнейшие экономики мира начали декарбонизацию, другие к ним присоединяются

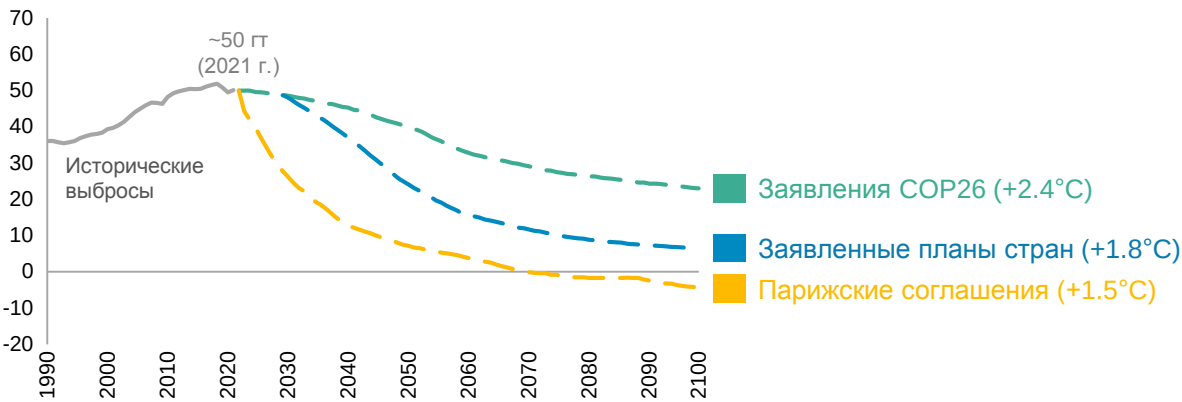


У меня есть все основания полагать, что мы можем добиться углеродной нейтральности в более ранние сроки, если будем все исполнять так, как задумали



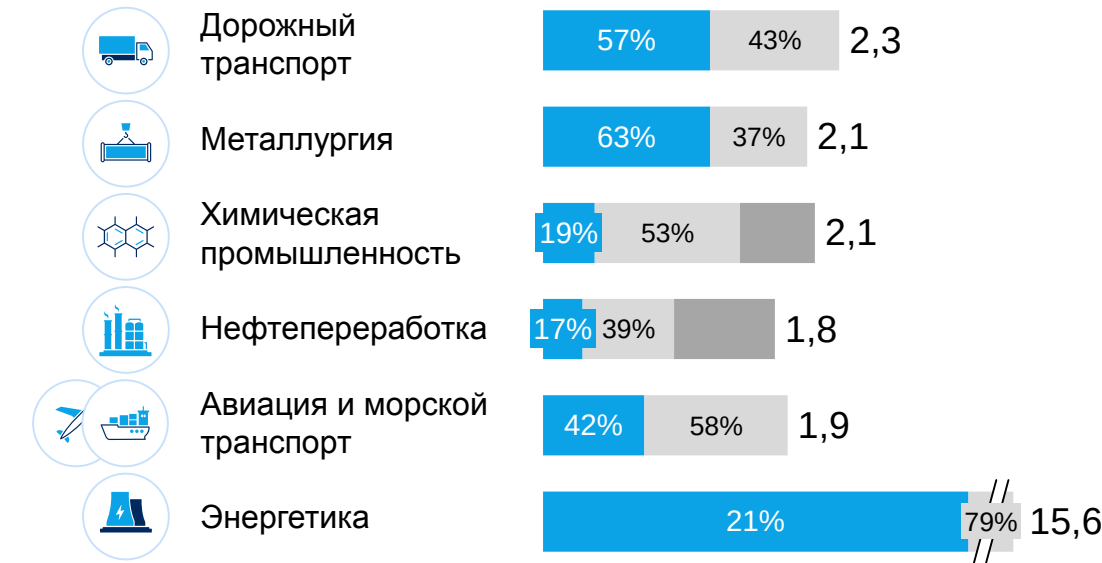
Владимир Путин

Глобальные выбросы парниковых газов при различных сценариях и их влияние на потепление, гигатонн CO₂-экв.



Водород является оптимальным решением для снижения выбросов в целом ряде секторов экономики

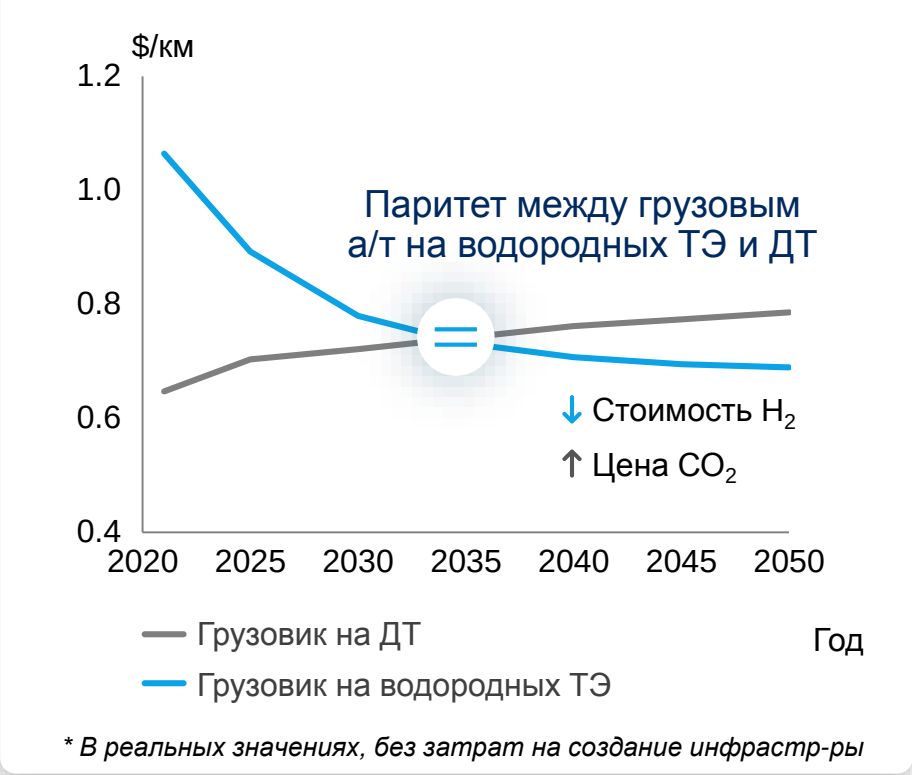
Доля водородных и иных решений в сокращении совокупных выбросов парниковых газов по секторам экономики, гигатонн CO₂-экв.



■ Потенциал сокращения выбросов за счет водорода
■ Потенциал сокращения выбросов за счет других решений
■ Выбросы, не адресуемые существующими решениями
XX Объем выбросов в 2018 г. по данным WRI, Гт CO₂-экв.

Водородные технологии характеризуются сегодня высокой стоимостью, средним уровнем развития и сложностями с безопасностью

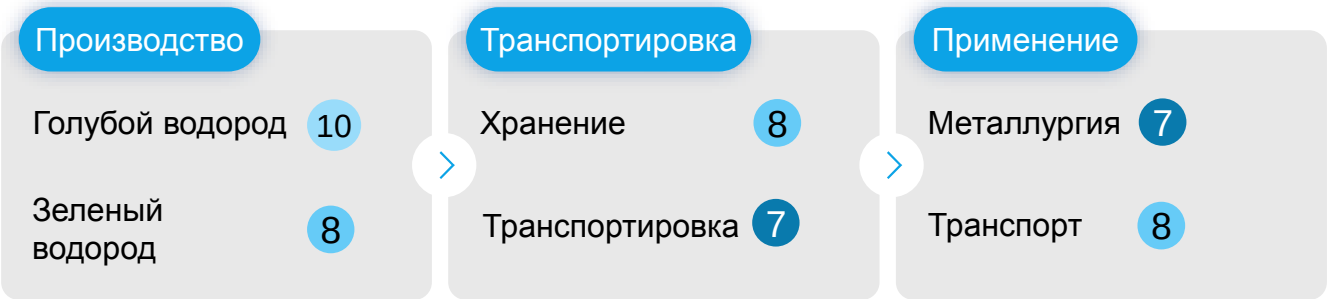
Высокая стоимость технологий H₂ может снизиться после 2030 г. в отдельных отраслях
Пример: стоимость владения грузовым а/т в Германии



В 2030-2040 гг. ожидается массовый переход промышленности и транспорта на водородные технологии в результате повышения их уровня производственной готовности, сокращения стоимости H₂ и роста стоимости CO₂

Барьеры

Средний уровень готовности технологий



Прочие потенциальные барьеры

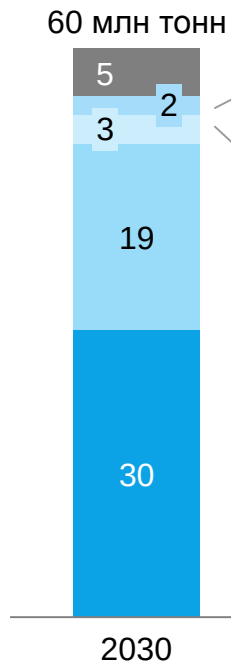
- Отсутствие достаточного количества действующих производственных и инфраструктурных мощностей для перехода на водородные решений
- Недостаток кадрового обеспечения в области водородных технологий — нужна подготовка 5400 специалистов в год (в дополнение к текущим 200)

Исходя из прогнозов, подтвержденных заявлениями крупнейших стран, потребление низкоуглеродного H₂ составит ~60 млн тонн в 2030 г.

Консервативный прогноз потребления низкоуглеродного водорода в 2030 году формируется 4 странами/регионами

Амбициозные прогнозы потребления низкоуглеродного H₂ основаны на сценариях декарбонизации

Примеры



3 млн т – заявленное в H₂-стратегии Японии потребление 2030 г., что соизмеримо с топливом для 1-2% (0,15 млн) парка грузовых автомобилей страны (14,3 млн)

19 млрд \$ – государственные инвестиции в использование H₂ для э/генерации

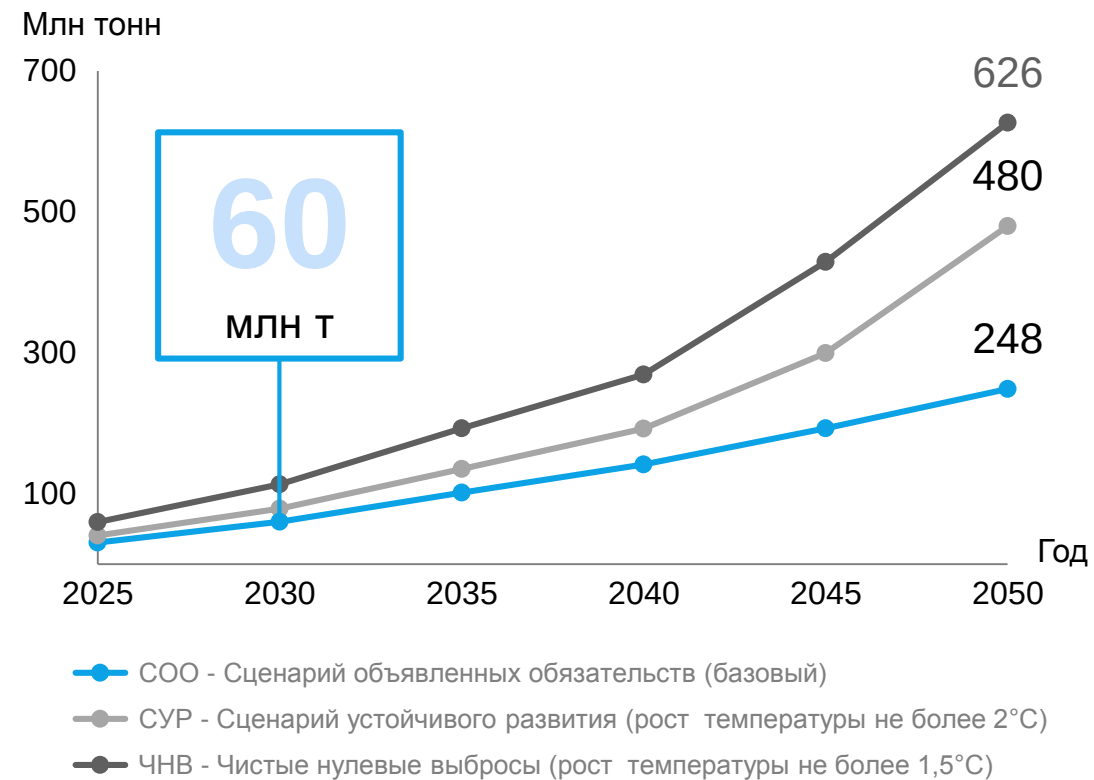
30 тыс. ед. FCEV – планирует производить Toyota

8-24 млн т – заявленное в дорожной карте H₂ только Германии потребление в 2050 г., что соизмеримо с использованием SAF для 13-19% авиарейсов в Европе (23 тыс. рейсов в сутки)

5 тыс. грузовиков на водородных ТЭ и строительство **150 заправок H₂** – планы Daimler & Shell к 2030 году

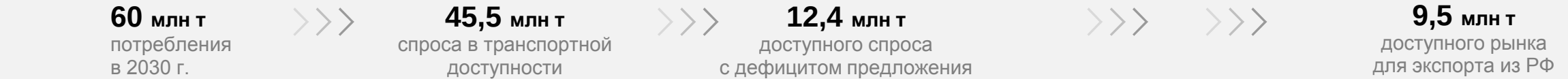
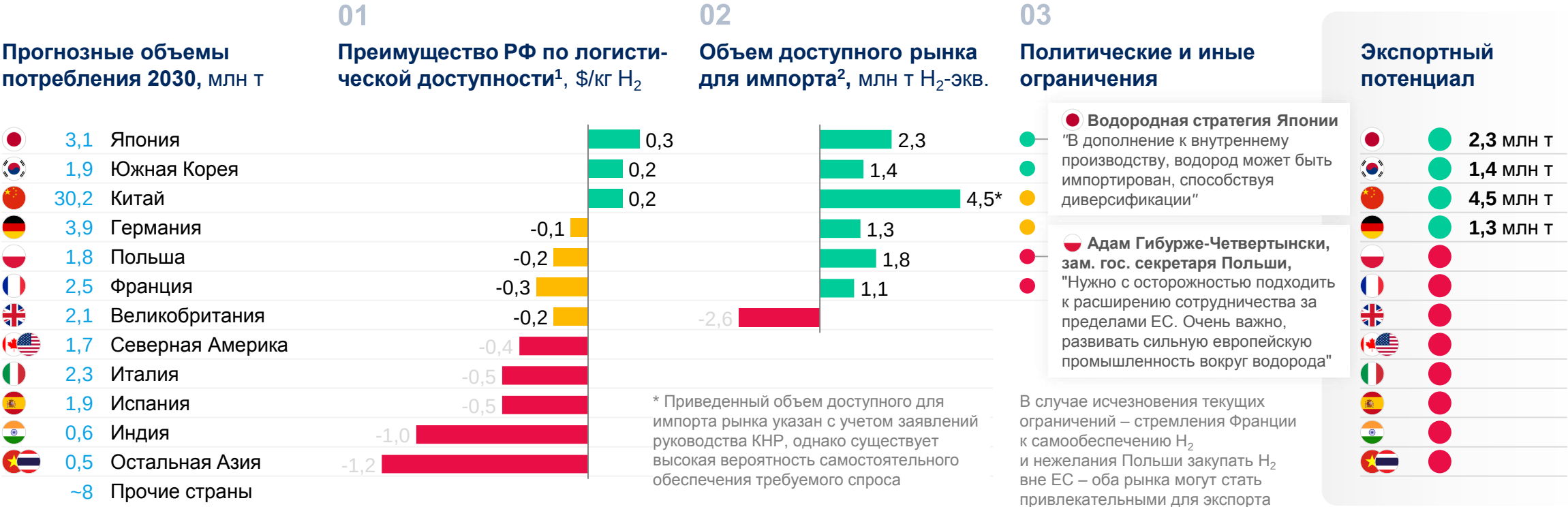
30-35 млн т – заявленное "The China Hydrogen Alliance" потребление в 2030 г., что соизмеримо с топливом для 5-6% (1,5 млн) общего парка грузовых автомобилей страны (27,8 млн)

2,7 млрд \$ - государственное финансирование разработки автомобилей на водородных ТЭ



Экспортный потенциал РФ в 2030 г. составит ~9,5 млн тонн в 4 странах

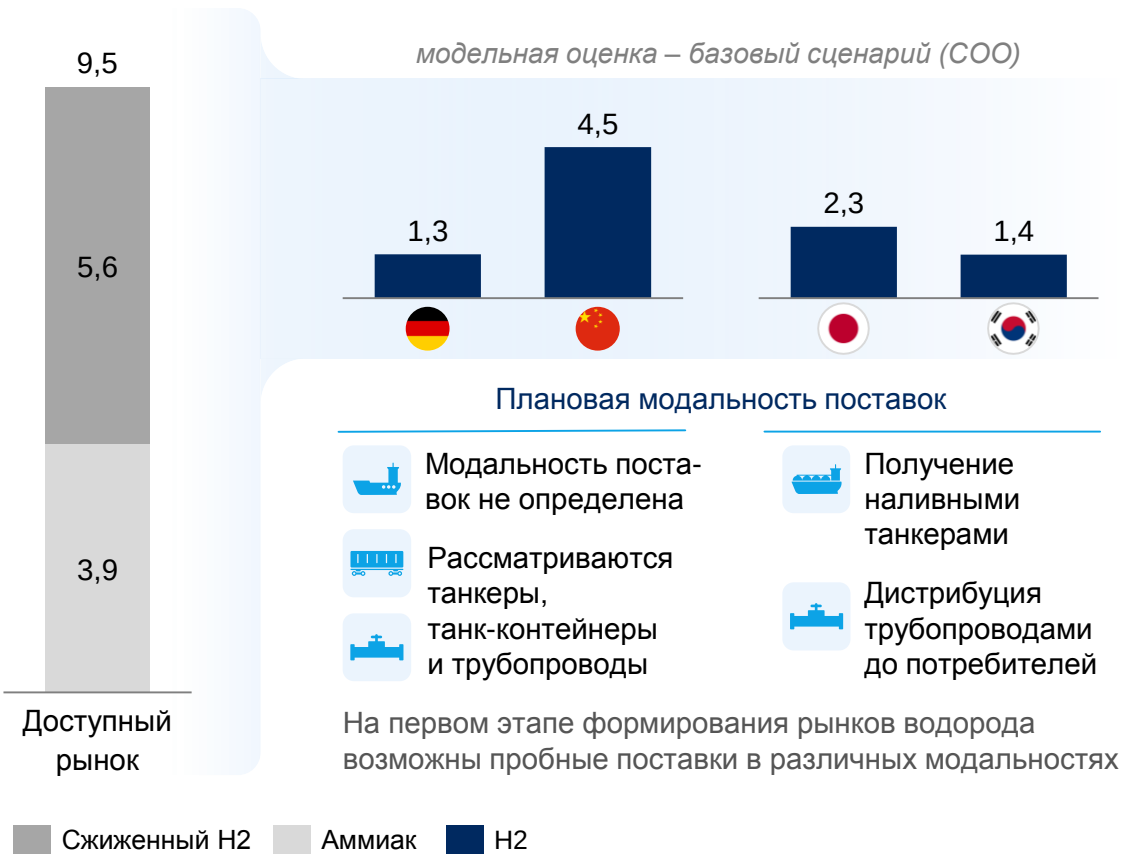
Для выбора целевых рынков экспорта H₂ из РФ применялась система оценки по критериям-фильтрам



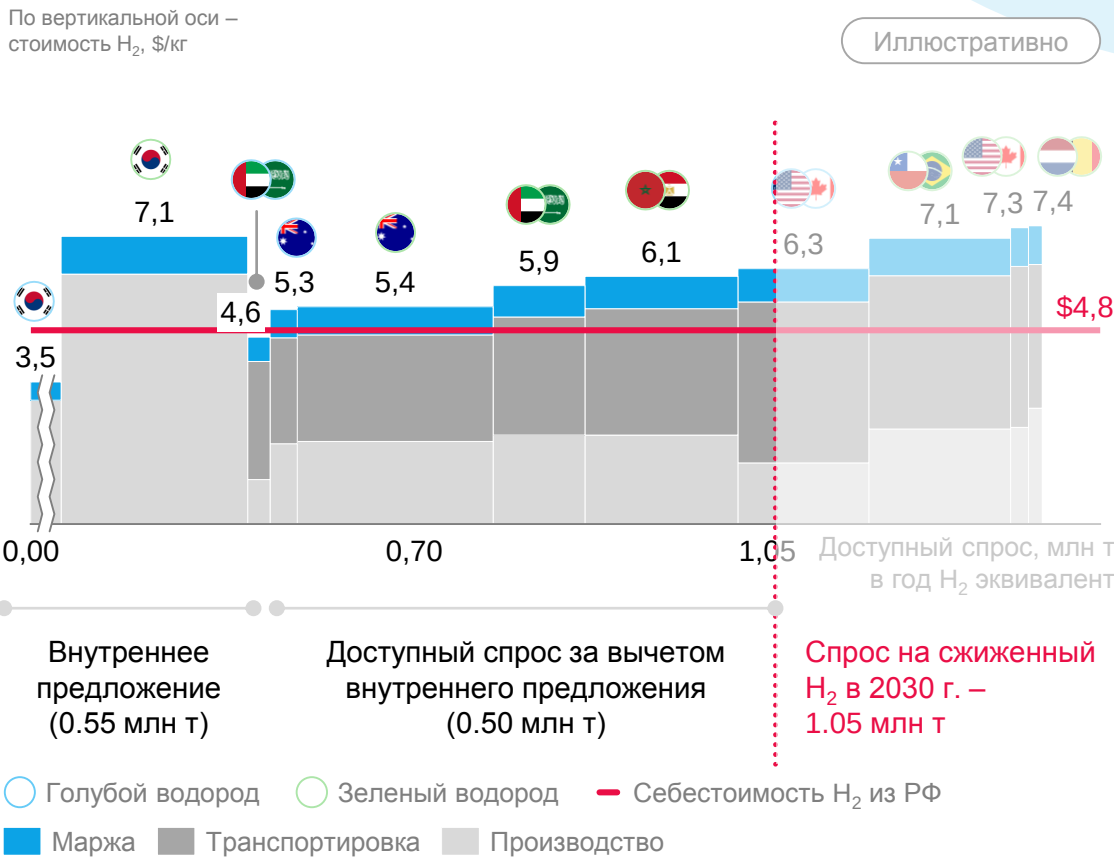
1. Разница между стоимостью доставки водорода из РФ и наименьшей стоимости доставки H₂ на тот же рынок среди других регионов - потенциальных экспортеров: Северная Америка, Саудовская Аравия, Чили, Австралия, прочие 2. Разница между прогнозируемым объемом потребления низкоуглеродного H₂ и суммой мощностей заявленных в стране проектов по производству H₂

Экспортный потенциал представлен двумя сегментами: аммиак и жидкий H₂ (3,9 и 5,6 млн тонн соответственно), отличающимися конкурентным ландшафтом

Структура экспортного потенциала (9.5 млн т)
на целевых рынках в 2030 г. по формам H₂ (млн т H₂-экв.)



Пример: предложение H₂ по основным странам-экспортерам в сегменте сжиженного водорода в Южной Корее (млн т в год)



На горизонте 2030 г. рынки сжиженного H₂ и аммиака отличаются по максимальному возможному объему и маржинальности поставок из РФ

Маржа от продаж сжиженного водорода и энергетического аммиака из РФ в Японию при различных объемах поставок



Производство и продажа энергетического аммиака также могут быть экономически эффективны при наличии предварительных договоренностей с конечным потребителем

РФ может занять ~2,2 из 9,5 млн т доступного рынка водорода

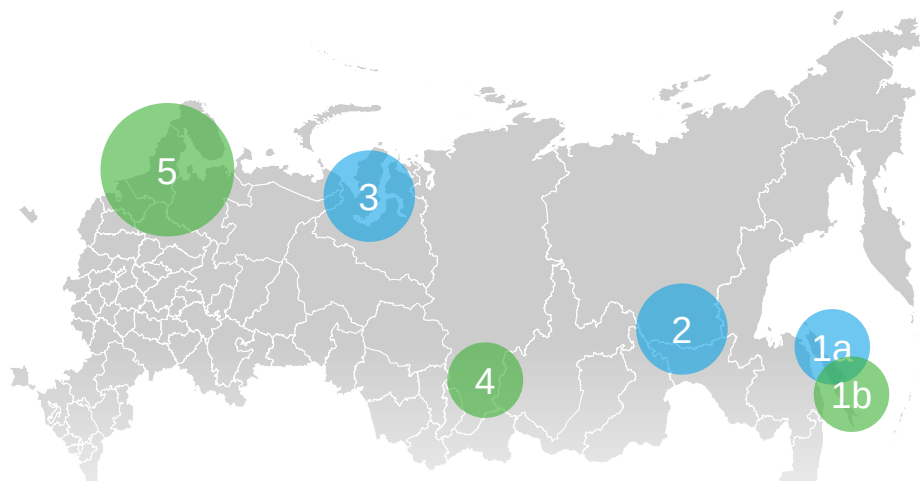
Иллюстративный расчет на 2030 год

	Размер рынка, млн тонн	Доля РФ, %
	1,3	62%
	4,5	26%
	1,4	11%
	2,4	4%
ИТОГО	9,5	2,2 (23%)

Формы поставки (сжиженный H₂ / аммиак) могут отличаться, в зависимости от области применения у потребителя

Целесообразна группировка заявленных инициатив производства H₂ в 5 кластеров, 3 из которых могут быть конкурентноспособны уже сегодня

Кластеры производства низкоуглеродного H₂¹



Инициативы в перспективных кластерах (>100 тыс. т H₂-экв.)

1a	"Сахалин (голубой H ₂)"	Росатом
1b	"Сахалин (зеленый H ₂)"	H4Energy, H2 Чистая Энергетика
2	"Якутия"	"Северо-Восточный Альянс"
3	"Ямал"	НОВАТЭК, "Фонд Энергия"
4	"Восточная Сибирь"	EN+ Group и др.
5	"Северо-Запад"	Росатом, Роснано, H2 Чистая Энергетика

1. На основе существующих инициатив компаний, с учетом плановых мощностей, наличия ресурсной базы, сроков запуска и расположения относительно целевых рынков

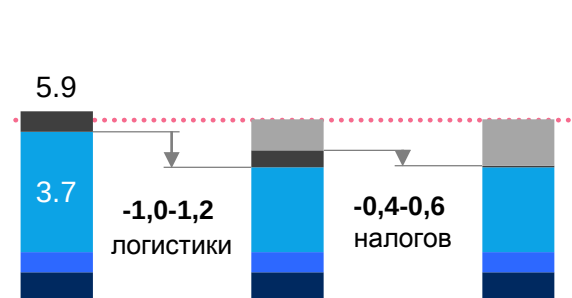
Ключевые показатели кластеров в текущих условиях⁵

Кластер	IRR ² , %	NPV@15%, MUSD ²	Мощность, тыс. тонн	Ожидаемая маржа ³ , \$/кг	CAPEX, млрд \$	Стоимость, \$/кг
1a Сахалин (морем в Японию)	18,8	136	100	1,03	1,6	5,1
2 Якутия (ж/д в Китай)	9,6	-1 688	1 000	0,12	13,7	5,7
3 Ямал (морем в Германию)	7,7	-1 538	650	0,09	9,7	5,5
4 Восточная Сибирь ⁴ (ж/д в Китай)	<0	-1 584	150	-2,07	2,9	7,9
5 Северо- запад ⁴ (морем в Германию)	<0	-1 667	150	-2,03	2,9	7,6
1b Сахалин ⁴ (морем в Южную Корею)	<0	-3 101	150	-4,11	2,9	10,1

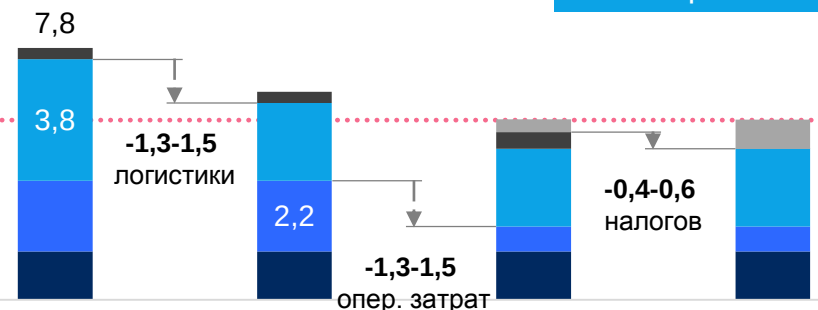
2. Показатели IRR и NPV рассчитаны на период 20 лет; 3. При стоимости капитала 15%; 4. Расчет выполнен по тарифным ставкам на электроэнергию; 5. Доля заемного капитала – 60%

Для улучшения экономики кластеров критично сокращать затраты на логистику и электроэнергию за счет мер господдержки

Структура затрат и прибыли кластера "Ямал"¹, \$/кг



Структура затрат и прибыли кластера "Северо-Запад"², \$/кг



■ Прибыль к распределению ■ Налоги ■ Логистика ■ ОРЕХ производства ■ CAPEX производства

-X.X Сокращение затрат при применении расчетных мер поддержки Цена продажи на целевом рынке (иллюстративно)

Логистика – ключевой элемент затрат для улучшения экономики кластеров голубого H₂

Эффективность логистической инфраструктуры определяется масштабом и является объектом вложения "длинных денег"

Экономика кластеров зеленого H₂, помимо логистики, нуждается в существенной оптимизации затрат на производство

Субсидирование затрат позволит привести стоимость водорода до конкурентноспособного уровня

Специальные режимы налогообложения позволят дополнительно улучшить инвестиционные показатели

1. Анализ структуры затрат и прибыли кластера голубого H₂ на примере "Ямала", \$/кг в 2030 г. (650 тыс. тонн в год, LH₂ морем); 2. Анализ структуры затрат и прибыли кластера зеленого H₂ на примере "Северо-Запада", \$/кг в 2030 г. (150 тыс. тонн в год, LH₂ морем); 3. С нулевой долей использования заемного капитала
Примечание: анализа потенциала снижения стоимости за счет развития технологий приведен далее

Предлагается два сценария организации государственной поддержки



"Расширение действующих мер на H₂"

Примеры возможных мер:

- субсидирование ставки
- снижение норм резервирования
- субсидирование капитальных затрат (напр., на создание инфраструктуры)
- субсидирование операционных затрат
- налоговые льготы



"Компенсирующий контракт"

Компенсация затрат производителям водорода при продаже на целевых рынках ниже себестоимости для достижения целевой экспортной маржинальности

Компенсирующий контракт и субсидирование ставки – оптимальные меры государственной поддержки производства низкоуглеродного H2

Меры гос. поддержки оценивались по эффективности для бизнеса и рискам для государства



Выбор сценария поддержки определяется балансом между эффективностью для бизнеса и выпадающими государству

"Расширение действующих мер на H2"

Расширение применения действующих мер государственной поддержки на отрасль производства низкоуглеродного водорода

выбранные меры для сценария

Примеры мер поддержки	данные на 2030 год		среднегодовые до 2050 г.	
	Эффект на маржу, \$/кг	IRR клас-тера, %	Доп. доходы гос-ва, MUSD	Выпадающие гос-ва, MUSD
Снижение нормы резервирования (при снижении с 8% до 0%)	+0,03	+0,6..0,9%	+3,5	-
Компенсация 50% капитальных затрат на транспортировку водорода	+0,07..0,15	+0..1,3%	+24	-52,8
Использование средств ФНБ (на наливные терминалы)	+0,06..0,18	+0..2,2%	+1,3	-98,0
Субсидирование ставки (при снижении с 7% до 2% в валюте)	+0,2	+3,9..6,3%	+20,4	-251,2
Субсидирование рынка э/энергии ¹ (снижение затрат на 50-70%)	+0,7..3,2	+2,1%	+34,9	-28,4 (системный оператор)
Налоговые режимы: TOP ²	+0,4..0,8	+1,9..10,8%	-	-232,8
Налоговые режимы: СПИК 2.0	+0,4..0,8	+2,9..12,9%	-	-389,1

1. Необходимо уточнение формулировки и механизма меры – напр., прямые контракты на э/энергию
2. Остается на усмотрение государства ввиду высоких выпадающих расходов государства
3. Потенциальные эффекты и выпадающие рассчитаны в текущих ценах и условиях – рекомендуется уточнение условий для стимулирования роста уровня технологической зрелости

Независимо от выбранного сценария поддержки, необходимо предусмотреть неизменность налогового режима на долгосрочном горизонте, установление специальных норм банковского резервирования, а также учесть требования к уровню локализации и технологическому развитию

"Компенсирующий контракт"

Создание нормативной базы для новой меры поддержки производства низкоуглеродного водорода

Мера поддержки		данные на 2030 год		среднегодовые до 2050 г.	
		Эффект на маржу, \$/кг	IRR, %	Доп. доходы гос., MUSD	Выпадающие гос-ва, MUSD
Компенс-й контракт ³		0,5..0,7	+5,5..7,6%	-	-349
		2,8..5,5	+15,1..15,9%	-	-675

"Расширение действующих мер на H2"



Легкость внедрения - внесение незначительных корректировок в действующие НПА

"Компенсирующий контракт"

Простой механизм администрирования (единое окно) и прозрачный расчет объема поддержки на основе сформулированных государством условий



Высокие издержки бизнеса на администрирование заявок и долгий срок получения государственной поддержки

Необходимость формирования нового НПА ввиду отсутствия данной меры сегодня

Эффективность применения сценариев поддержки отличается для кластеров с технологией производства "голубого" и "зеленого" H₂

"Расширение действующих мер на H₂"⁵

Объем государственных инвестиций определен частью стоимостью объектов инфраструктуры ~2,3 млрд \$

	IRR ¹ , %	Ожидаемая маржа ² , \$/кг	CAPEX оператора, млрд \$*
1a Сахалин (морем в Японию)	>40%	1,47 ⁴	1,4
2 Якутия (ж/д в Китай)	24,4	0,42	13,0
3 Ямал (морем в Германию)	23,4	0,49	9,0
4 Восточная Сибирь ⁷ (ж/д в Китай)	-6,5	-0,79	2,7
5 Северо-Запад ⁷ (морем в Германию)	-3,7	-0,72	2,7
16 Сахалин (морем в Южную Корею)	10,8	-0,40 ⁴	2,7

Возможно сокращение поддержки при достижения кластерами целевых значений IRR
* CAPEX оператора включает произв-во, конверсию и 50% транспорта

"Компенсирующий контракт"⁶

Объем средней гос. поддержки за 10 лет определен для достижения целевых значений IRR (~15%) ~2,6 млрд \$/год: ~0,9 \$/кг для кластеров голубого H₂, ~1,7 \$/кг для зеленого H₂

	IRR ¹ , %	Ожидаемая маржа ² , \$/кг	CAPEX оператора, млрд \$*
	18,8	1,03 ⁴	1,6
	15,1	0,57	13,7
	15,3	0,74	9,8
	15,2	0,73	2,9
	15,9	0,97	2,9
	15,1	1,34 ⁴	2,9

Сохранение достигнутых показателей кластерами зависит от сокращения затрат при масштабировании производств
* CAPEX оператора включает пр-во, терминалы, конверсию и транспорт

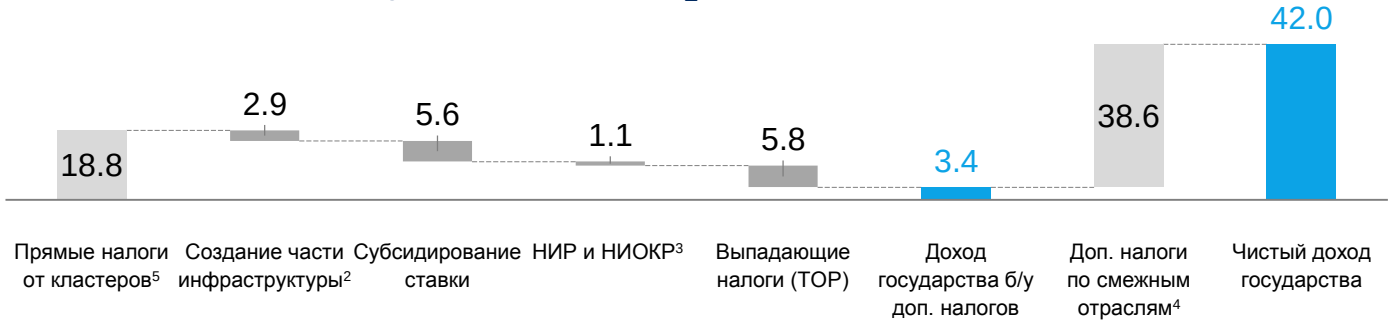
1. Показатели IRR и NPV рассчитаны на период 20 лет 2. С учетом аннуализированного CAPEX при стоимости капитала 15% 4. Частично учтен эффект синергии инфраструктуры 5. При субсидировании CAPEX на терминалы в формате ГЧП, компенсации 50% затрат на транспорт, сокращении затрат на э/энергию и налоговых льготах (ТОР) 6. Выплата рассчитана исходя из целевой маржинальности 2030 г., определяемой расчетным образом при фиксировании условной рыночной цены для достижения кластером IRR=15%. Выплата осуществляется в течение 10 лет с момента запуска производства при условии наличия отрицательной разницы между фактической и целевой экспортной маржинальностью; 7. Существует риск отсутствия инвестора

Доходы государства от создания производственных кластеров превысят требуемые затраты на \$34-42 млрд, в зависимости от выбранного сценария

Прогноз доходов и расходов государства
накопленным итогом до 2050 г., млрд долл. США

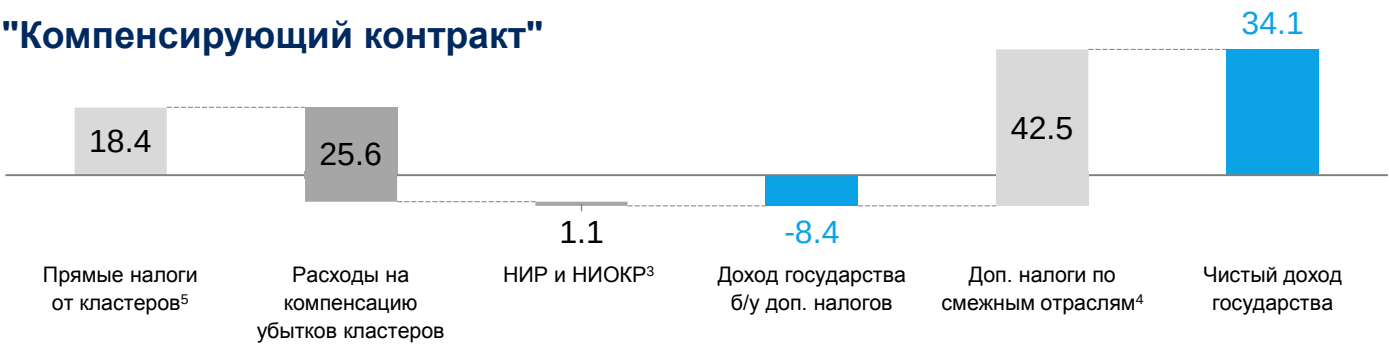
Преимущества и риски
сценариев

"Расширение действующих мер на H₂"¹



- + Обеспечение гарантий для бизнеса и улучшение инвестиционных показателей
- Наличие обязательств государства по инвестициям в строительство инфраструктуры, независимо от фактической динамики формирования рынка H₂
- Риски изменения структуры доходов в секторе генерации

"Компенсирующий контракт"



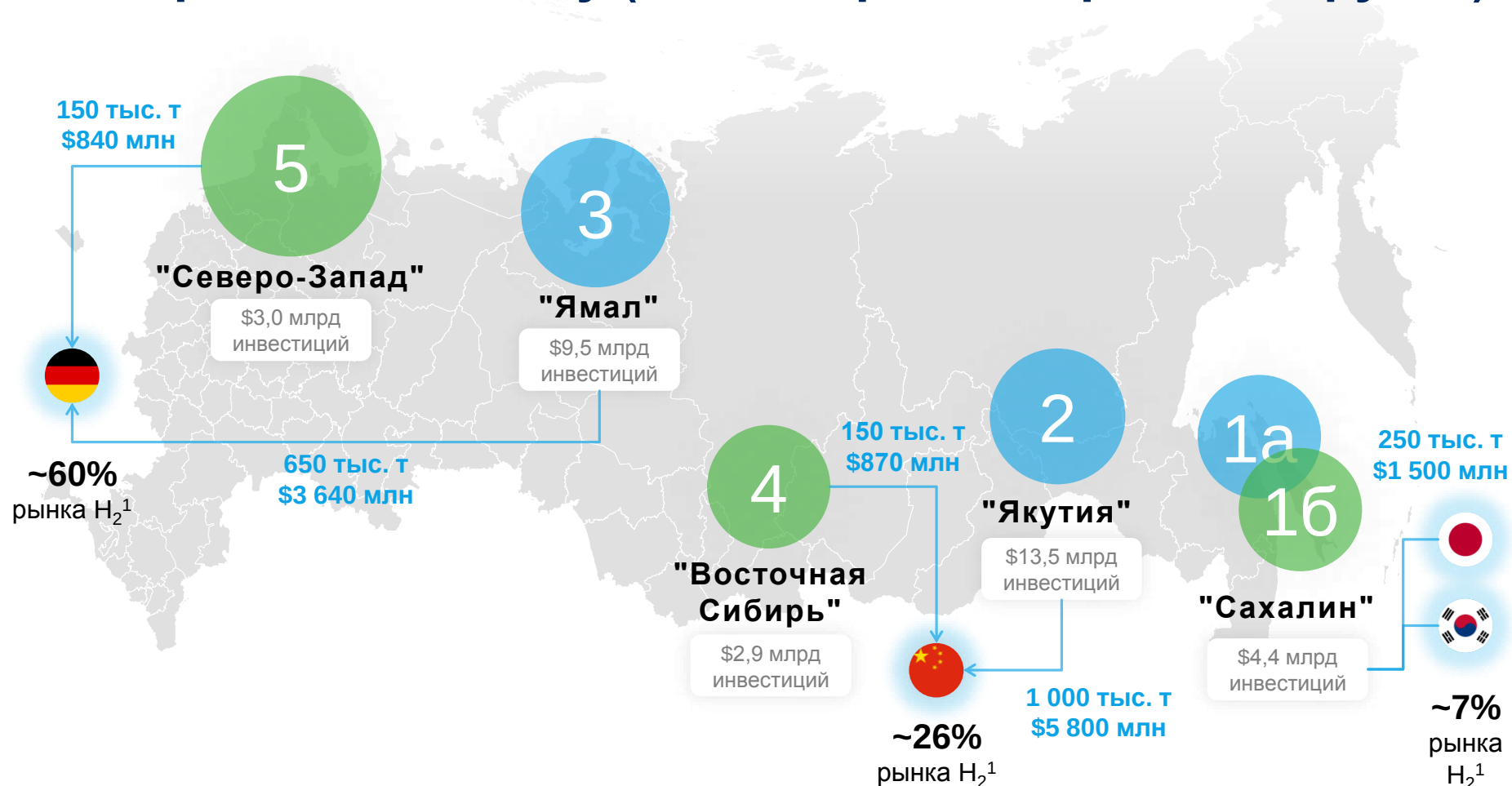
- + Возможность прекращения инвестиций в поддержку строительства в случае замедления развития рынка водорода и неконкурентоспособности проектов
- Отсутствие дополнительных источников доходов государства

■ Доходы государства ■ Расходы государства

1. В реальных значениях без учета кластеров "Восточная Сибирь" и "Северо-Запад"; 2. Включает стр-во терминалов и компенсацию 50% CAPEX на транспорт; 3. Включая развитие кадрового потенциала. Подробная информация об инвестициях в НИР и НИОКР представлена далее; 4. Доп. прямые и косвенные налоги по всей экономике за счёт межотраслевых связей; 5. Налоги на прибыль и имущество, НДС, НДФЛ, страх. взносы

Примечание: по завершении работ по направлению "CCUS" будет выполнена синхронизация выводов

Создание и развитие производственных кластеров потребует ~\$33,4 млрд совокупных инвестиций и позволит экспортировать 2,2 млн тонн водорода в 2030 году (\$12,7 млрд экспортной выручки)



Программа развития низкоуглеродного водорода

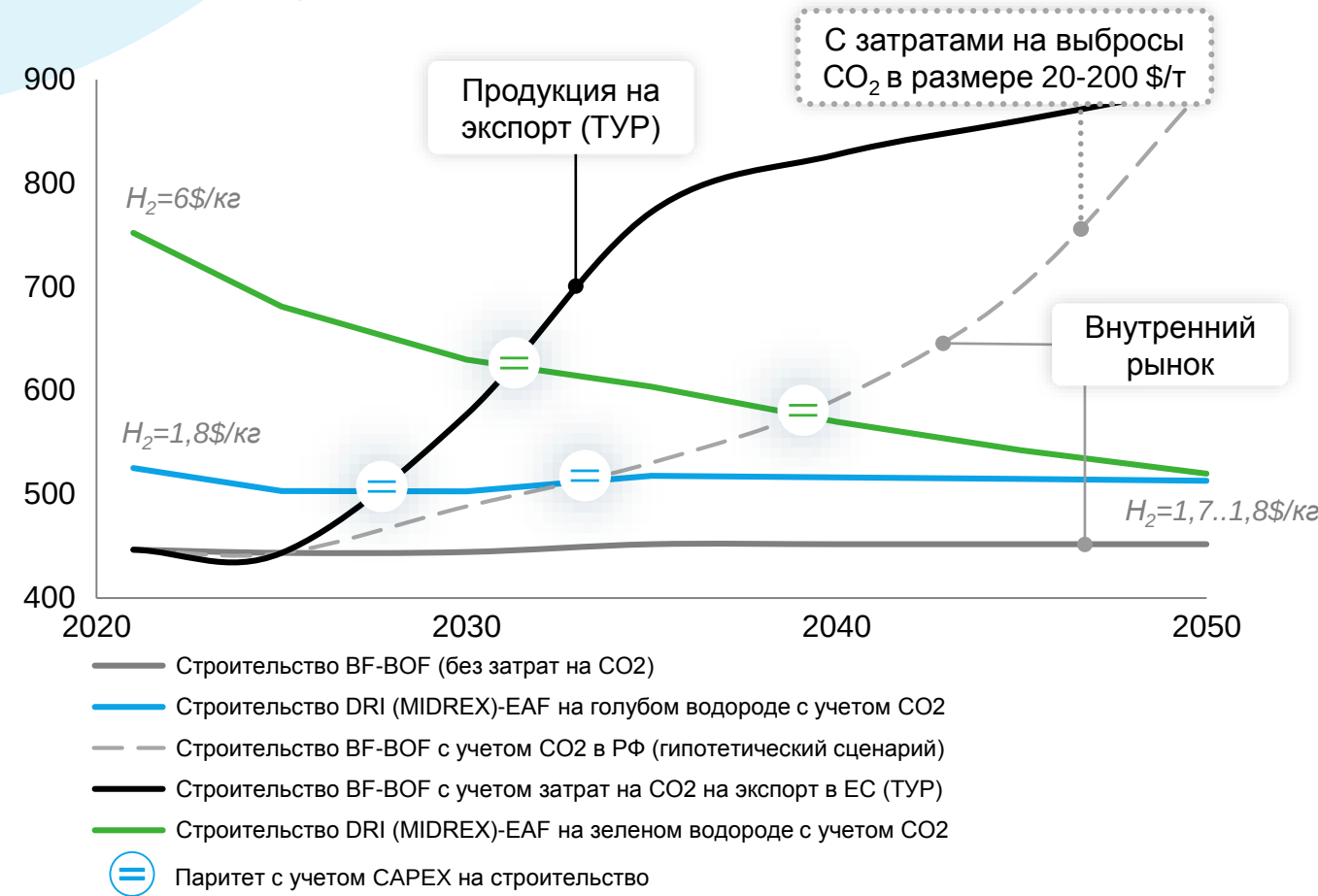
2,2 млн тонн экспорта в 2030 году

\$12,7 млрд в 2030 году экспортной выручки

\$33,4 млрд инвестиций в производство и инфраструктуру до 2030 года

Внутреннее потребление H₂ обусловлено наличием углеродного регулирования на экспортных рынках и внутри РФ

Сравнение экономической эффективности строительства доменной печи и установки DRI на водороде, \$/т стали¹



1. Стоимость H₂ рассчитана при допущении о расположении мощностей производства H₂ на территории основного производства

СЦЕНАРИЙ 1

Отсутствие затрат на выбросы CO₂ внутри РФ

- 0,2 млн т** К 2030 г. В экспортно-ориентированных отраслях (например, металлургии, химической промышленности) переход будет обоснован введением TYP в ЕС – паритет с H₂ до 2030 г.
- 2,8 млн т** К 2050 г. Северсталь и Металлоинвест уже заявили о частичном переходе на H₂. В транспортном секторе ожидается незначительный спрос (см. след. слайд)

СЦЕНАРИЙ 2 (гипотетический)

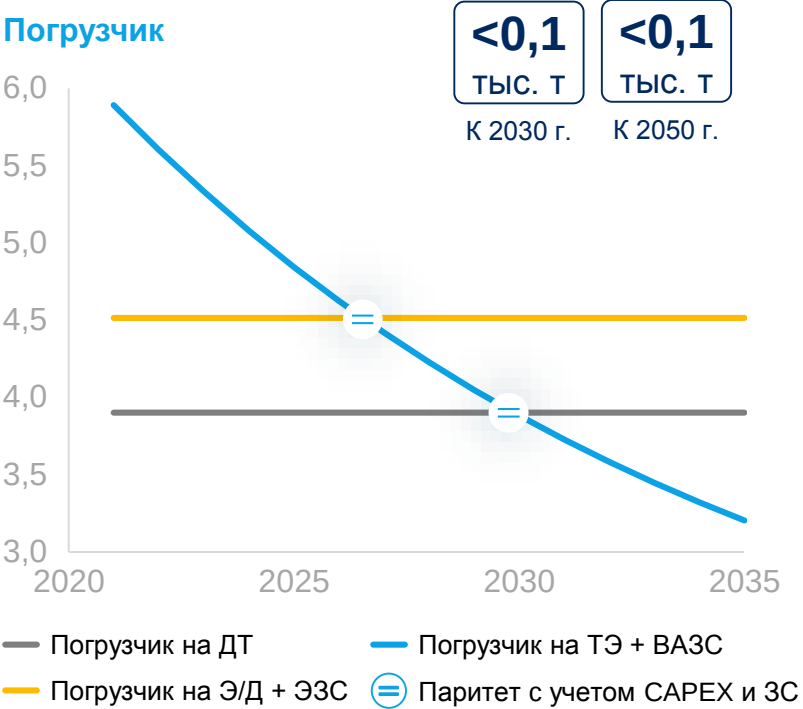
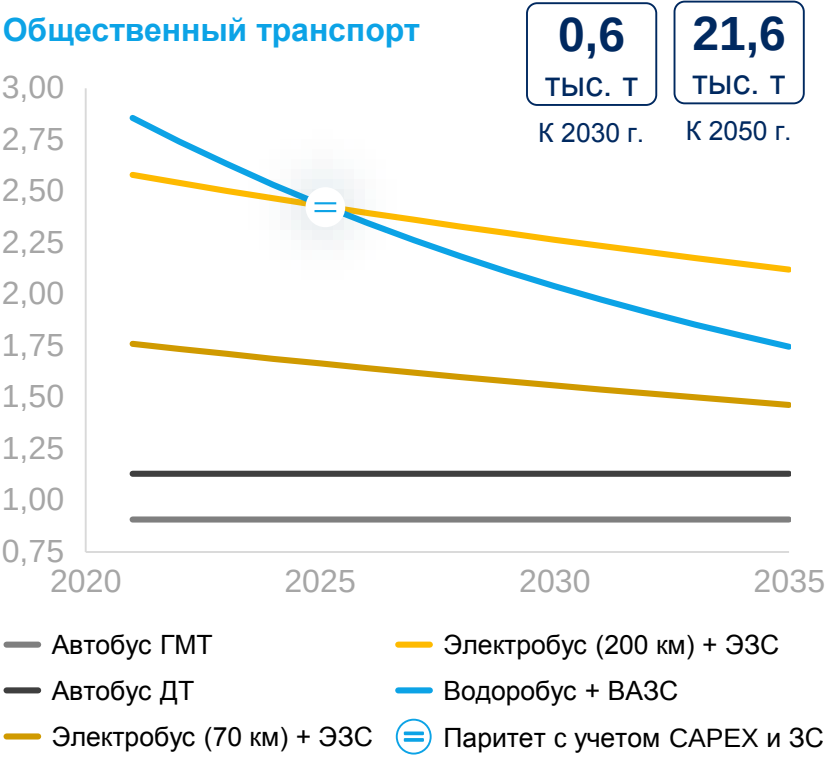
Увеличение затрат на выбросы CO₂ от 20 \$/т в 2030 г. (по аналогии с Сахалином) до 200 \$/т в 2050 г. (по аналогии с ЕС)

- 0,2 млн т** К 2030 г. При увеличении затрат на углеродные выбросы внутри РФ паритет в металлургии возникнет до 2040 г., что обусловит частичное проникновение "водородной" стали на рынке РФ
- 7,3 млн т** К 2050 г. Предполагается полное замещение "серого" H₂ в секторе производства удобрений. В транспортном секторе не ожидается увеличения спроса относительно Сценария 1

XX Прогнозное потребление H₂ в металлургии и химической промышленности в 2030 и 2050 году

В сегменте общественного транспорта и погрузчиков водородный транспорт достигает экономического паритета с электрическим в ~2025 г., при этом погрузчики на ТЭ достигнут паритета с дизельными в 2030 г.

Сравнение динамики ТСО транспорта на различных типах энергоносителей в РФ¹, \$/км



Недостаточность экономических предпосылок не ограничивает возможность запуска пилотных проектов

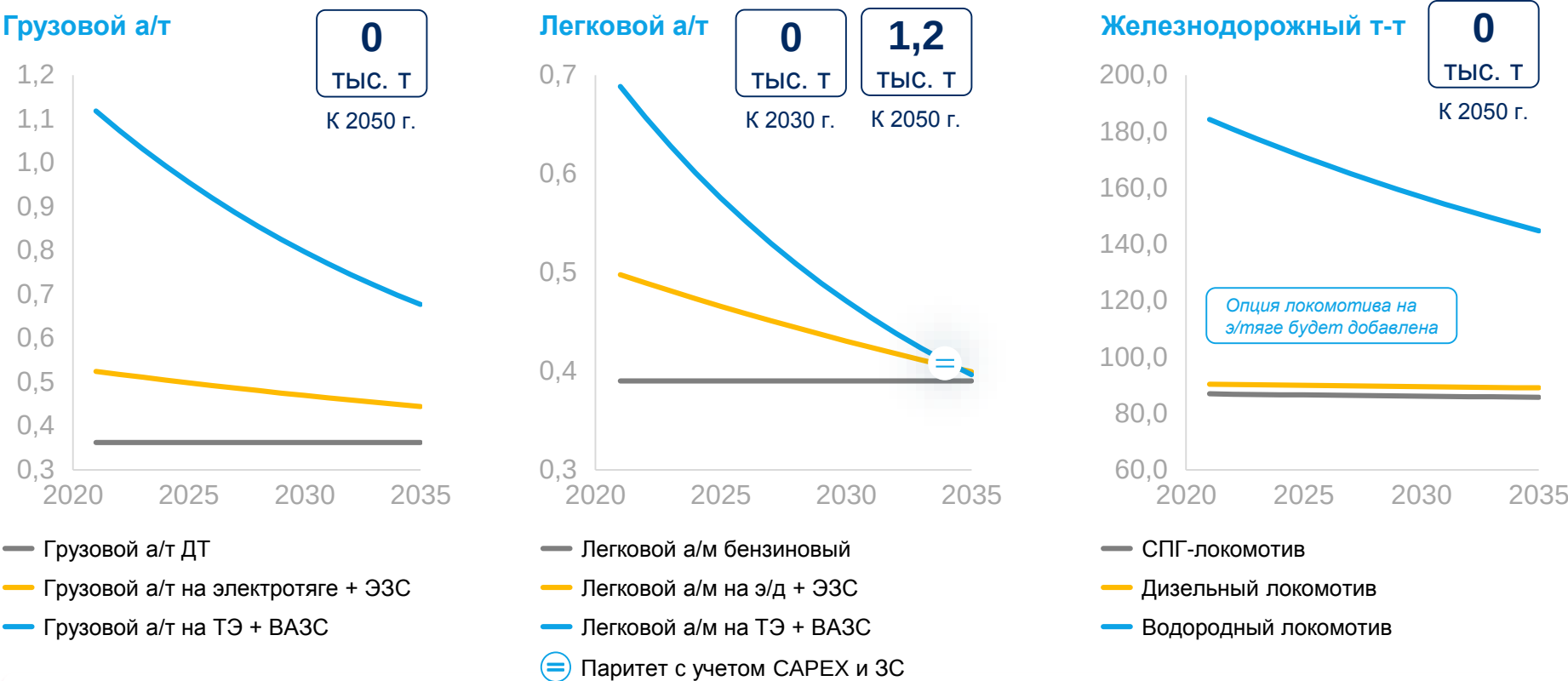
Достижение паритета требует применения мер поддержки в транспортном секторе

XX Прогнозное потребление H₂

! Учет полного CAPEX на инфраструктуру (хранение, дистрибуция до заправочных станций) дополнительно увеличит сроки достижения паритета

В сегментах легкового и грузового автотранспорта, а также ж/д транспорта водородный транспорт не достигает экономического паритета с текущими технологиями до 2030 г.

Сравнение динамики ТСО транспорта на различных типах энергоносителей в РФ¹, \$/км



Отсутствие экономических предпосылок не ограничивает возможность запуска пилотных проектов

Достижение паритета требует применения мер поддержки в транспортном секторе

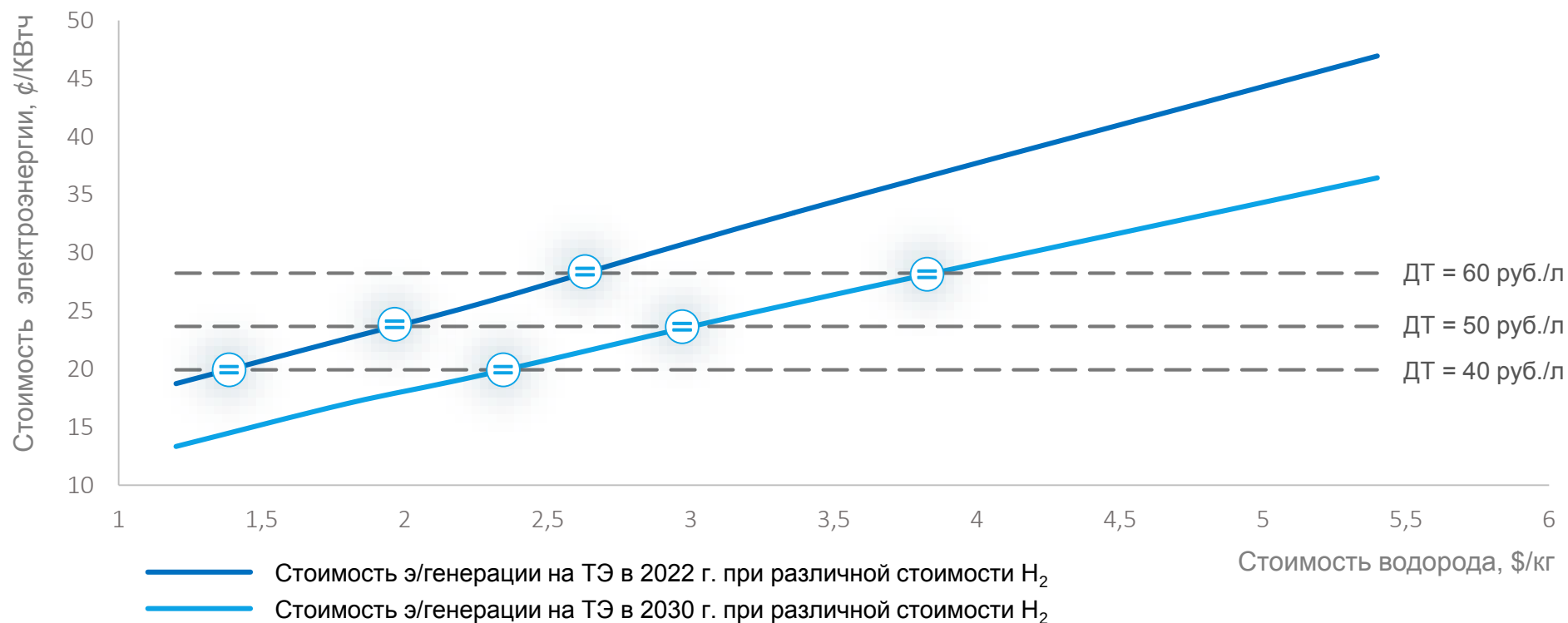
XX Прогнозное потребление H₂

! Учет полного CAPEX на инфраструктуру (хранение, дистрибуция до заправочных станций) дополнительно увеличит сроки достижения паритета

Э/генерация на топливных элементах промышленной мощности имеет экономические предпосылки для замещения дизель-генерации при энергоснабжении изолированных территорий с высокой стоимостью ДТ

Сравнение стоимости э/энергии на различных типах энергоносителей (удаленная генерация) в РФ

Э/генерация на удаленных и изолированных территориях



Повышение эффективности и сокращение стоимости топливных элементов к 2030 г. позволит использовать более дорогой водород при сохранении стоимости э/энергии

Реализация комплексной программы развития отрасли низкоуглеродного водорода...

Производство низкоуглеродного водорода 2030, млн тонн	~2,0..2,5
Внутреннее потребление низкоуглеродного водорода 2030, млн тонн	~0,2

Производственные кластеры

Требуемые инвестиции в производственные кластеры до 2030, млрд \$		~33,4
опции	Из них государственные до 2030, млрд \$ ¹	~2,9
	Или среднегодовые выпадающие доходы государства до 2050, млрд \$	~1,0
Среднегодовые налоговые поступления (вкл. косвенные) до 2050, млрд \$		~2,3..2,4
Среднегодовая прибыль инвесторов кластеров до 2050, млрд \$		~0,5

Технологии

Инвестиции в НИР и НИОКР, млрд \$	~1,1
Целевые значений TRL приоритетных технологий	8-9
Рост числа специалистов водородной отрасли, тыс. чел.	~5

...позволит Российской Федерации к 2030 году:



Сохранить статус глобальной энерго-ресурсной державы



Наработать собственные компетенции в водородной отрасли



Развить технологический потенциал страны и обеспечить выход на рынки оборудования, в том числе ЕАЭС

1. в зависимости от выбранного сценария



Развитие технологий – ключевой фактор снижения стоимости российского водорода

Целевые ориентиры на 2030 г:

- 1 **\$2,0 за 1 кг** – стоимость производства¹
- 2 **\$1,7 за 1 кг (на 1000 км)** – стоимость транспортировки²

За счет совершенствования технологий:

- Электролиза
- Разложения метана
- Криогенных технологий
- Технологий жидких органических носителей
- Разложения аммиака

Развитие технологий – источник для нового высокотехнологичного экспорта



Эффекты:

- **Технологическая независимость** отрасли водородной энергетики и отсутствие рисков ограничения доступа к необходимым технологиям
- **Повышение конкурентоспособности** российского предложения на рынке низкоуглеродного водорода
- **До \$0,6–0,8 млрд в год** - налоговые поступления от технологических компаний, обеспечивающих оборудованием российских поставщиков водорода
- **До \$3,5 млрд в год** - налоговые поступления от технологических компаний, поставляющих оборудование на экспорт, если Россия займет 10% рынка технологий водородной энергетики, в том числе в странах ЕАЭС

1. Пр-во водорода как из природного газа с улавливанием и захоронением CO₂, так и электролизом воды
2. Стоимость включает конверсию водорода в перевозимую форму и его транспортировку в этой форме

Для освоения в России целесообразно выбрать 23 приоритетные водородные технологии. По большинству таких технологий в России TRL и MRL 6 и ниже

Производство		Хранение и транспортировка		Использование
9 7 1. Паровой риформинг метана	9 6 11.Химическая абсорбция CO ₂ алканолaminaми	9 7 21.Компримирование H ₂ (CGH ₂)		9 9 35.Щелочные топливные элементы (ЩТЭ)
9 5 2. Автотермический риформинг метана	5 3 12.Адсорбционное разделение	9 6 22.Сжижение H ₂ (LH ₂)	9 7 26.Емкости для перевозки LH ₂	9 7 36.ТЭ с протонообменной мембраной (ПОМТЭ)
6 4 3. Углекислотный риформинг метана	5 3 13.Мембранное разделение	7 5 23. Гидрирование\дегидрирование ЖОН (LОНС)	9 9 27.Емкости для LОНС	7 6 37.Фосфорнокислый ТЭ (ФКТЭ)
7 6 4. Разложение метана (каталитическое)	8 3 14.Криогенное разделение	5 6 24.Аммиачные технологии (разложение аммиака)	9 9 28.Емкости для NH ₃	9 6 38.Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ)
7 6 5. Разложение метана (плазмохимическое)	9 7 15.Щелочной электролизер	9 7 25.Метанольные технологии для хранения H ₂	9 9 29.Емкости для метанола	8 6 39.ТЭ на расплавленном карбонате (РКТЭ)
9 6 6. Газификация угля	9 7 16.ПОМ-электролизер	7 7 30.Металлогидридное хранение H ₂		7 5 40.Метанольные ТЭ
4 3 7. Газификация раст. сырья и ТБО	5 3 17.АОМ-электролизер	5 4 31.Неорганические носители водорода		5 5 41.Аммиачные ТЭ
6 3 8. Биопереработка раст. сырья и ТБО	7 3 18.ТО-электролизер	5 3 32.Геологические хранилища		6 4 42.ПГУ на метан-водородной смеси
4 3 9. Термохимические циклы	5 3 19.РК-электролизер	9 9 33.Сосуды низкого давления	9 5 34.Водородные трубопроводы	7 6 43.Газовые горелки и котлы на метан-водородной смеси
4 3 10.Термоэлектрохимические циклы	4 3 20.Фотолитическое разложение воды			9 7 44.Аммиачные технологии (синтез аммиака)
				7 3 45.Получение горячегребкитированного железа (ГБЖ)
				7 4 46.Метанольные технологии (синтезы на основе CO ₂)

Шкала уровней технологической готовности (TRL)

TRL<4 TRL 4 TRL 5 TRL 6 TRL 7 TRL 8 TRL 9

TRL в мире в 2022 г.

1 0 Наименование технологии

TRL в России в 2022 г.

★ Технологии улавливания CO₂

■ Приоритетная технология

Критерии отбора приоритетных технологий

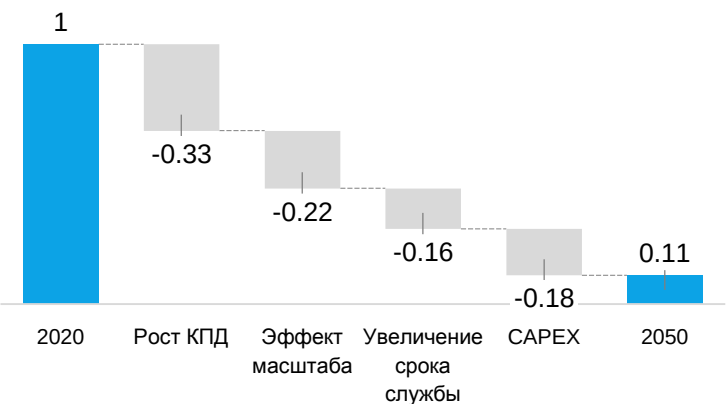
- Востребованность технологии в России до 2030 года
- Востребованность технологии в России до 2050 года
- Наличие потенциала технологического экспорта

Наибольший потенциал снижения стоимости имеют технологии электролизеров и топливных элементов

Технологии с существенным потенциалом снижения стоимости (>40% к 2050 году)

- 1. ПОМ-электролизер
- 2. ТО-электролизер
- 3. Металлогидридное хранение H_2
- 4. ТЭ с протонообменной мембраной (ПОМТЭ)
- 5. Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ)
- 6. Метанольные технологии (синтезы на основе CO_2) с электролизным водородом

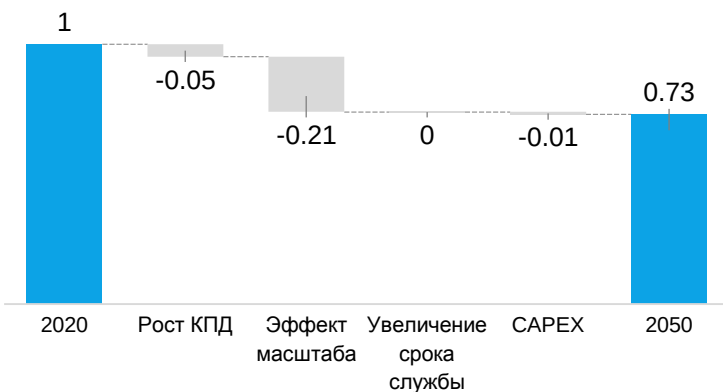
Пример: Прогноз снижения стоимости владения твердо-полимерным электролизером, %



Технологии с умеренным потенциалом снижения стоимости (15–40% к 2050 году)

- 1. Автотермический риформинг метана
- 2. Плазмохимическое разложение метана
- 3. Каталитическое разложение метана
- 4. Абсорбция CO_2 алканаминами
- 5. Щелочной электролизер
- 6. Сжижение водорода, емкости для жидкого водорода
- 7. Гидрирование/дегидрирование ЖОН
- 8. Аммиачные технологии (разложение аммиака)
- 9. Получение горячегерекитированного железа (H_2 -DRI)

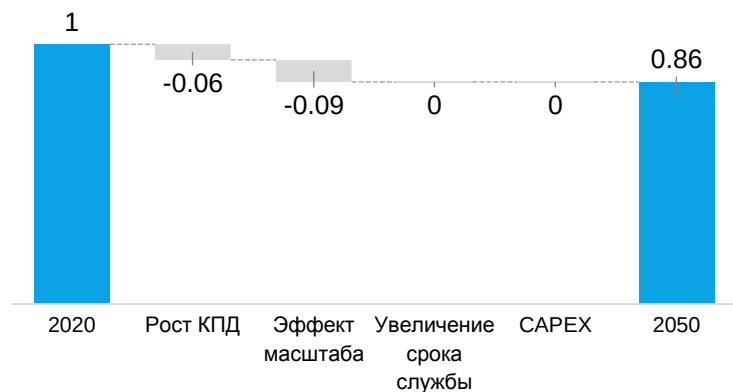
Пример: Прогноз снижения стоимости владения установкой плазмохимического разложения метана, %



Технологии с низким потенциалом снижения стоимости (<15% к 2050 году)

- 1. Паровой риформинг метана
- 2. Жидкие органические носители H_2 (реконверсия)
- 3. Аммиачные технологии (получение аммиака)
- 4. Сосуды низкого давления
- 5. Компримирование H_2
- 6. Получение горячегерекитированного железа (H_2 -BF)
- 7. Метанольные технологии (синтезы на основе CO_2) на базе природного газа

Пример: Прогноз снижения стоимости владения установкой парового риформинга метана, %



1. Рост КПД связан с оптимизацией технологической линии или внедрением новых более эффективных материалов или узлов 2. Эффект масштаба связан с уменьшением удельных затрат при увеличении единичной установленной мощности системы. В основном это связано с масштабированием реакторов, блоков обработки сырья и получаемых продуктов 3. Увеличение срока службы возможно за счёт применения более долговечных материалов, например новых марок сталей, позволяющих увеличить интервал между технологическими паузами 4. Снижение CAPEX, не связанное с эффектом масштаба, может быть обусловлено, например, заменой платины и других драгоценных металлов на их более дешевые аналоги

Определено 12 групп оборудования и материалов, по которым российским организациям необходимо преодолеть технологические барьеры

Приобретение оборудования

Мембраны для очистки водорода		Технологии и адсорбенты для короткоцикловой адсорбции	
Linde, Evonik, Generon, Air Products	Грасис, Криогенмаш, Владипор, РМ Нанотех	Linde, Mahler AG, AirLiquide	Росатом, Грасис
Реакторы риформинга		Катализаторы риформинга, гидрирования/дегидрирования	
Haldor Topsoe, Honeywell, Flammatec	ИНХС	Haldor Topsoe, Clariant, Johnson Matthey	ИНХС РАН, ИОХ РАН, ИК СО РАН

Российские разработчики/ производители
 Иностранные партнеры/ поставщики

Собственная разработка

Катализаторы и реакторы пиролиза метана		Ионообменные мембраны	
Hazer, BASF, Karlsruhe Institute of Technology	ИНХС РАН, ИОХ РАН, ИК СО РАН	Партнеры не требуются	Инэнерджи, Роснано, ИПХФ РАН, Новочеркасский политех
Материалы для диафрагм		Электроды	
Партнеры не требуются	МЭИ, НИЦ «КИ», НПО Центротех	Партнеры не требуются	НИАП-катализатор, Драгцветмет
Танк-контейнеры для перевозки жидкого водорода			
Партнеры не требуются		Криогенмаш	

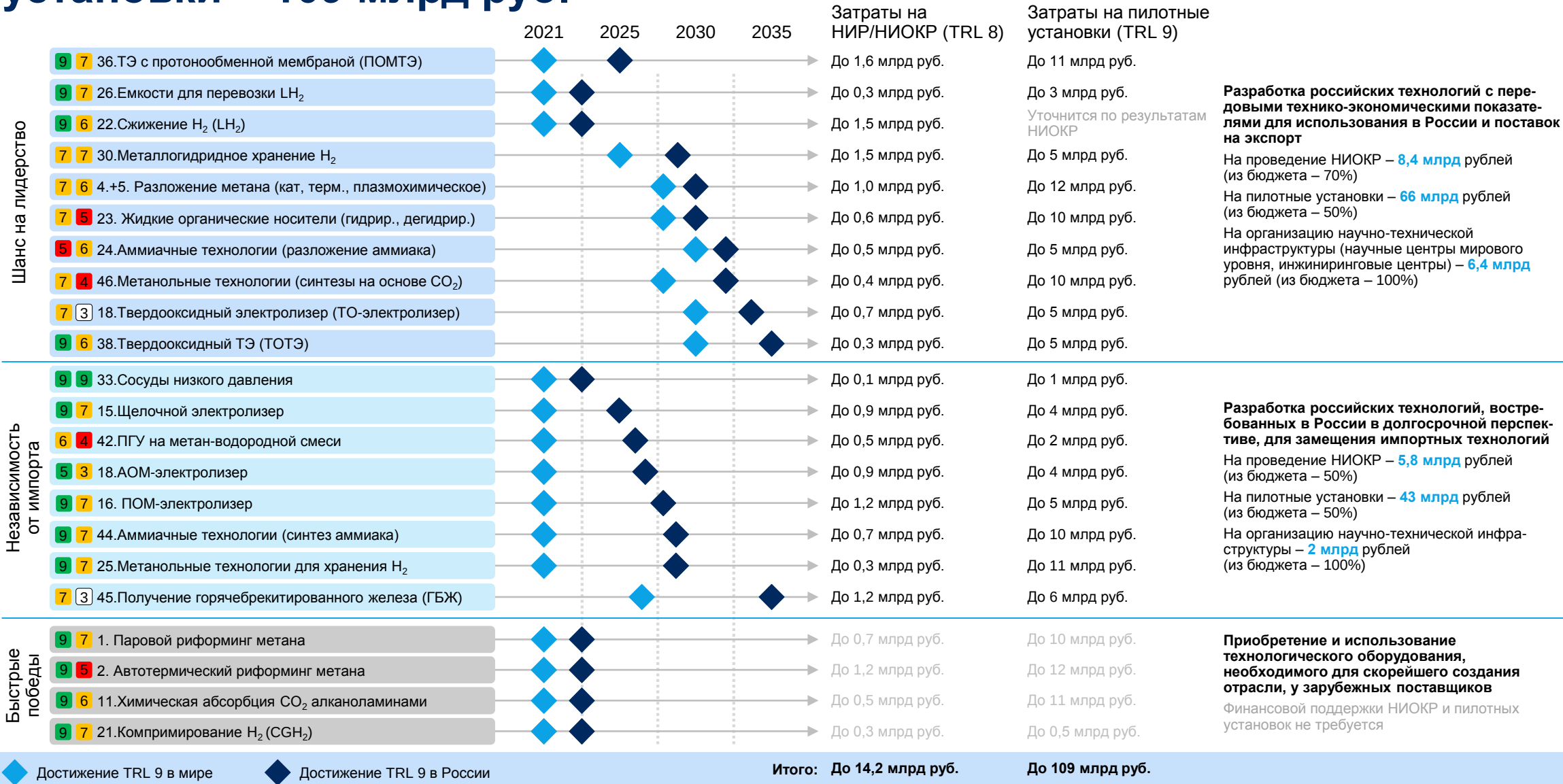
Локализация производства

Оборудование для компримирования		Материалы и реагенты	
Maximator	ООО «Компрессор»	Linde, Lummus Global, VDM Metals, BASF, Aker Solutions	ЦНИИ КМ «Прометей», Роснано – Синтез, ООО «ИНЭСИС»

Совместная разработка

Плазмогенераторы		Биполярные пластины, газодиффузионные слои	
Monolith Materials	Росатом, Центр им. Келдыша, Томский политех	Freudenbreg, Sigracet, Cummins	Инэнерджи, Роснано ПХФ РАН

На НИР, ОКР и инфраструктуру требуется 22,6 млрд руб., на пилотные установки – 109 млрд руб.



Для поддержки развития водородных технологий предлагается создать 5 национальных лабораторий, запустить КНТП и поддержать деятельность инжиниринговых центров

TRL 4
MRL 4

Создание национальных лабораторий и реализация КНТП/ФНТП

Бюджетное финансирование: 16,5 млрд рублей
Внебюджетное финансирование: 4,7 млрд рублей



TRL 7
MRL 7

Создание инжиниринговых центров и разработка пилотных установок

Бюджетное финансирование: 51,5 млрд рублей
Внебюджетное финансирование: 52,0 млрд рублей



TRL 9
MRL 10

Национальные лаборатории/ индустриальные лидеры «Электрохимические технологии и новые материалы»

(ИПХФ, ГНКЦ, ИФТТ, МЭИ, ЮРГТУ, Курчатовский институт)

36.ТЭ с протонообменной мембраной (ПОМТЭ)

18.Твердооксидный электролизер (ТО-электролизер)

38.Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ)

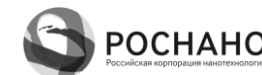
30.Металлогидридное хранение H₂

15.Щелочной электролизер

16.ПОМ-электролизер

17.АОМ-электролизер

33.Сосуды низкого давления



Национальные лаборатории/ индустриальные лидеры «Технологии метана и углеродных материалов» (ИНХС, ИК СО РАН, Томский политех)

4. Разложение метана (каталитическое)

5. Разложение метана (плазмохимическое)

Национальные лаборатории/ индустриальные лидеры «Технологии органических соединений» (ИНХС, ИК СО РАН, ИОХ)

23. Жидкие органические носители (гидрир., дегидрир.)

46.Метанольные технологии (синтезы на основе CO₂)

25.Метанольные технологии для хранения H₂

Национальные лаборатории/ индустриальные лидеры «Технологии аммиака» (ГИАП, ИНХС)

24.Аммиачные технологии (разложение аммиака)

44.Аммиачные технологии (синтез аммиака)

Национальные лаборатории/ индустриальные лидеры «Криогенные технологии» (МГТУ им. Баумана, НИИТМ)

26.Емкости для перевозки LH₂

22.Сжижение H₂ (LH₂)

МИСИС, НИИ Стали

45.Получение горячегеритированного железа (ГБЖ)

ЦИАМ, Самарский университет

42.ПГУ на метан-водородной смеси



- «Шанс на лидерство» - «Независимость от импорта»

Ключевыми направлениями поддержки является стимулирование научно-технической деятельности, ввод в действие стандартов и подготовка кадров

Государственная поддержка НИР, НИОКР и научно-технической инфраструктуры – **71,7 млрд рублей**

Разработка и введение в действие более **100 документов** по стандартизации **за три года** – **1,5 млрд рублей**

Наращивание подготовки кадров с 200 до **5400 специалистов в год** к 2030 г. – **15,4 млрд рублей**

- Запуск КНТП и ФНТП по теме перспективных водородных технологий для финансирования ранних стадий НИОКР
- Со-финансирование НИОКР поздних стадий и создания пилотных установок. Реализация механизмов государственно-частного партнерства
- Формирование и развитие научно-технической инфраструктуры: инжиниринговых центров, научных центров мирового уровня, полигонов
- Поддержка защиты РИД (получения международных патентов)
- Поддержка продвижения технологий на экспорт по линии РЭЦ, НТИ и госкорпораций

- Официальный перевод 54 стандартов ИСО и МЭК
- Разработка 15 новых и актуализированных национальных стандартов
- Участие российских представителей в работе международных комитетов по стандартизации
- Заключение межправсоглашений о применении зарубежных национальных и региональных стандартов на территории РФ и создании национальной базы стандартизации

- Разработка и актуализация более 100 профессиональных стандартов
- Разработка новых профилей и модернизация более 80 образовательных программ по 26 специальностям высшего профессионального образования
- Разработка и реализация программ переподготовки более 540 преподавателей высшего и среднего профессионального образования
- Внедрение новых образовательных программ высшего и среднего профессионального образования в области водородных технологий в 19 университетах

Специальности для подготовки кадров

- | | |
|--|--|
| Химия и химические технологии (электрохимия, высокомолек. соединения, альтерн. энергетика) | Пожарная безопасность |
| Нефтегазовое дело | Наземные транспортно-технологические средства (перспект. транспортные средства) |
| Технологии композитных материалов, нанотех. и наноматериалы | Подвижной состав железных дорог |
| Металлургия | Ядерная энергетика и теплофизика (водородная энергетика) |
| Авиационная и ракетно-космическая техника | Вакуумная и компрессорная техника |
| Кораблестроение и морская техника (энергоуст. на ядерном и водородном топливе) | Электроэнергетика и электротехника, электротранспорт (нетрадиц. и возобн. источники энергии) |
| Управление в технических системах, стандартизация и метрология | Плазменные и энергетические установки и др. |

Реализация программы приведет к увеличению ВВП в среднем на 450 – 650 млрд руб. в год

	За период 2025 - 2030	За период 2031 - 2040	За период 2041 - 2050
Среднегодовое изменение темпов роста ВВП*, п.п.			
При развитии только экспорта водорода	+0,27%	0,22%	+0,26%
При развитии экспорта и внутреннего рынка водорода	+0,28%	+0,25..0,26%	+0,35..0,47%
Среднегодовой прирост налоговых поступлений, млрд руб.			
При развитии только экспорта водорода	+125,3	+123,4	+143,7
При развитии экспорта и внутреннего рынка водорода	+133,2	+ 138..144,2	+ 225,6..305
Среднегодовой прирост спроса на трудовые ресурсы, тыс. чел.			
При развитии только экспорта водорода	+25	+2	+6,4
При развитии экспорта и внутреннего рынка водорода	+37	+4..6	+ 17..45

Инвестиции в экономику ~3 трлн руб. до 2030 года

Накопленным итогом к 2050 году:



+ 12,6..18,0
трлн руб.
совокупный рост ВВП



+ 3,9..5,6
трлн руб.
налоговых поступлений



+ 493..940
тыс. рабочих мест

... и другим макроэффектам

К 2050 году



Доля водорода в конечном потреблении энергоресурсов РФ может составить **2 – 5%**



Развитие экспорта водорода до **9** млн тонн обеспечит до **третьи¹** прироста совокупного чистого экспорта энергоресурсов из России (**~42** из **135** млрд долл. или **~1.1** из **3.9** ЭДж)

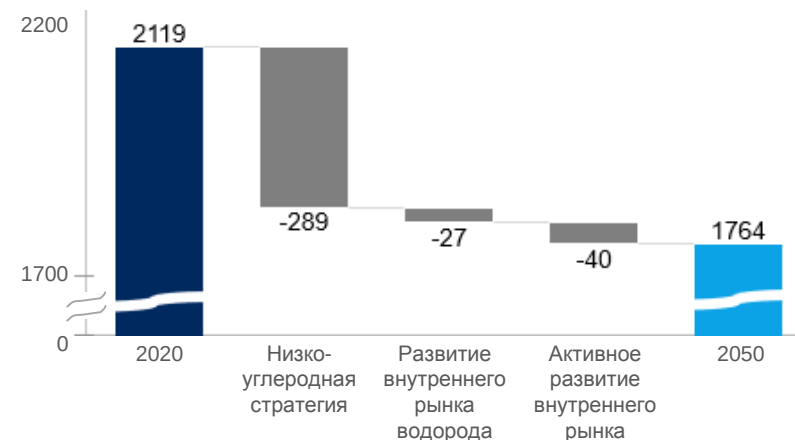


Развитие внутреннего рынка водорода приведет к дополнительному снижению выбросов на **67** Мт CO₂ за счет сокращения выбросов в металлургии, химии и транспорте, что составит до **20%** от совокупного уровня снижения выбросов парниковых газов

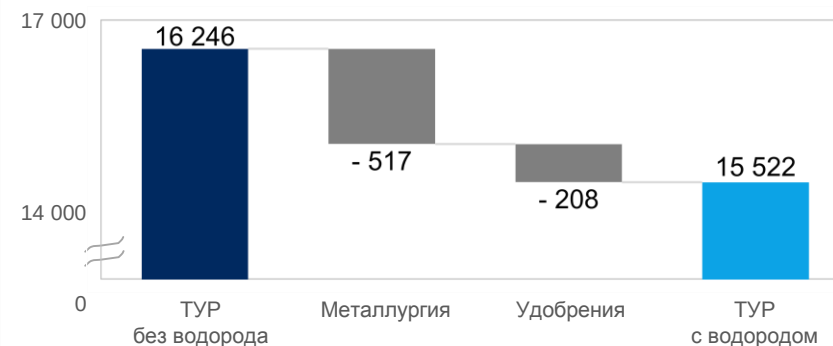


Применение водорода на внутреннем рынке в металлургии и производстве удобрений позволяет сократить платежи ТУР в среднем на **60** млрд руб. в год²

Снижение совокупных выбросов к 2050 году, Мт CO₂



Снижение объема платежей ТУР к 2050 году, млрд руб.



1. Остальные две трети обеспечивает рост экспорта газа и, в меньшей степени, нефти 2. Платежи ТУР рассчитаны с учетом поправок к регламенту от 5 января 2022: с учетом прямых и косвенных выбросов CO₂ и бесплатных квот, стоимость сертификата возрастает до 130 евро в 2030 и далее растет с постоянным темпом 3% в год