



ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

**Опыт разработок филиала "ЦНИИ СЭТ"
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
энергоустановок на топливных элементах транспортного
и стационарного применения.**

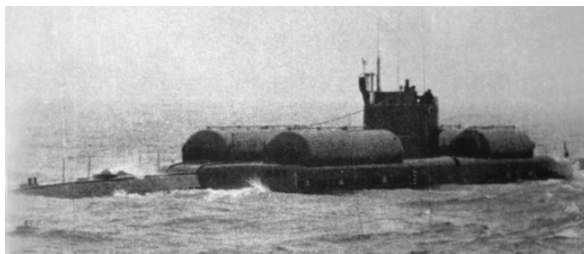
Санкт-Петербург

2020 г.

Основные научно-технические результаты по созданию энергоустановок на топливных элементах в СССР и РФ



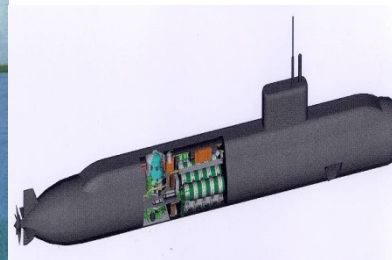
Со времен СССР ЭУТЭ в стране развивались применительно к специальным отраслям: космос и подводное кораблестроение. Был выполнен ряд интересных, инновационных разработок, не уступающих лучшим зарубежным аналогам. Однако все они в силу разных причин должного развития не получили.



Проект «Катран».



Проект «Пиранья».



Проект «Лада».
Технический проект
выполнен в 2001 году



Наземный прототип
ЭУ «Кристалл-27»

Примеры разработок ЭУТЭ в филиале «ЦНИИ СЭТ»



Автомобильная ЭУ на топливных элементах АЭУ-20 мощностью 20 кВт на основе батарей БТЭ-84 (2009 год)



Судовая гибридная ЭУ на основе батарей БТЭ-84 мощностью 60 кВт с конвертером дизельного топлива и утилизацией тепла выхлопных газов в турбогенераторе (2011 год)



Батарея топливных элементов мощностью 50 кВт БТЭ-50В
Вентильно-индукторный электродвигатель (ВИД)
Генератор постоянного тока имитирующий нагрузку

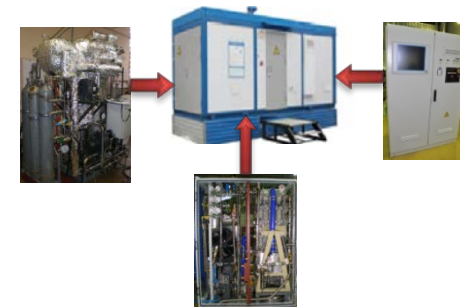
На стендовом комплексе создана демонстрационная модель системы электродвижения с электропитанием от батареи топливных элементов БТЭ-50В



Резервная (аварийная) энергоустановка на топливных элементах РЭУ-5 на основе БТЭ-84 (2009 год)



Электротеплогенератор на топливных элементах ЭТГ-10 на основе БТЭ-84 с конвертером природного газа (2009 год)

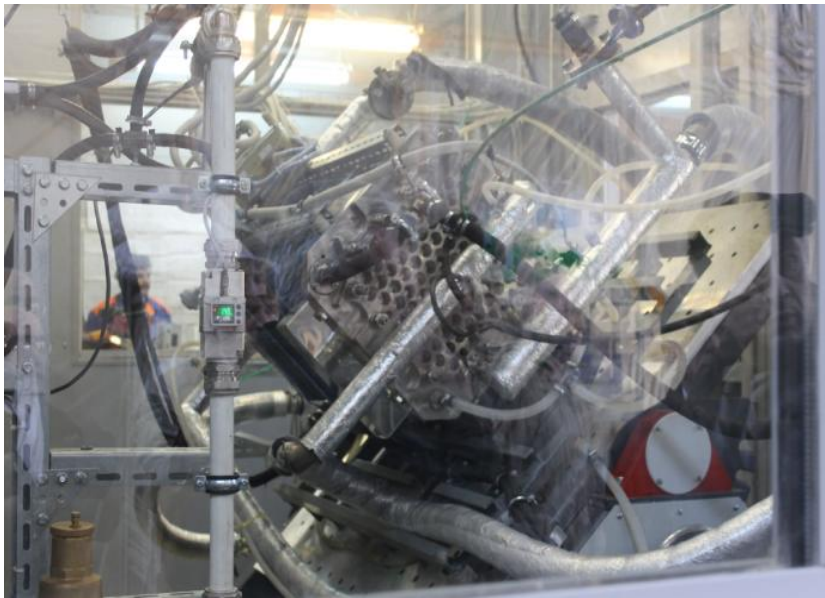


Энергоустановка ЭУ-ТЭ-5,0 создается в интересах ПАО «Газпром»

Ключевые технологии водородной энергетики. Состояние разработок в филиале «ЦНИИ СЭТ»

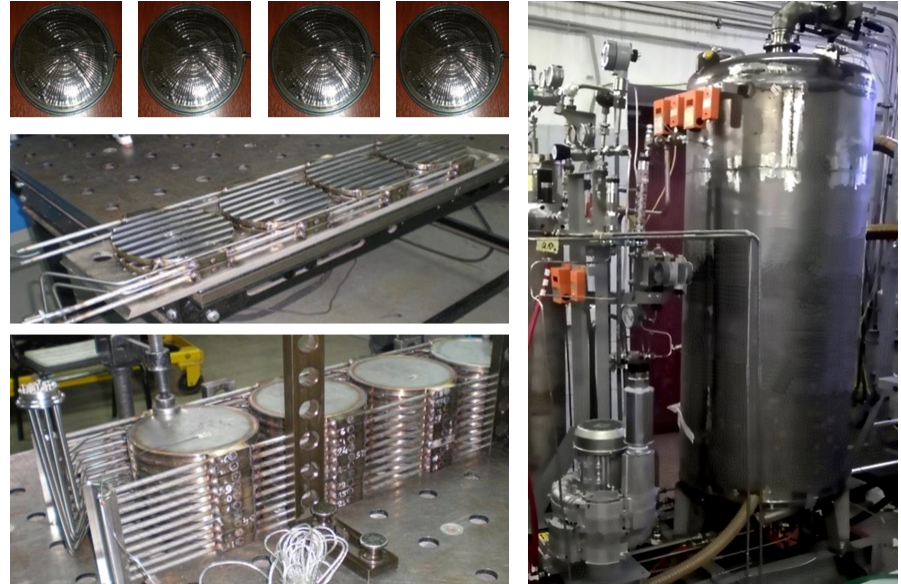


Технология топливных элементов



В 2015 году на специальном стенде состоялись испытания опытного образца батареи БТЭ-50 в условиях, имитирующих условия эксплуатации. На БТЭ-50 оформлен паспорт экспортного облика и рекламный паспорт.

Технологии хранения либо получения водорода на борту объекта.



Конвертор природного газа с извлечением водорода из зоны реакции. В 2019 году проведены испытания системы.



Интерметаллидная система хранения водорода.



Газобаллонная система хранения водорода.

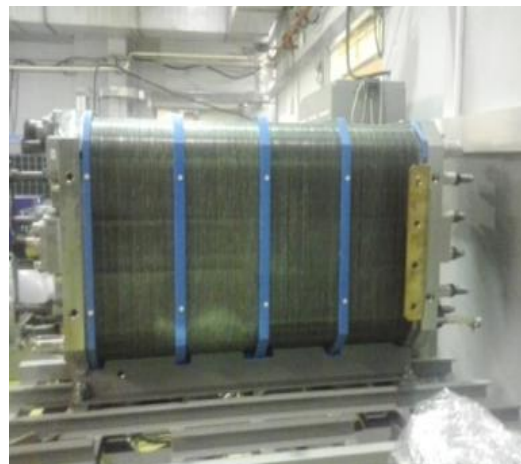
Научно-технические результаты создания ключевых технологий водородной энергетики в филиале «ЦНИИ СЭТ»



Основным итогом выполненных работ является разработка именно этих двух ключевых технологий: топливных элементов и паровой конверсии углеводородного топлива, а также ЭУТЭ в целом



Батарея топливных элементов БТЭ-П мощностью 5 кВт, работающая на водороде и воздухе (2014 г.)



Батарея топливных элементов БТЭ-50, $S = 1225 \text{ см}^2$, работающая на водороде и воздухе (февраль 2015 г.)

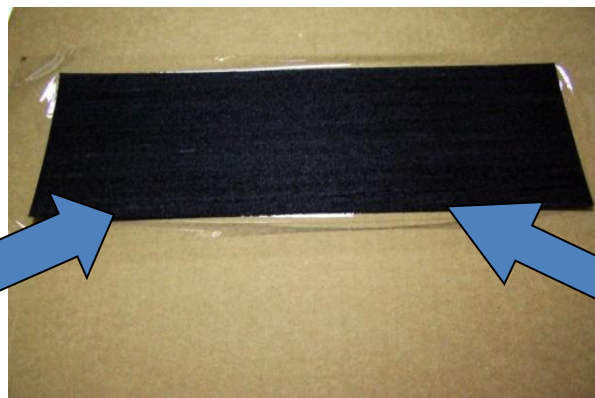


Конвертор природного газа с извлечением водорода из зоны реакции (2018 г.)

Технологии топливных элементов с твердополимерным электролитом



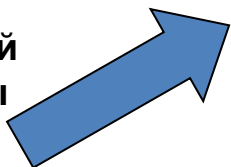
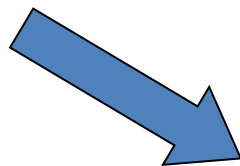
Отработаны отечественные (собственные) технологии нанесения катализатора и сборки мембранно-электродного блока (МЭБ), изготовлены и протестированы МЭБ с активной поверхностью 330 см^2 и 1225 см^2



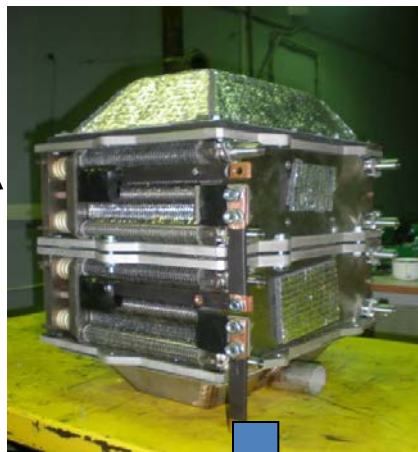
Государственные приемочные испытания «БТЭ-Перспектива»



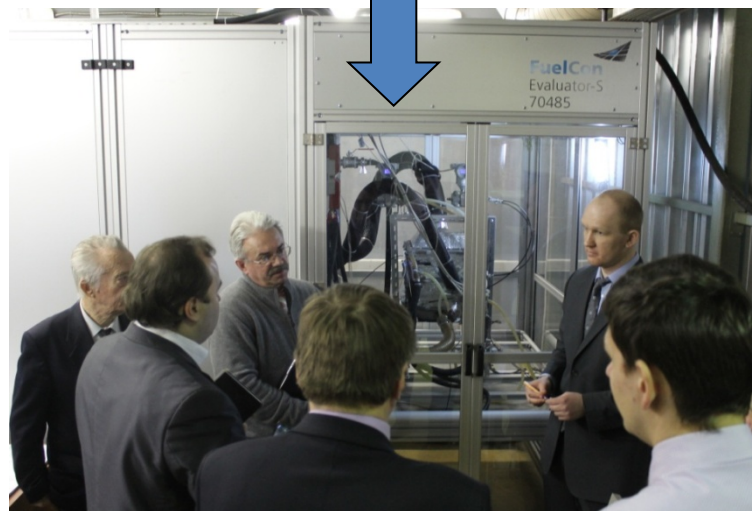
Анодная и катодная пластины биполярной холодильной камеры



Мембранно-электродные блоки $S = 330 \text{ см}^2$



«ВЭУ-Перспектива», опытный образец, номинальной (по ТЗ) мощностью 5 кВт и максимальной – более 11 кВт, работающая на водороде и воздухе.



Гос. испытания БТЭ-П на станции Evaluator S100-LT

Технология экономии энергии и конденсата при работе топливного элемента



Разработана конструкция и проведены испытания конденсатора-увлажнителя рабочих газов. Экономия энергии – 20 %. Экономия конденсата



КУВ, разработки филиала «ЦНИИ СЭТ»



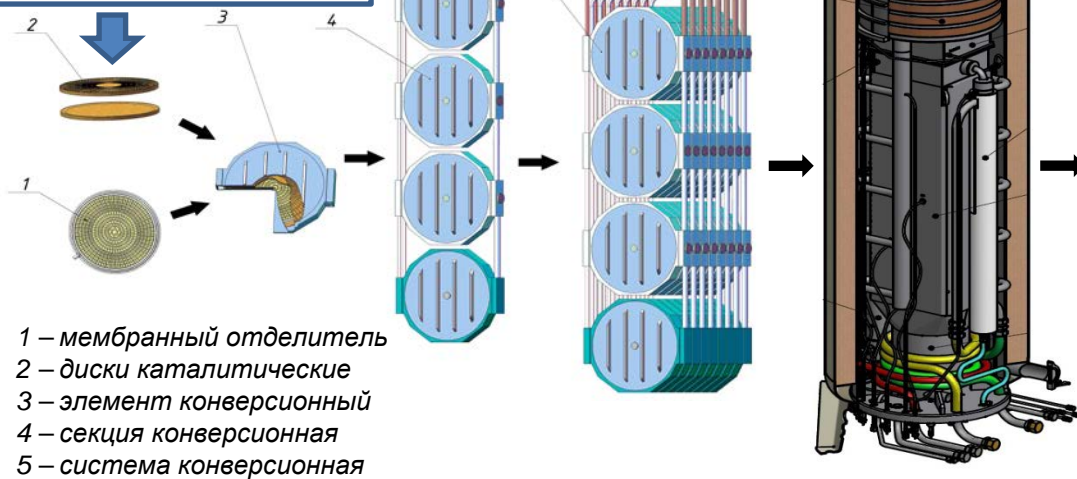
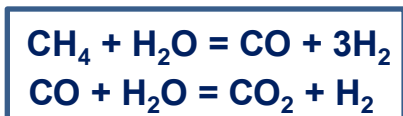
КУВ – аналог США

Наименование параметра	КУВ отечественной конструкции	Perma Pure FC400-2500-8PP
Тип устройства	Пластинчатый	Трубчатый
Максимальный расход воздуха, нм ³ /ч	50	
Диапазон рабочих температур, °С	15 - 75	25 - 75
Разница температуры воздуха между входом и выходом, °С	5 - 7	
Относительная влажность воздуха на выходе, %	80 - 100	
Тип исполнения	Сопрягаемый с БТЭ	Автономный
Относительная стоимость	0,4	1

На основе созданной технологии изготовлен макетный образец конвертора природного газа с извлечением водорода из зоны конверсии



В краткосрочной перспективе (10-15 лет) природный газ является наилучшим и наиболее дешевым решением для перехода к водородной энергетике



- 1 – мембранный отделитель
- 2 – диски каталитические
- 3 – элемент конверсионный
- 4 – секция конверсионная
- 5 – система конверсионная



Производительность водорода, кг/ч	Внешняя оболочка конвертора		
	Диаметр корпуса, мм	Высота корпуса, мм	Объем корпуса, м ³
1	600	2000	0,57
5	1000	2300	1,85
50	1800	3000	7,63

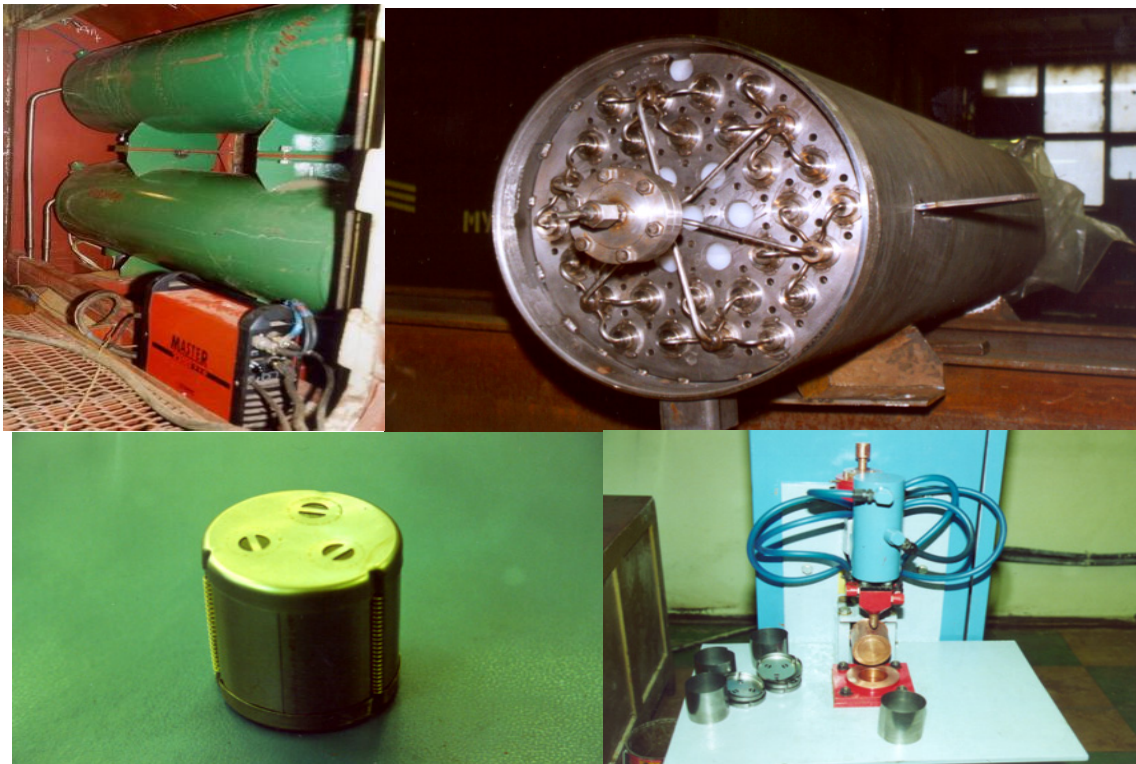
- ✓ **максимальная компактность и минимальная масса;**
- ✓ **получение водорода высокой степени чистоты – около 99,999 %;**
- ✓ **КПД процесса > 80 %.**

Освоена технология диффузионной сварки палладиевых мембран диффузионных отделителей водорода



Машина диффузионной сварки МДВС-201

Интерметаллидное хранение водорода



Работы начаты с конца 80-х годов XX века. Отработан сплав-сорбент на основе LaNi_5 с рабочей водородоемкостью не менее 1,45 % масс., ТУ 48-0572-32-237/0-91. Изготовлены и испытаны 15 макетных образцов интерметаллидных накопителей (ИМН), в том числе два полномасштабных с массой сплава-сорбента в каждом более 1т.

Полномасштабные образцы эксплуатируются более 15 лет, осуществлено до 100 циклов «сорбция-десорбция» водорода, проведены испытания на нештатных режимах эксплуатации ИМН, снижения водородоемкости не зафиксировано, выноса сорбента из ИМН не наблюдалось.

Стендовые испытания энергоустановки ЭУ-ТЭ-5,0 с модернизированными блоками

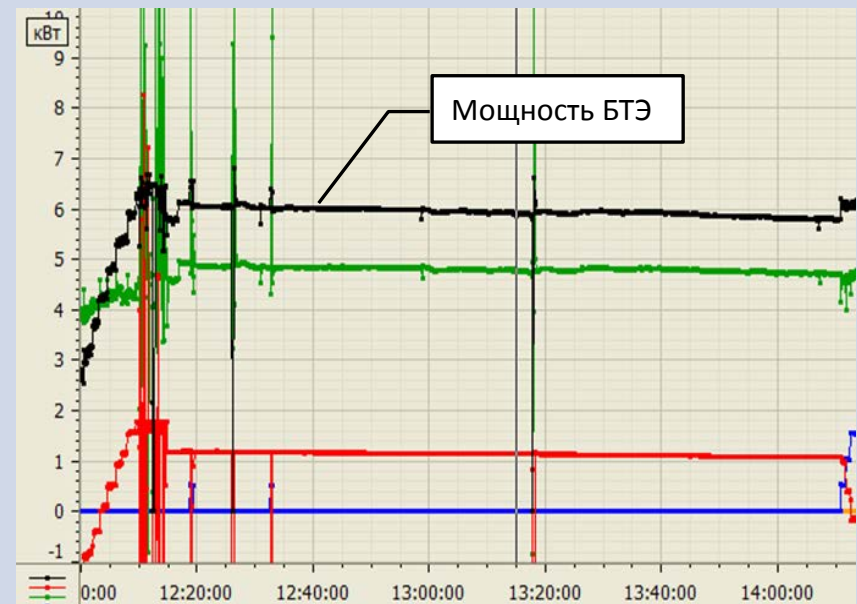


Результаты комплексного опробования ЭУ-ТЭ-5,0 совместно с ГПРЦ



- ✓ проведена наработка в ходе комплексного опробования в течение 27 ч;
- ✓ получена электрическая мощность БТЭ до 6,5 кВт;
- ✓ Производительность конвертора около 0,48 кг/ч H_2 ;
- ✓ исследованы статические и динамические режимы работы;
- ✓ отработана в полном объеме автоматизация функциональных режимов;
- ✓ определены оптимальные режимы работы;
- ✓ все реализованные схемно-конструктивные и технологические решения признаны работоспособными;
- ✓ количество успешно проведенных циклов «Пуск – работа – останов» к моменту испытаний – 31.

График набора номинальной мощности



Автономный источник энергии для стационарных применений мощностью 5 – 50 кВт



Опытный образец ЭУ-ТЭ-5,0 (2019 г.)



Блок конверсии углеводородного топлива.

Основное отличие от демонстрационного образца 2014 г. – собственная технология конверсии



Блок автоматки преобразования и контроля

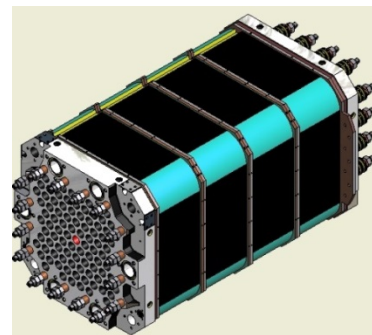
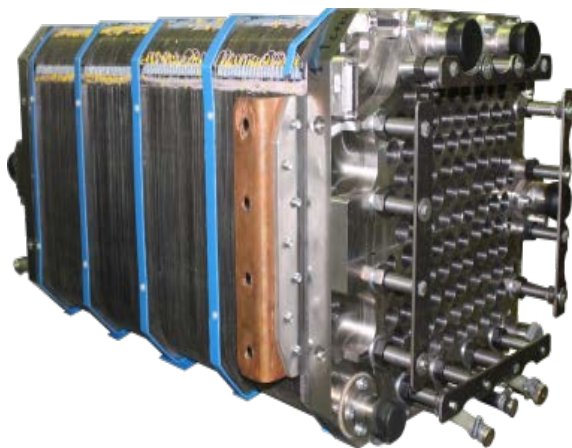


Блок энергетический
Основное отличие от демонстрационного образца 2014 г. – улучшенная конструкция БТЭ

Перспективы совершенствования ключевых технологий энергоустановок на топливных элементах



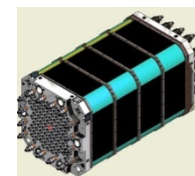
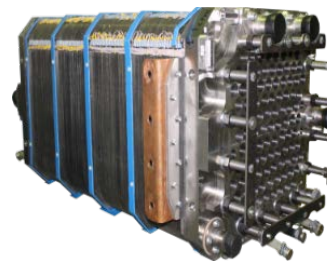
В объеме работ по совершенствованию технологии низкотемпературных топливных элементов филиалом «ЦНИИ СЭТ» выполняются разработки усовершенствованной батареи топливных элементов (БТЭ) для энергоустановки мегаваттного класса, результаты которых показали возможность в разы улучшить удельные массогабаритные характеристики батареи при одновременном повышении безотказности и ресурса. Указанный эффект достигается, в основном, за счет снижения внутренних сопротивлений БТЭ (прежде всего контактных), совершенствования гидродинамики потоков рабочих сред, повышения качества изготовления и снижения материалоемкости определяющих конструктивных элементов.



Перспективы совершенствования ключевых технологий энергоустановок на топливных элементах



Сопоставление характеристик БТЭ-50 и ее усовершенствованной модификации БТЭ-100 (для примера приведены данные при работе на водороде и кислороде)



Технические данные	БТЭ-50	БТЭ-100
Номинальная мощность, кВт	50	100
Диапазон напряжений, В	137-180	345-420
КПД при номинальной нагрузке, %	60	60
Рабочая температура, °С	60	60
Давление реагентов, бар абс.	≤2,0	≤3,0
Объем, л	452	около 170
Вес (без модульной электроники), кг	736	около 400
Удельный объем, л/кВт	9,0	около 2
Удельная масса, кг/кВт	14,7	около 4

Результаты совершенствования ключевых технологий энергоустановок на топливных элементах



Созданы технология и лабораторная технологическая линия по производству отечественного электрокатализатора, получена опытная партия электрокатализатора с характеристиками превышающими зарубежные аналоги, что позволяет в значительной степени повысить уровень локализации производства батарей топливных элементов в России

Результаты сравнения характеристик разработанного электрокатализатора «ЦНИИ СЭТ» по сравнению с лучшими зарубежными аналогами “Johnson Matthey Fuel Cells NA Inc.” (США) и “Tanaka Holdings Co., Ltd” (Япония).

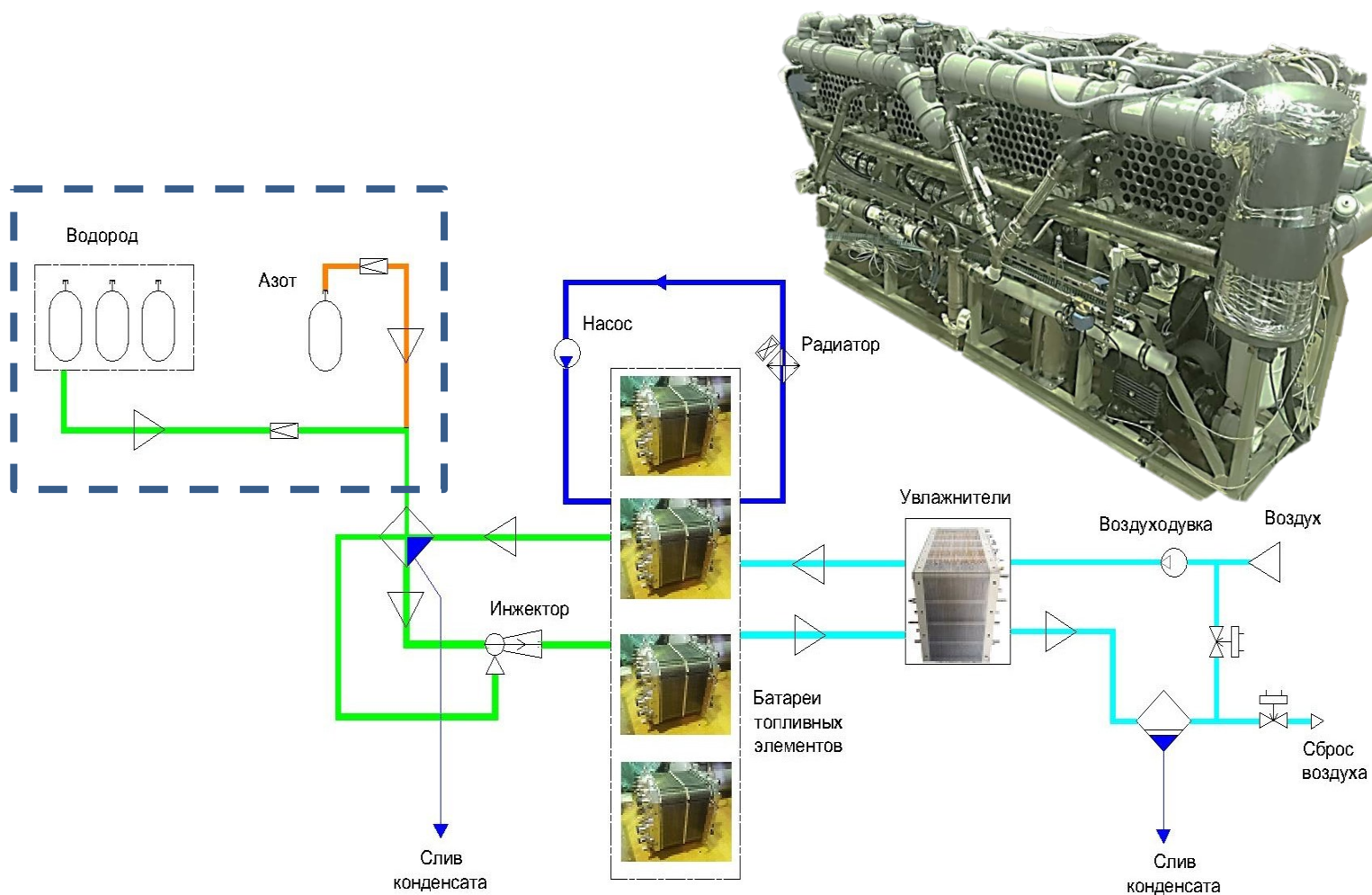
Катализатор	S, м ² / Г _{Рt}	Ток восстановления O ₂ , А/Г _{Рt} (до → после циклирования)		Снижение активной поверхности после циклирования, %
		0,9 В (овэ)	0,85 В (овэ)	
Ж.-М. 4000	до 60	3,5 → 1,0	13,5 → 4,2	56
ТКК 40	до 59	6,0 → 1,2	18,9 → 4,8	56
ЦНИИ СЭТ	до 60	3,9 → 1,1	15,2 → 4,5	46

СОВМЕСТНЫЙ ПРОЕКТ КРЫЛОВСКОГО ЦЕНТРА И ГОРЭЛЕКТРОТРАНСА СПБ



Макет ЭУ прошел стендовые испытания и испытания в составе трамвая. На базе протестированной транспортной платформы планируется создание транспортных ЭУТЭ для трамвая, маневрового тепловоза, интерес к которым есть со стороны РЖД, речного прогулочного судна и грузовых автомобилей.

Схема электрохимического генератора макета ЭУТЭ

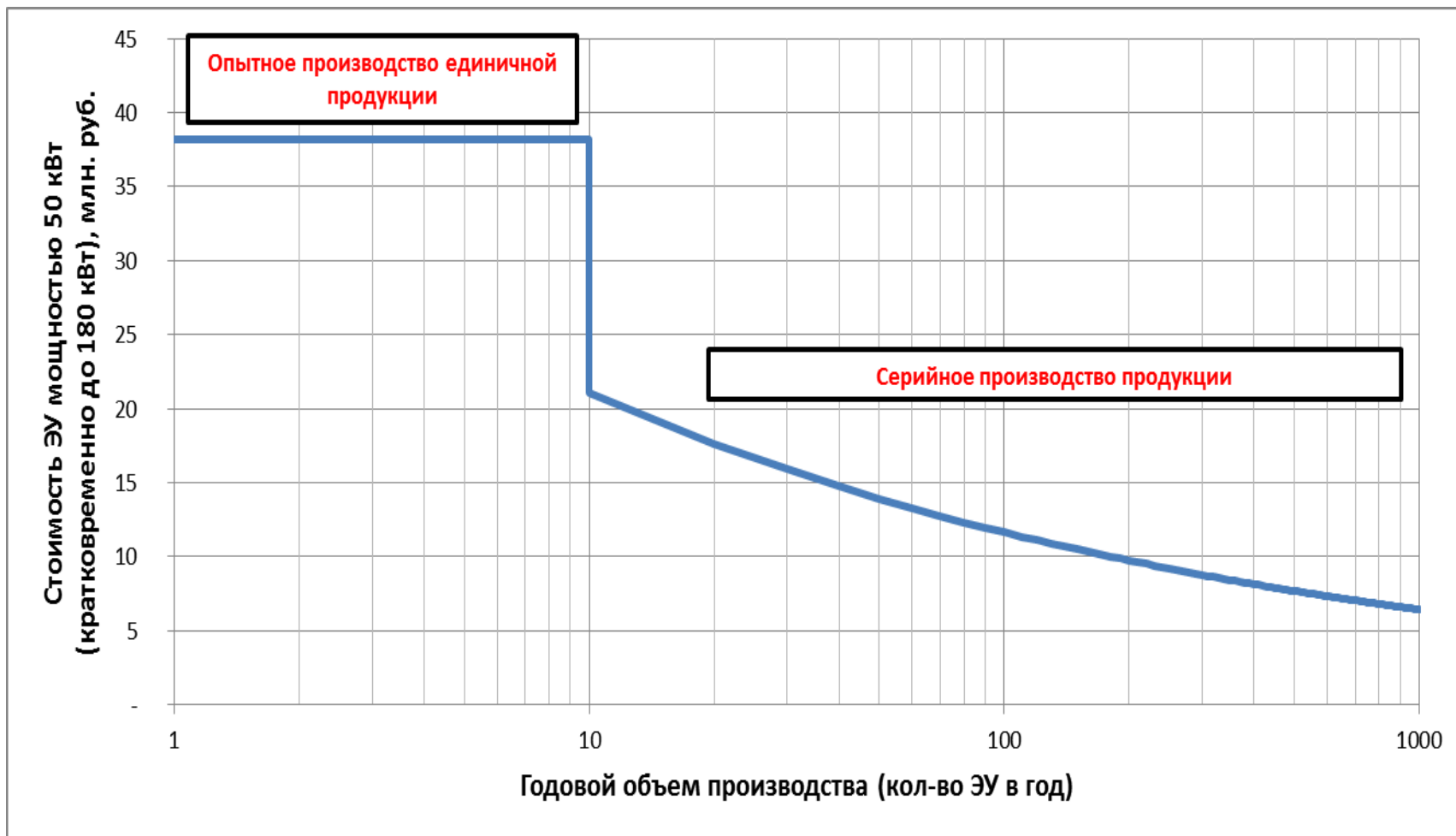


Испытания ЭУТЭ в составе действующего макетного образца трамвая в городском цикле движения



- Уточнено фактическое потребление водорода **0,22 кг(H₂)/км** при измеренном удельном расходе электроэнергии в режиме автономного хода **4,1 кВт*ч/км** и средней мощности ЭУ с ТЭ около **30 кВт**
- Определено усредненное значение КПД ЭХГ, равное **56 %**
- Исследованы и отработаны динамические режимы функционирования ЭХГ без подключения накопителей энергии

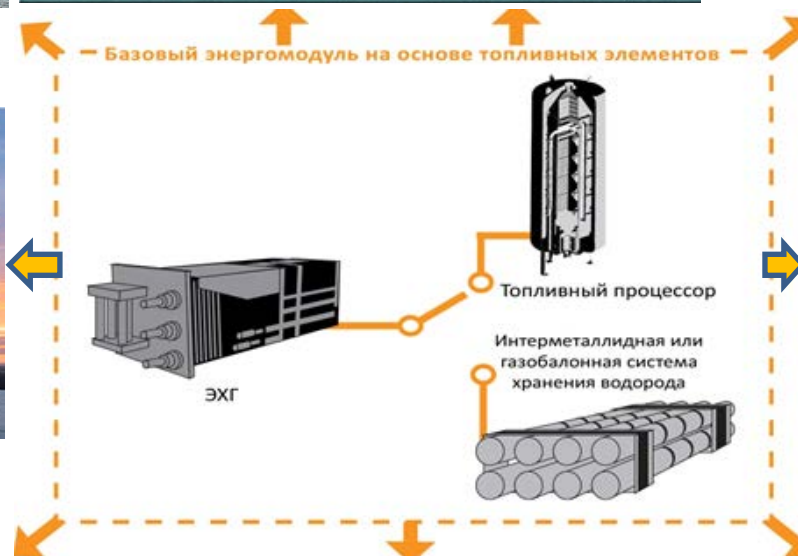
Динамики изменения стоимости ЭУТЭ транспортного назначения в зависимости от объема промышленного производства



Перспективные направления использования ЭУТЭ для транспортных и стационарных применений в Арктике



Стационарная автономная энергетика
киловаттного класса 5-50 кВт



Стационарная автономная энергетика
мегаваттного класса 100 кВт-2,5 МВт



Перспективные проекты водородной энергетики для повышения энергобезопасности удаленных и энергодефицитных территорий и территорий с суровыми климатическими условиями



В России, с учетом ее огромной территории и расстояний от электрогенерирующих объектов централизованной энергоснабжающей системы до конечных потребителей, составляющих подчас несколько тысяч километров, решить вопрос энергобезопасности удаленных и энергодефицитных объектов территорий и территорий с суровыми климатическими условиями за счет только централизованного энергоснабжения нереально и экономически нецелесообразно даже в отдаленной перспективе.

Для централизованной энергоснабжающей системы России в теперешнем состоянии характерен целый ряд серьезных проблем: длительные сроки и огромные затраты финансовых средств при строительстве новых объектов традиционной энергетики; недопустимые в современных условиях затраты на транспорт электроэнергии и тепла; неразвитость и существенная изношенность сетевой инфраструктуры и т.д.

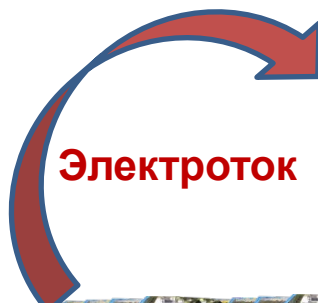
Перспективные проекты водородной энергетики для повышения энергобезопасности удаленных и энергодефицитных территорий и территорий с суровыми климатическими условиями



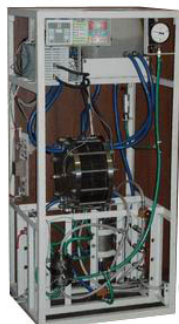
Высокоэффективная система децентрализованного энергоснабжения



Кольская АЭС



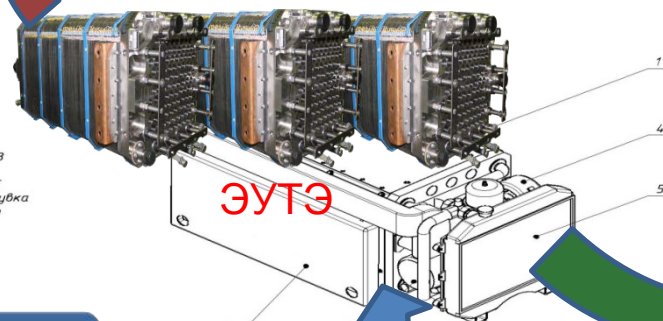
Электроток



Электролизер

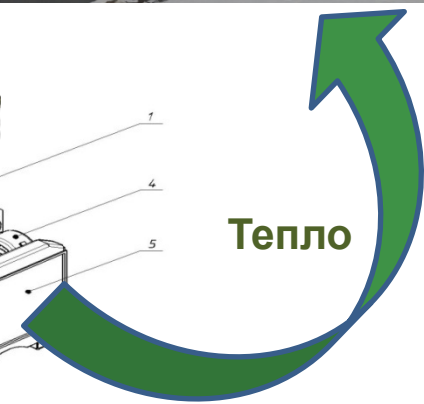


Водород



ЭУТЭ

1. БТЭ с КУВ
2. САЧ и К
3. Насос СТС
4. Воздуходувка
5. Радиатор



Тепло

ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Опытно-экспериментальная база водородной энергетики в г. Ломоносове



Уникальный объект, предназначенный для проведения опытной отработки энергоустановок на основе топливных элементов для нужд гражданских отраслей промышленности, включая нефтегазовый комплекс, а также для нужд МО РФ мощностью до **2,5 МВт**, их оборудования и систем. Возможно создание учебного центра для подготовки обслуживающего персонала.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ



- Научно-технологический потенциал предприятия в области технологий водородной энергетики позволяет оснащать морскую технику новой высокоэффективной и экологически чистой энергетикой и организовать трансфер этих технологий в автономную распределенную стационарную электроэнергетику и электрификацию всех видов транспорта.
- В сочетании с наиболее мощной в РФ опытно-экспериментальной базой это позволяет филиалу «ЦНИИ СЭТ» КГНЦ брать на себя практически любые задачи по созданию транспортных и стационарных установок мощностью от нескольких киловатт до нескольких тысяч киловатт при экономичности и экологической чистоте, недостижимых для любых других типов ЭУ.
- С учетом достигнутых научно-технических результатов предлагаем организовать проведение опытно-конструкторских работ по созданию универсального модуля электрохимического генератора для транспортных и стационарных применений, в том числе в условиях Крайнего Севера, с выходом в течение 2 – 3 лет на опытный и головной образец и последующим серийным производством продукции.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ