



РОСЭНЕРГОАТОМ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

**СОЗДАНИЕ СТЕНДОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ, УПАКОВКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВОДОРОДА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОЛЬСКОЙ АЭС, С ЦЕЛЬЮ
РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ АТОМНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»**

Конев Юрий Николаевич

Руководитель проекта

Москва | 02 ноября 2020 года

Актуальность Проекта

Эффективность перехода к водородной энергетике и достижению стратегических целей по направлению «Водородная энергетика» требуют **создания и промышленной отработки сбытовой инфраструктуры, в т.ч. упаковку и транспортировку до потребителей**

Стратегическое направление, программный документ	Цели, задачи, показатели	Влияние ожидаемых результатов Проекта
Энергетическая стратегия России на период до 2035 года, раздел 3.1.7. Водородная энергетика	Экспорт водорода, млн.т/год: 2024 год – 0,2; 2035 год – 2,0.	Относится к комплексу ключевых недостающих технологий хранения и транспортировки водорода (154. создания инфраструктуры транспортировки и потребления водорода)
Комплексная программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в РФ на период до 2024 года (указ Президента РФ Путина В.В. от 16.04.2020 № 270)	2021 год - разработаны ТЭО и ТЗ на пилотный проект инфраструктуры обеспечения транспорта на водороде для начала коммерческих поставок электролизного водорода	Отработка концепт-проекта, схем для поэтапного разворачивания инфраструктуры транспорта водорода для начала коммерческих поставок (п.2.3. мероприятий)
Единый отраслевой тематический план Госкорпорации «Росатом». Приоритетное направление НТР «Водородная энергетика» (приказ от 02.05.2019 № 1/496-П)	Разработать комплект технологического и транспортного оборудования для пилотного проекта производства жидкого водорода на европейской части Российской Федерации для экспорта в страны Западной Европы	НИР (ТЭО) и НИОКР по созданию типоразмерного ряда установок ожижения водорода малой, средней и большой производительности
Стратегия Электроэнергетического дивизиона на период до 2030 года. Развитие сопутствующих производств для загрузки свободных генерирующих мощностей. Новые бизнесы: водород	44-67 млн.руб/МВт избыточной мощности Транспортировка в оптовых объемах водорода, произведенного за счет невостребованных мощностей Кольской АЭС (до 400 МВт)	НИОКР в рамках реализации пилотного проекта, г. Полярные Зори
Решение Госкорпорации «Росатом» от 22.04.2020 № ИП-II. В.8.4.1-2020-1 «О включении прочего инвестиционного проекта «НИОКР по технологиям атомно-водородной энергетике для крупномасштабного производства и потребления водорода»	Обеспечение комплексного подхода к решению задач по опережающему технологическому развитию атомной отрасли и приоритетному направлению «Водородная энергетика» и ускорения их решения.	
Приказ АО «Концерн Росэнергоатом» от 17.07.2020 №9/01/1049-П « Об организации работ по реализации инвестиционного проекта «НИОКР по технологиям атомно-водородной энергетике для крупномасштабного производства и потребления водорода»		

ТЕХНОЛОГИИ ГК «РОСАТОМ» В ОБЛАСТИ ВЭ

➤ Развитие собственных конкурентоспособных технологий – один из **ключевых приоритетов** работ Госкорпорации «Росатом» в сфере водородной энергетики



Производство H₂



Инфраструктурные решения



Технологии потребления H₂



НИОКР в сфере разработки установок для электролиза и ПКМ

2021: Изготовлен опытный образец промышленного модуля электролизера
2023: Завершены ресурсные испытания опытно-демонстрационной ХТЧ



НИОКР в сфере разработки баллонов для хранения H₂

2021: Изготовлен опытный образец промышленного баллона высокого давления и КД на типоразмерный ряд



НИОКР в сфере разработки топливных элементов

2023: Изготовлен опытный образец промышленного модуля водородного топливного элемента



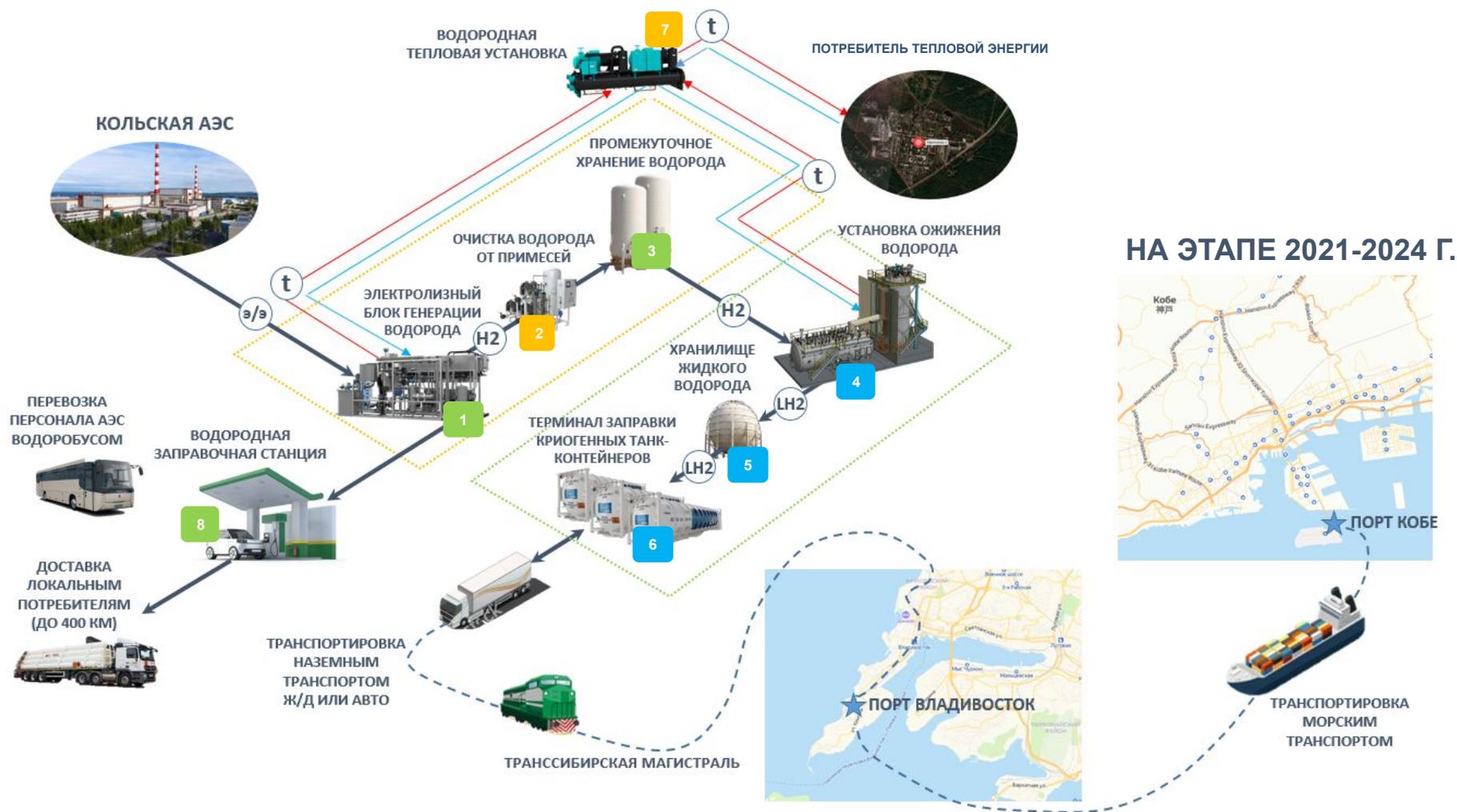
НИОКР по ВТГР с ХТЧ

2024: Подготовлен комплект документов для принятия решения о сооружении АЭС с ВТГР и ХТЧ



Баллоны Umatex (в перспективе)

СТРУКТУРА СТЕНДОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРОИЗВОДСТВА, УПАКОВКИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОЛЬСКОЙ АЭС



КРИОГЕННЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ЭКСПОРТ LH2 В ЯПОНИЮ

Криогенный контейнер для транспортировки жидкого водорода



1000 км

порт Мурманск

★ Центр компетенций ВЭ Кольской АЭС

Услуги по транспортировке контейнеров:
- Росатомфлот
- Русатом карго

Контейнеровоз ледового класса

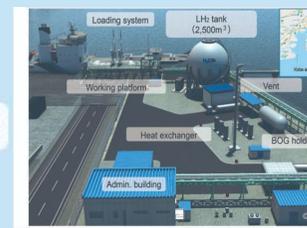


5600 км

★ Центр компетенций ВЭ ПАТЭС

3800 км

Порт Кобе для водорода



Протяженность: 10400 км

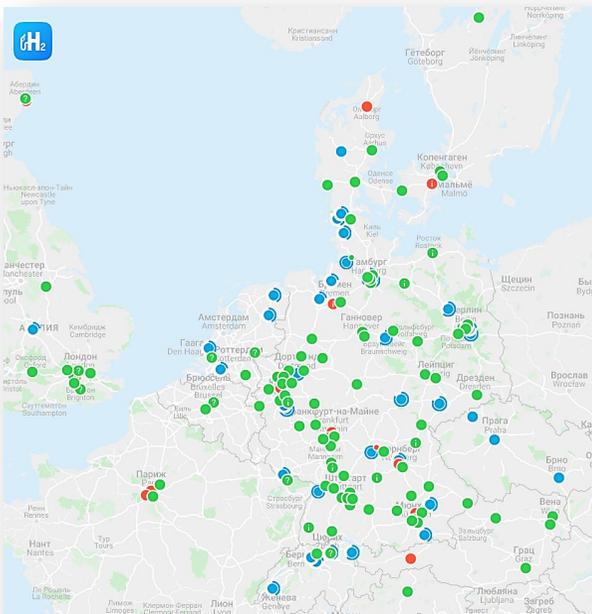
Время в пути: 19-20 суток

Схема производства-упаковки H2:

□ производительность до 900 тLH2/год

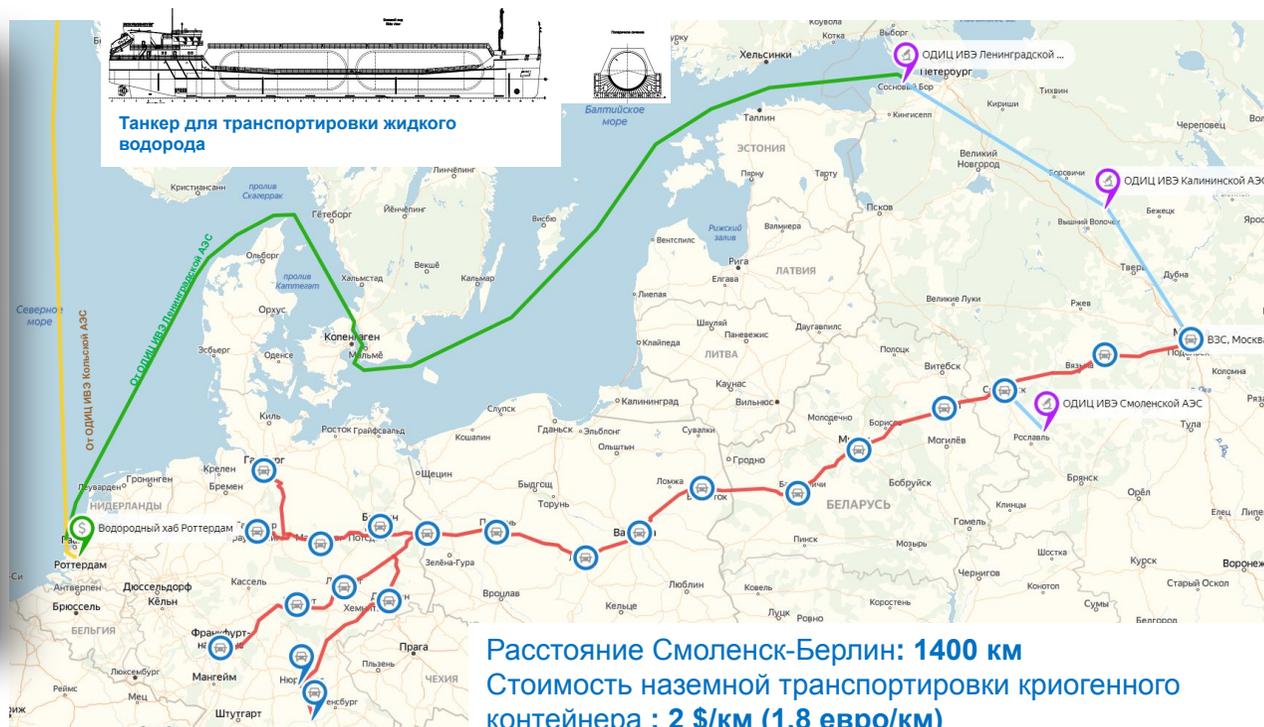
КОНЦЕПТ ПРОЕКТ ПОСТАВОК ВОДОРОДА: СМОЛЕНСКАЯ АЭС - ЕВРОПА

Создание инфраструктуры для экспорта водорода, сгенерированного электрическими мощностями АЭС, его ожижение и транспортировка на ВЗС потребителя в Европе.



Карта водородных заправочных станции на территории Европы по данным с сайта cleanenergypartnership.de

- - ВЗС в эксплуатации
- - Планируемые к сооружению



Расстояние Смоленск-Берлин: **1400 км**
Стоимость наземной транспортировки криогенного контейнера : **2 \$/км (1,8 евро/км)**
Итого: **2800 \$**
Удельная стоимость наземной транспортировки криогенного контейнера: **1,5 \$/кгLH2**

«В Германии в рамках создания общенациональной инфраструктуры H2, планируется к 2023 году увеличение числа водородных заправочных станций до 400 штук. Компания – генподрядчик строительства ВЗС в Германии H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG.»

Обоснование инвестиций (ОБИН) Стендового испытательного комплекса производства, хранения, упаковки и транспортировки водорода в районе расположения Кольской АЭС:

1) Разработка концепции и технологическое проектирование стендового испытательного комплекса производства, хранения, упаковки и транспортировки водорода в районе расположения Кольской АЭС, в частности:

- Разработка участка электролизного производства водорода;
- Разработка участка ожижения водорода;
- Разработка участка стационарного хранения и заправки жидкого водорода в транспортные контейнеры;

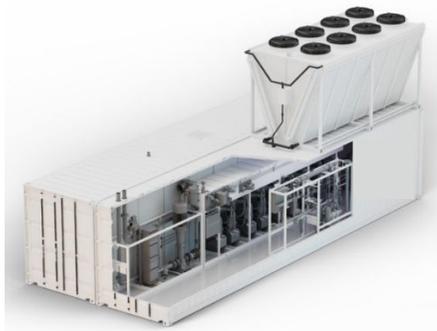
2) Проработка маркетинга и инфраструктуры сбыта водорода.

3) Разработка АСУ ТП установок и всего стендового испытательного комплекса

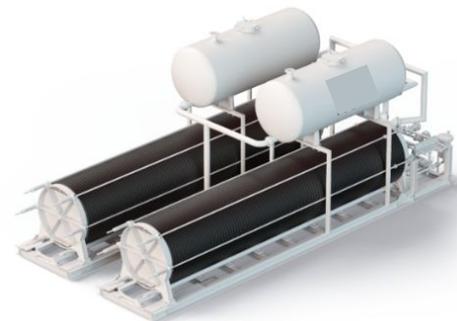
- Разработка ТЗ на АСУ ТП установки генерации озона

ПРИОБРЕТЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА 2,3 МВт, 400 НМ³/Ч

Электролизер на основе протонообменной мембраны



Щелочная матричная электролизная установка



Параметр	PEM электролизер	Щелочной электролизер
Модель, номинальная производительность	MC200 (207 Нм ³ /час)	A150 (50-150 Нм ³ /час)
Удельное энергопотребление	4,53 – 5,5 кВт/Нм ³	4,4 – 5,5 кВт/Нм ³
Срок службы	60000 час	60000 час
Чистота водорода	99,999 %	99,9 %
Изменение производительности	10-100 %	15-100 %
Давление водорода на выходе	до 30 бар	атм. давление
Стоимость установки	до 225 млн. руб. (при курсе 1\$ = 70руб.)	до 100 млн. руб. (при курсе 1\$ = 70руб.)
Удельная капитальная стоимость*	3105 \$/кВт	1904 \$/кВт

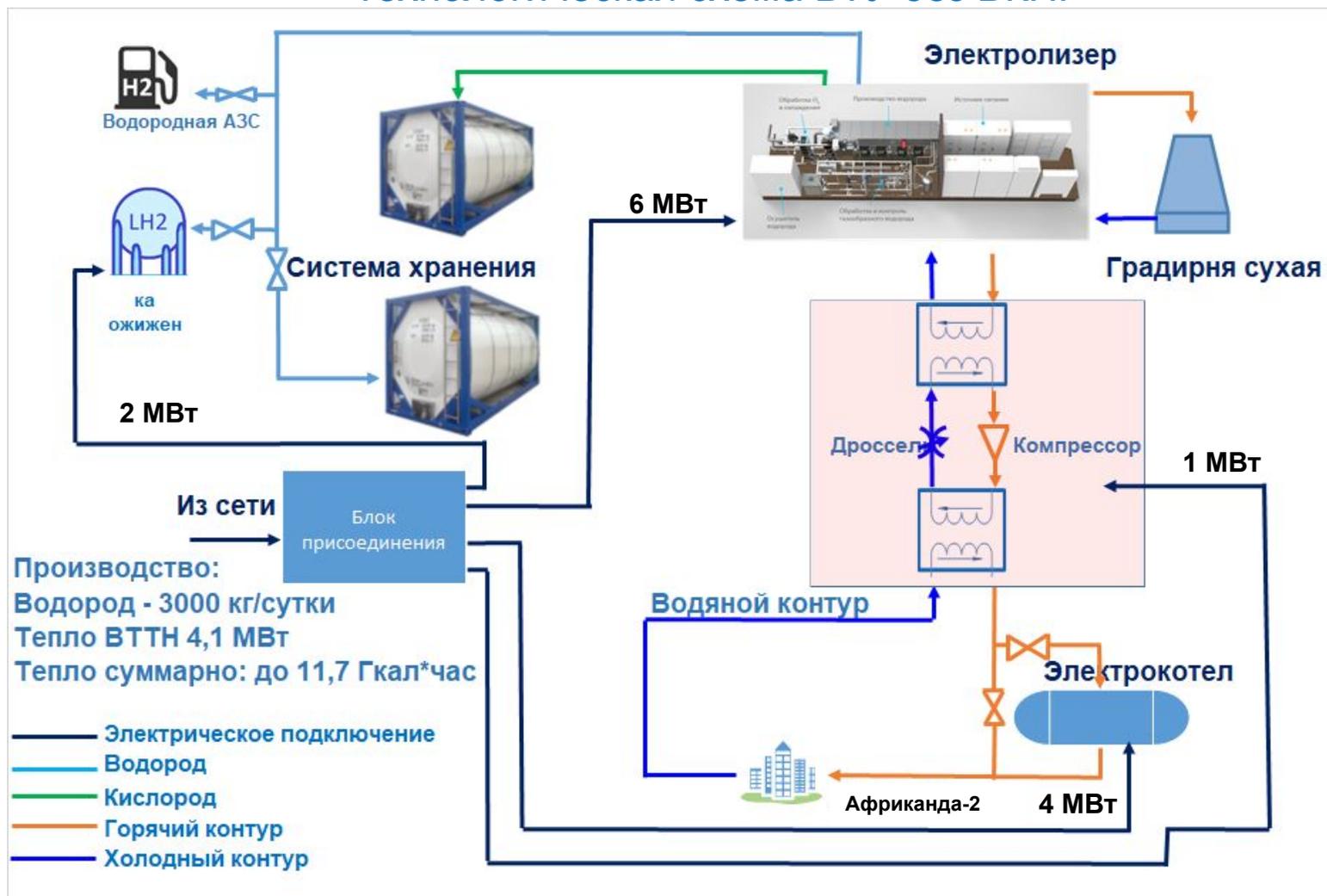
Локальное производство водорода стендового испытательного комплекса позволит организовать питание оборудования водородом, с целью его испытаний для определения оптимальных эксплуатационных параметров и реальных технико-эксплуатационных характеристик, а также позволит наработать необходимые компетенции и опыт эксплуатации для создания крупномасштабного производства водорода, его хранения, упаковки и транспортировки до потребителей

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ СБЫТА ВОДОРОДА С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОДОРОДНОГО АВТОБУСА



ВКЛЮЧЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ УСТАНОВКИ (ВТУ) В ЦЕПОЧКУ ПРОИЗВОДСТВА И УПАКОВКИ ВОДОРОДА ПРИВЕДЕТ К СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ВОДОРОДА ДО 20%

Технологическая схема ВТУ без ВКПГ



НАПРАВЛЕНИЕ РАБОТ НИОКР ПО ТЕМЕ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ ОЖИЖЕНИЯ ВОДОРОДА

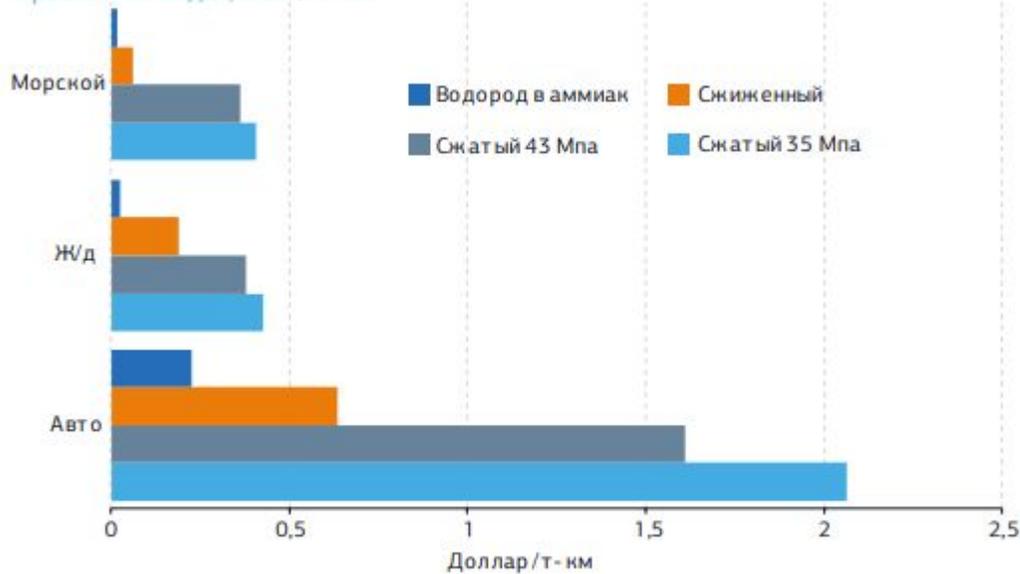
НИОКР на тему «Разработка научно-технических решений по адаптации технологии и созданию лабораторного образца модульной установки ожижения водорода с замкнутым контуром предварительного охлаждения на смесевом хладагенте для систем хранения, упаковки и транспортировки товарного водорода»:

1) Разработка технологии ожижения водорода с замкнутым контуром предварительного охлаждения на смесевом хладагенте

- Разработка 3D модели установки ожижения водорода
- Разработка технологической модели процесса ожижения водорода в ASPEN Hysys
- Разработка электронного макета установки ожижения водорода в среде моделирования цифрового двойника

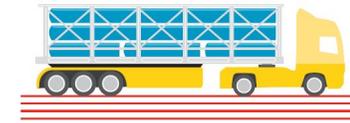
Обоснование выбора направления исследований

Удельная стоимость транспортировки водорода различными способами в различных видах, USD / т -км.



Источник: ARENA

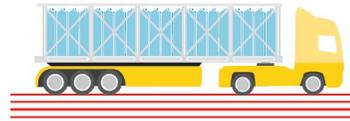
17 HYDROGEN ROAD TRANSPORT



TUBE TRAILER

200 - 250 bar, ≈ 500 kg, ambient temperature

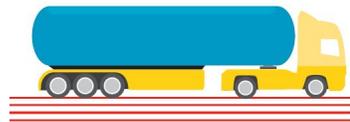
НЕ БОЛЕЕ 400 КМ



CONTAINER TRAILER

500 bar, ≈ 1,000 kg, ambient temperature

НЕ БОЛЕЕ 800 КМ



LIQUID TRAILER

1 - 4 bar, ≈ 4,000 kg, cryogenic temperature

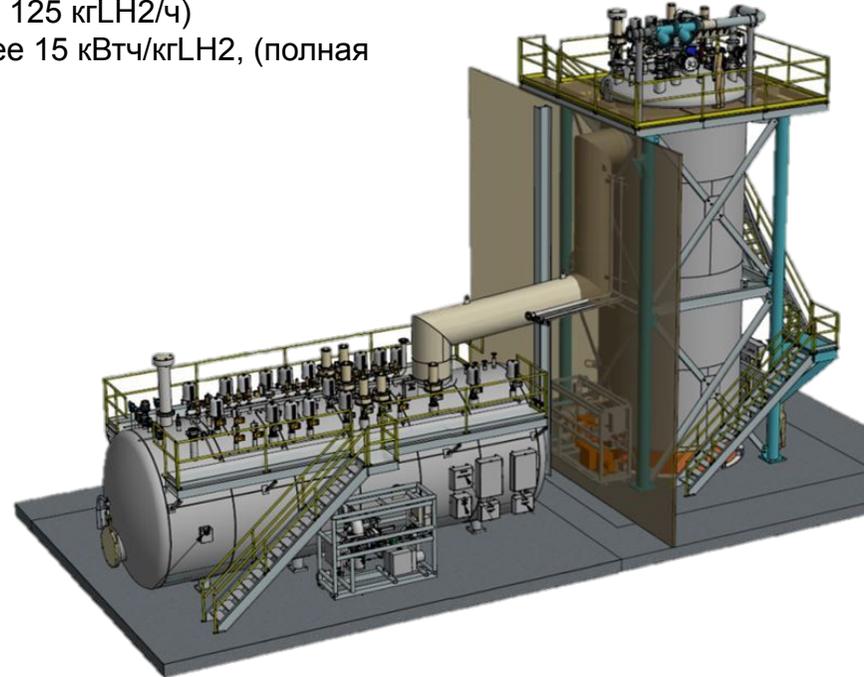
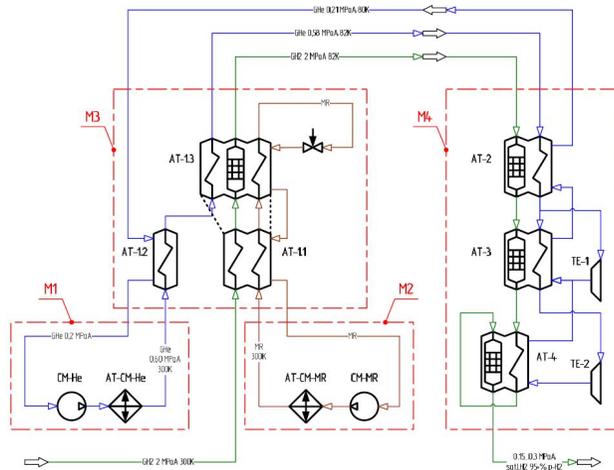
НЕ БОЛЕЕ 1 МЕСЯЦА
ТРАНСПОРТИРОВКИ

В районе расположения Кольской АЭС отсутствуют потребители водорода в промышленных масштабах, в связи с чем большую долю стоимости водорода будут составлять затраты на его транспортировку до потребителя. При аналитическом рассмотрении вариантов транспортировки сделан вывод, что **наиболее эффективным способом транспортировки водорода на расстояния более 400 км и в объемах более 1000 кг является ожижение.**

УСТАНОВКА ОЖИЖЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ УПАКОВКИ ВОДОРОДА И ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ НА СРЕДНИЕ И ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ ЗАРУБЕЖНЫМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ МОРСКИМ И НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Технико-экономические характеристики:

- Производительность 3000 кгLH2/сут (1400 Нм3/час, 125 кгLH2/ч)
- Удельное энергопотребление на охлаждение, не более 15 кВтч/кгLH2, (полная мощность 1,8 МВт)
- CAPEX 2,5 \$/кгLH2



СУТЬ РЕШЕНИЙ: Наиболее эффективным способом транспортировки водорода на средние и дальние расстояния, **В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ НА РЫНОК И НЕСТАБИЛЬНОЙ РЕГУЛЯРНОСТИ ПОСТАВОК**, является охлаждение водорода и его транспортировка в криогенных танк-контейнерах до потребителя.

В России **отсутствуют собственные технические решения способные обеспечить конкурентоспособную стоимость процесса упаковки водорода** посредством его криогенного охлаждения. С целью повышения энергоэффективности технологии охлаждения водорода с уровнем потребления **не более 15 кВтч/кгLH2**, а также снижения удельной капиталоемкости установки охлаждения **до уровня 2,5 \$/кгLH2** предлагается создание **установки охлаждения водорода с контуром предварительного охлаждения на смешанном хладагенте, с низким давлением нагнетания в гелиевых циклах.**

*ТКП от заводов изготовителей

Превосходство Продукта над конкурентами

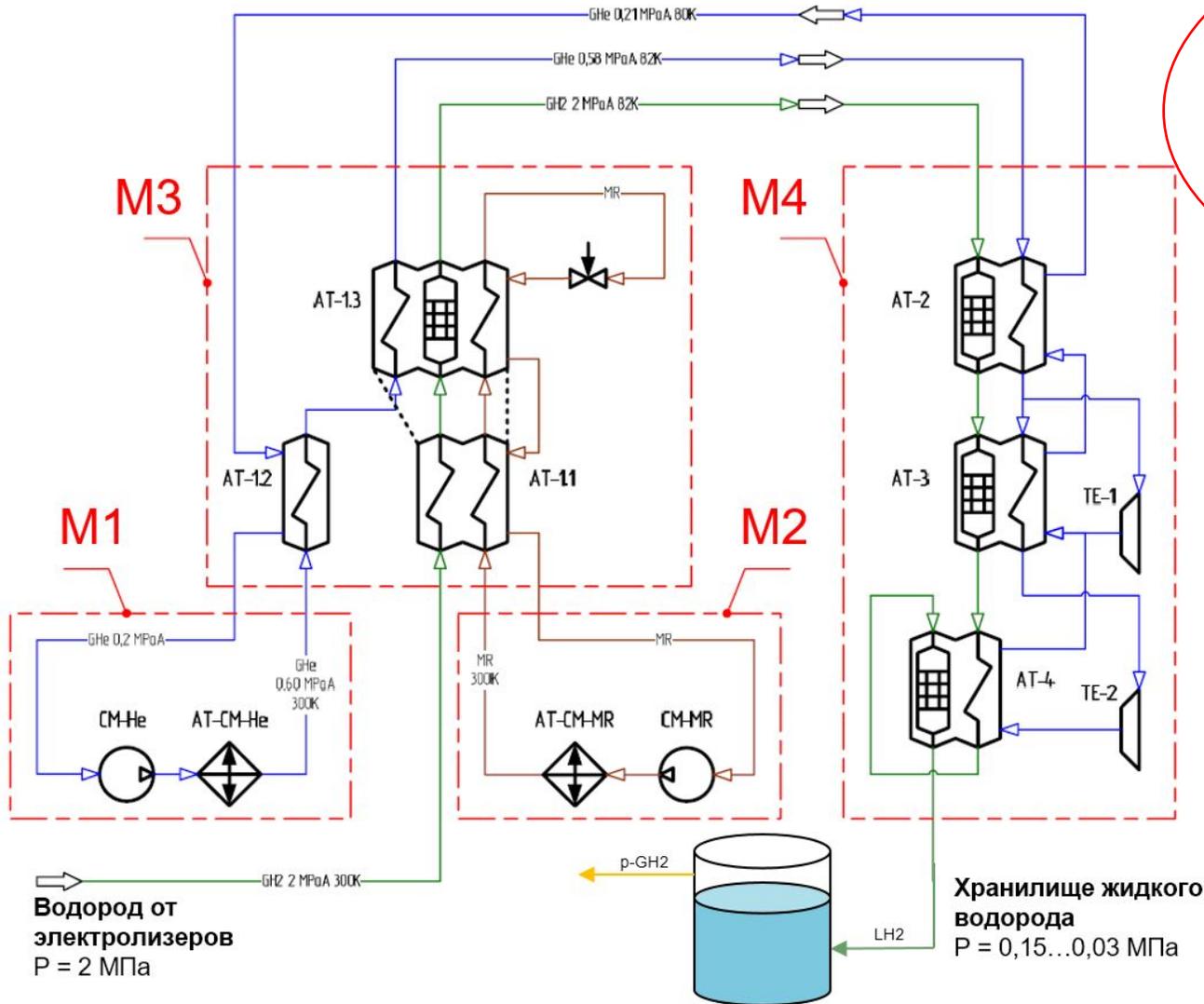
Альтернативные продукты/ решения	Ключевые характеристики продукта/решения (продукта и/или технологического процесса его производства)				
	Энергопотребление	Производительность	Капитальная стоимость установки*	Операционные издержки на ожижение водорода	Удельная стоимость ожижения водорода
Предлагаемый продукт АО «ВНИИАЭС»	≤ 15 кВтч/кгLH2 (~21 кВтч/кгLH2 для лабораторного образца)	3000 кгLH2/сут (480 кгLH2/сут для лабораторного образца)	727 млн.руб	36 руб/кг	88 руб/кг
ПАО Криогенмаш	26 кВтч/кгLH2	9 600 кгLH2/сут	1 842 млн.руб	67 руб/кг	108 руб/кг
НПО Гелиймаш	42 кВтч/кгLH2	120 кгLH2/сут	55 млн.руб	108 руб/кг	208 руб/кг
ФКП «НИЦ РКП»	134 кВтч/кгLH2	4320 кгLH2/сут	973 млн.руб	344 руб/кг	393 руб/кг
Linde-group	15 кВтч/кгLH2	5000 кгLH2/сут	1 893 млн.руб	39 руб/кг	121 руб/кг

Основными критериями достижения превосходства над конкурентами для установки ожижения водорода производительностью 3 тLH2/сут, установлены:

- Удельное энергопотребление на ожижение водорода, не более 15 кВтч/кгLH2
- Удельная себестоимость ожижения одного килограмма водорода (CAPEX), не более 2,5 долл./кгLH2

* Капитальная стоимость установок оценена по эмпирической формуле по методу, который применялся в проекте DOE H2A Delivery Analysis)

Научная новизна в технологической схеме установки ожижения водорода



Научная новизна в части схемы заключается в:

- 1) наличии новых элементов в схеме газового цикла основного охлаждения водорода;
- 2) применении оригинальной схемы цикла на смеси хладагента для предварительного охлаждения водорода;
- 3) применении оригинального состава смеси хладагента

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА: контур предварительного охлаждения, работающий по дроссельному циклу с применением многокомпонентного рабочего тела (смеси) позволяет отказаться от использования расходуемого жидкого азота, что повышает автономность установки. В основном контуре охлаждения используется гелий, что существенно понижает взрыво и пожароопасность всей установки. Переход на более низкие давления нагнетания в контуре предварительного охлаждения на смеси хладагента и в гелиевом контуре позволят использовать компрессорное оборудование отечественного производства

- M1** – модуль компримирования и очистки низкотемпературного компонента
- M2** – модуль компримирования смеси хладагента
- M3** – модуль рекуператоров
- M4** – криогенный модуль сжижения и конверсии водорода

Заключение

Рабочая группа АО «ВНИИАЭС» по водородной энергетике, при поддержке Исследовательского центра "Селектиум" готовы предоставить дополнительные стипендии магистрам 1 года обучения для подготовки дипломных работ по тематике «Водородная энергетика», обязательное условие 1 рабочий день в неделю посвящать магистерской работе. *В условиях распространения пандемии COVID-19 возможна организация дистанционной работы посредством SKYPE.*

Отбор кандидатов на получение стипендии проходит по результатам предварительного тестирования студентов, в течении 1 месяца на реальных практических задачах.

Студент выбирает направление работ из предложенных, получает задание в рамках выбранного направления и самостоятельно его выполняет, возможны консультации с наставником и научным руководителем в случае возникновения вопросов.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ГРУППА В КОНТАКТЕ, КАДРОВЫЕ ВОПРОСЫ И ОБУЧЕНИЕ



ГРУППА В FACEBOOK, АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И НОВОСТИ
ПО ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

КОНЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, konevyn@yandex.ru

ОЛЕЙНИК СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, gdoleyniksv@gmail.com