ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Опыт разработки водородных энергетических установок на топливных элементах и перспективы их использования для подвижного состава и стационарных объектов ОАО «РЖД»

И.К. Ландграф – заместитель директора по направлению водородной энергетики – главный конструктор НВЭ

М.А. Касаткин – начальник отдела главного конструктора

Санкт-Петербург
2019 г.

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА – ИННОВАЦИОННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 г., утвержденный Председателем Правительства РФ Д.А. Медведевым 3 января 2014 года № ДМ-П8-5

Приоритетное направление «Энергоэффективность и энергосбережение»

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей (окно возможностей – возникновение ограниченной во времени ситуации, создающей условия для занятия значимых позиций на глобальных и внутренних рынках, технологических прорывов, интеграции в мировые цепочки создания добавленной стоимости, решения крупных социально-экономических проблем)

1. Разработка новых технологий водородной энергетики

……

5. Глубокая переработка углеводородов и твердых топлив,

6. Высокоэффективные технологии разделения и очистки газовых смесей и жидкостей;

……

10. Улучшение экологических характеристик энергетических технологий;

……...

16. Повышение технико-экономических параметров теплоэнергетических установок;

Перспективные рынки, продукты и услуги

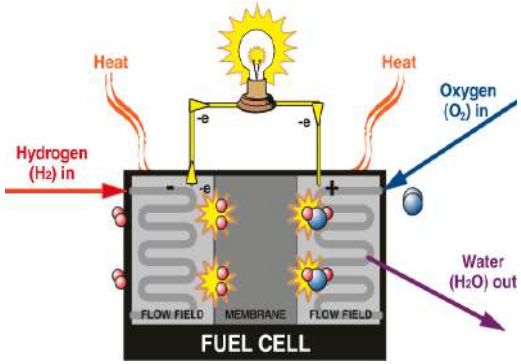
……

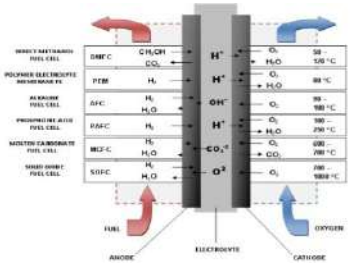
Топливные элементы с полимерной мембраной……

ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – ЛИДЕР СРЕДИ ТЕХНОЛОГИЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ – это гальванический элемент, в котором химическая энергия топлива преобразуется электрохимическим путем в электрическую энергию. Топливо и окислитель при этом непрерывно и раздельно подводятся к ячейке, в которой они реагируют на двух электродах.

Топливные элементы не являются конечным рыночным продуктом, во-первых, мощность единичного ТЭ достаточна мала, во-вторых, ТЭ не могут функционировать без соответствующей инфраструктуры

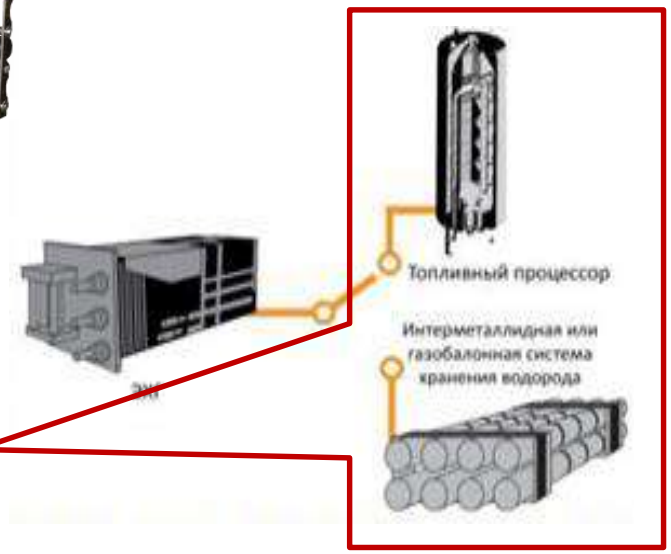




Принцип действия топливных элементов различных типов

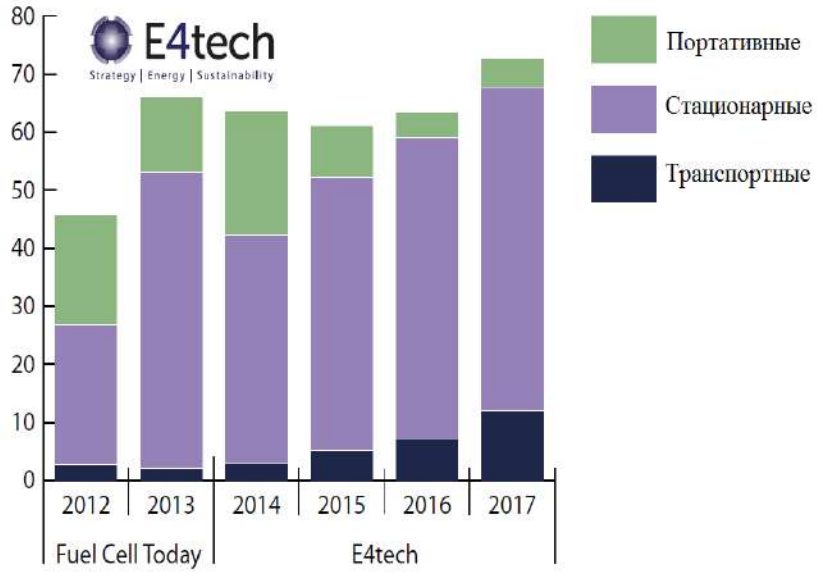
Батареи топливных элементов (БТЭ) представляют собой сборку последовательно соединенных топливных элементов для набора напряжения и мощности, оснащенную устройствами подачи топлива и окислителя, отвода продуктов реакции (вода) и тепла

Электрохимическая энергоустановка на топливных элементах (ЭУ с ТЭ) – это установка, предназначенная для выработки электрической энергии (и теплоты), включающая в себя БТЭ, системы хранения и подачи топлива и окислителя, отвода продуктов реакции, преобразования напряжения и тока (например, инвертор) и систему утилизации теплоты, генерируемой в ТЭ, например, для теплофикации (низкопотенциальная теплота) или получения электрической энергии (высокопотенциальная теплота) в паровой или газовой турбине (в концевом цикле)

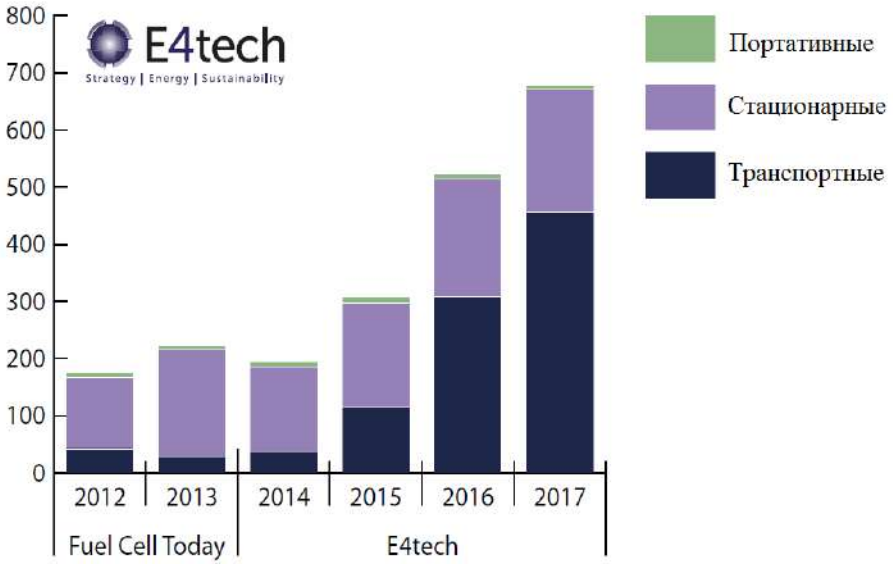


Системы хранения или генерации топлива

Поставки ЭУТЭ по сферам применения 2012 – 2017 гг.



Поставки по сферам применения 2012 – 2017 гг. (1000 штук)



Поставки по сферам применения 2012 – 2017 гг. (МВт)

Примеры успешного использования технологий водородной энергетики для рельсового транспорта и эффективного энергообеспечения инфраструктуры железных дорог

В Китае начал курсировать первый в мире водородный трамвай

Презентация французского поезда на водородном топливе, 03.09.2016 г.

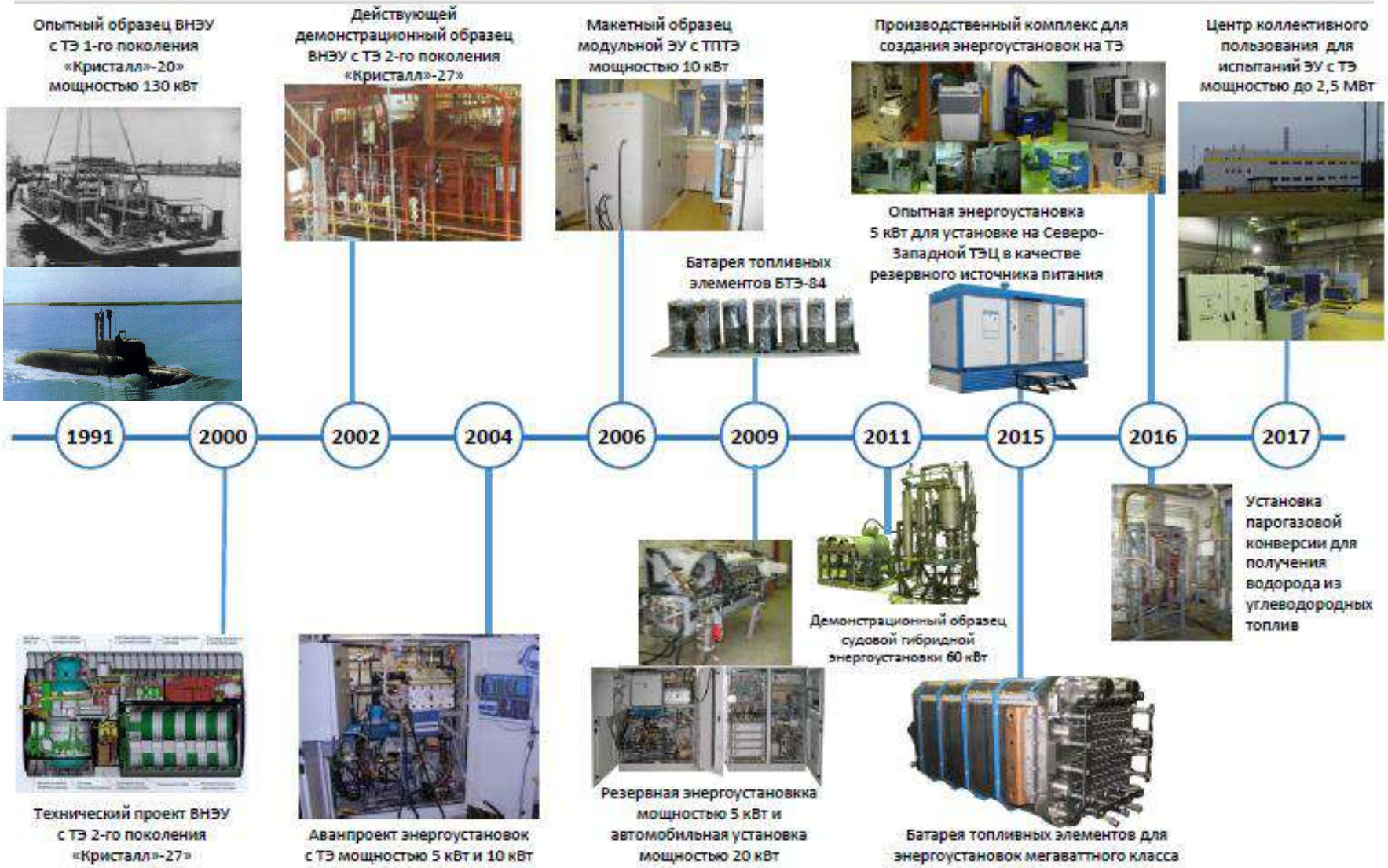
30 стационарных электростанций мощностью 200 кВт на водородных топливных элементах производства UTC Power
за 12 лет эксплуатации наработали 750 000 часов

Alstom начал строительство поездов с использованием БТЭ Hydrogenics; в соответствии с расчетами в каждом вагоне предполагается разместить 2х200 кВт установки. Опытная эксплуатация прошла в Нижней Саксонии (Германия), где оператор LNVG подписал заказ на 14 поездов с возможностью приобретения еще 33. Ожидается, что эти поезда в полном объеме будут задействованы в конце 2021 года. Другие регионы Германии также оформили заказы на поставку - 14 систем для Северного Рейна-Вестфалии, 20 для Гессена и 10 и еще 5 для Баден-Вюртемберга

НАПРАВЛЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Направление водородной энергетики (НВЭ) является структурным подразделением в составе филиала «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр», в котором выполняются прикладные исследования и разработки в области водородной энергетики по технологиям получения, хранения и транспортировки водорода, получения электроэнергии и тепла с использованием технологий низкотемпературных (40-80 ^{0}C) твердополимерных (ТПТЭ) и высокотемпературных (600-800 ^{0}C) твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), а также технологиям химических источников тока

Результаты разработок технологий водородной энергетики в филиале «ЦНИИ СЭТ»



Примеры разработок ЭУТЭ для транспортных применений

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 конвертором дизельного топлива и утилизацией тепла выхлопных газов в турбогенераторе (2011 год).

В октябре 2018 года для изучения условий эксплуатации транспортных средств с электродвижением на основе ЭУТЭ на стендовом комплексе филиала «ЦНИИ СЭТ» создана демонстрационная модель системы электродвижения с электропитанием от батареи топливных элементов БТЭ-50В

Примеры разработок ЭУТЭ для стационарных применений

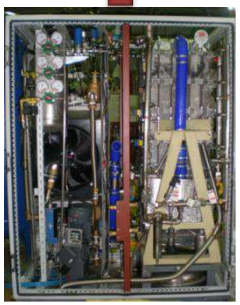
Резервная (аварийная) энергоустановка на топливных элементах РЭУ-5 на основе БТЭ-84 (2009 год).

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

Автономный источник энергии для стационарного применения мощностью 5–100 кВт с конвертором природного газа

Блок конверсии углеводородного топлива

Блок автоматики, преобразования и контроля



Блок энергетический

СОВМЕСТНЫЙ ПРОЕКТ ГОРОДОВ-ПОБРАТИМОВ

«Трансформация в сторону безвыбросного городского транспорта в Дрездене и Санкт-Петербурге»

Совместные предложения СПб ГУП «Горэлектротранс» и ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Экотрамвай

Речной экобот

Экогрузовик

Оснащение морской и речной техники энергоустановкой на топливных элементах

ЭКОБОТ

Оснащение морской и речной техники энергоустановкой на топливных элементах

Водородное топливо

Водородное топливо хранится в специальных ёмкостях. Рассматривается два варианта хранения: интерметаллидный и баллонный.

Топливные элементы

Прямое преобразование химической энергии топлива (водорода) в электроэнергию

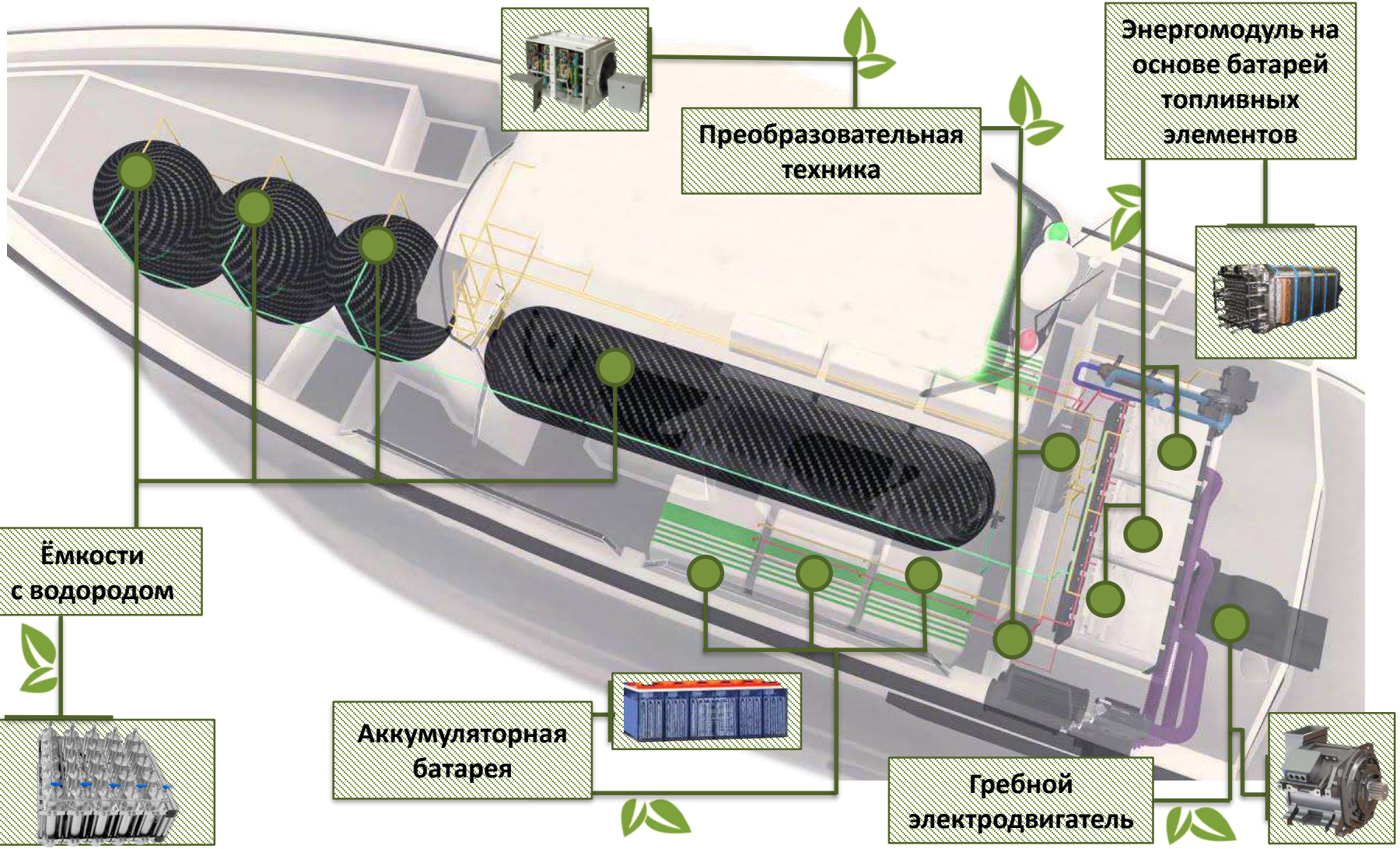
Абсолютная экологическая чистота

Высокая энергоэффективность и экономичность

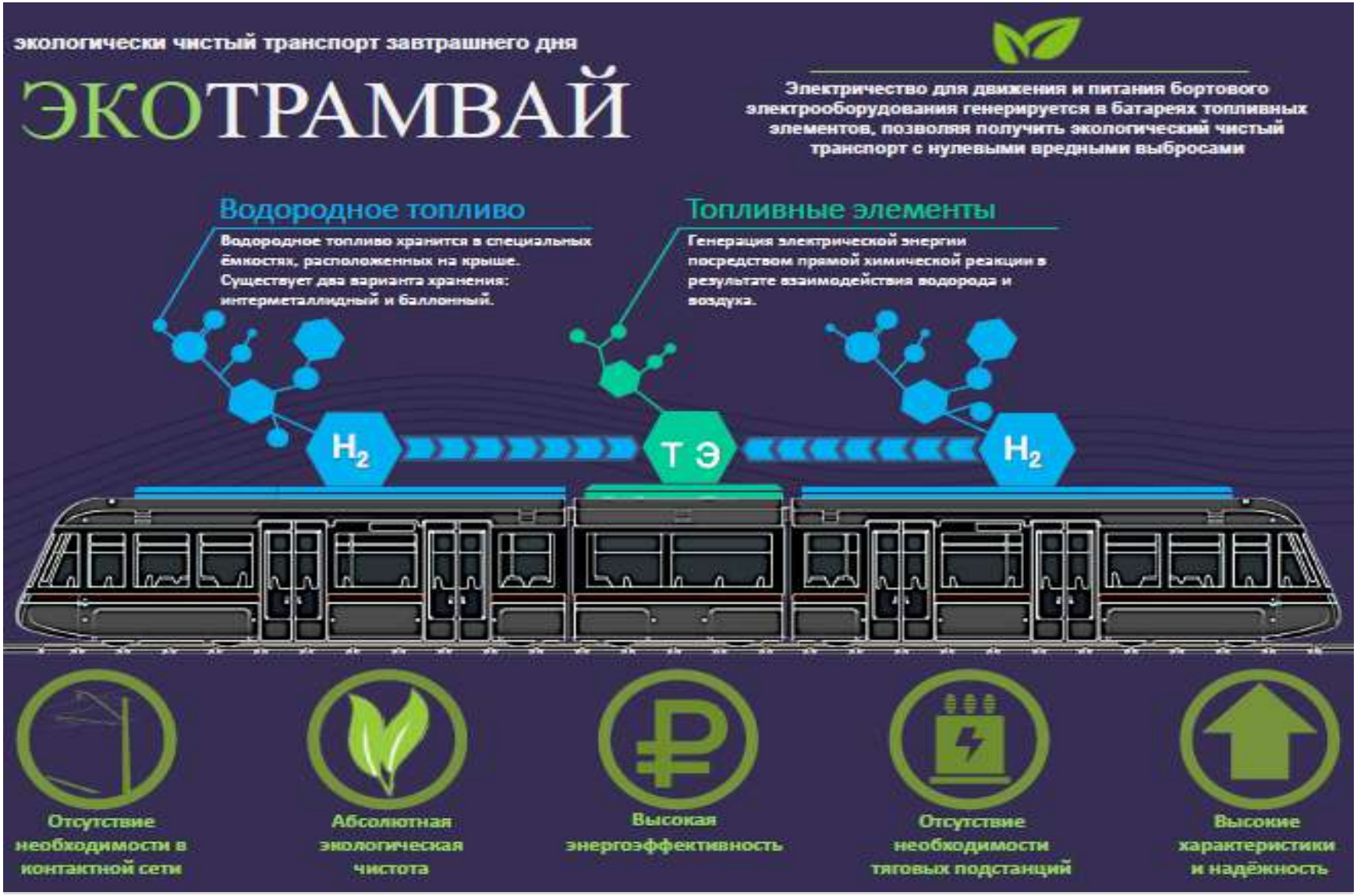
Низкие уровни шума и вибрации

Высокая эксплуатационная надёжность

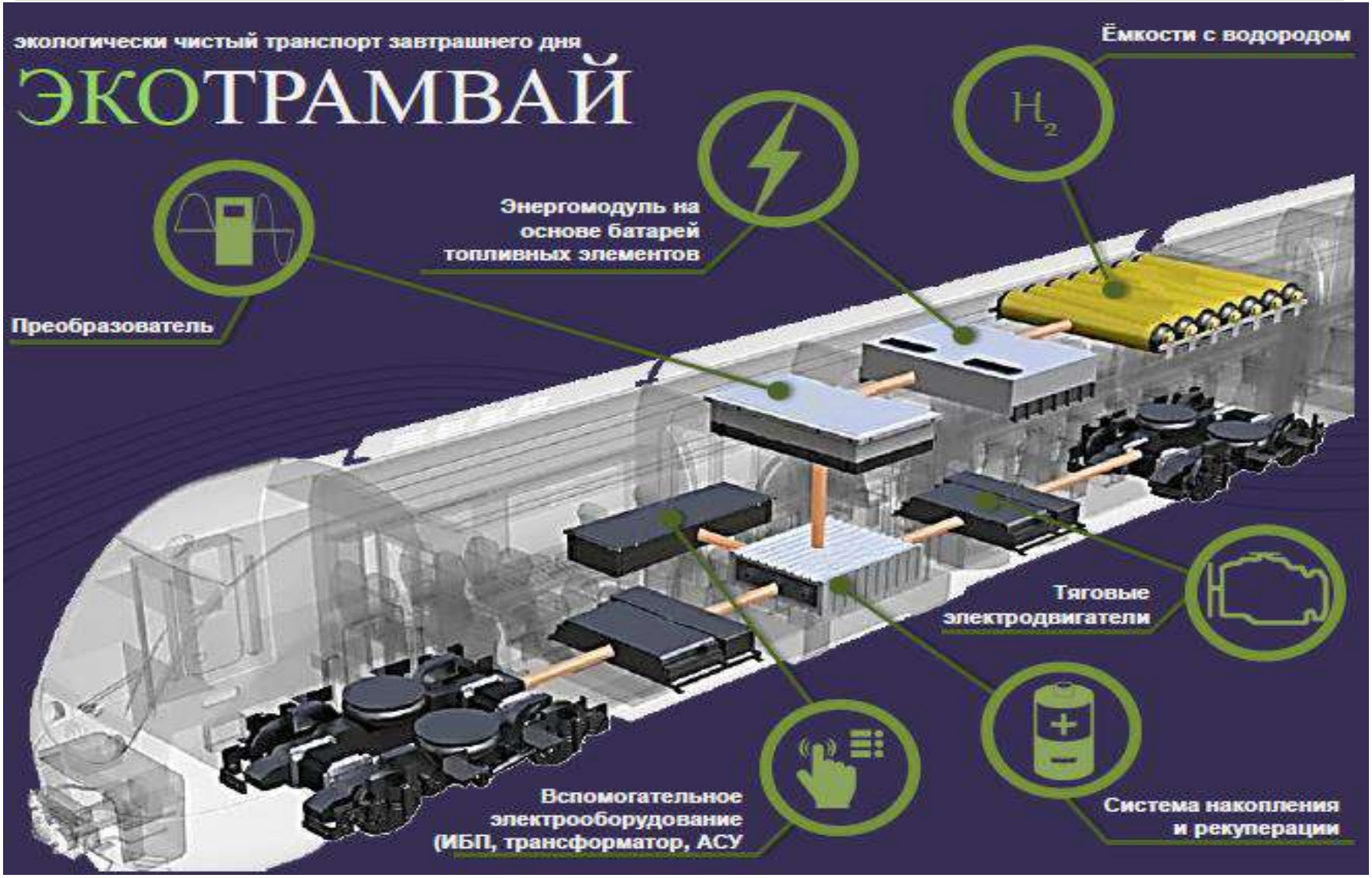
Оснащение морской и речной техники энергоустановкой на топливных элементах



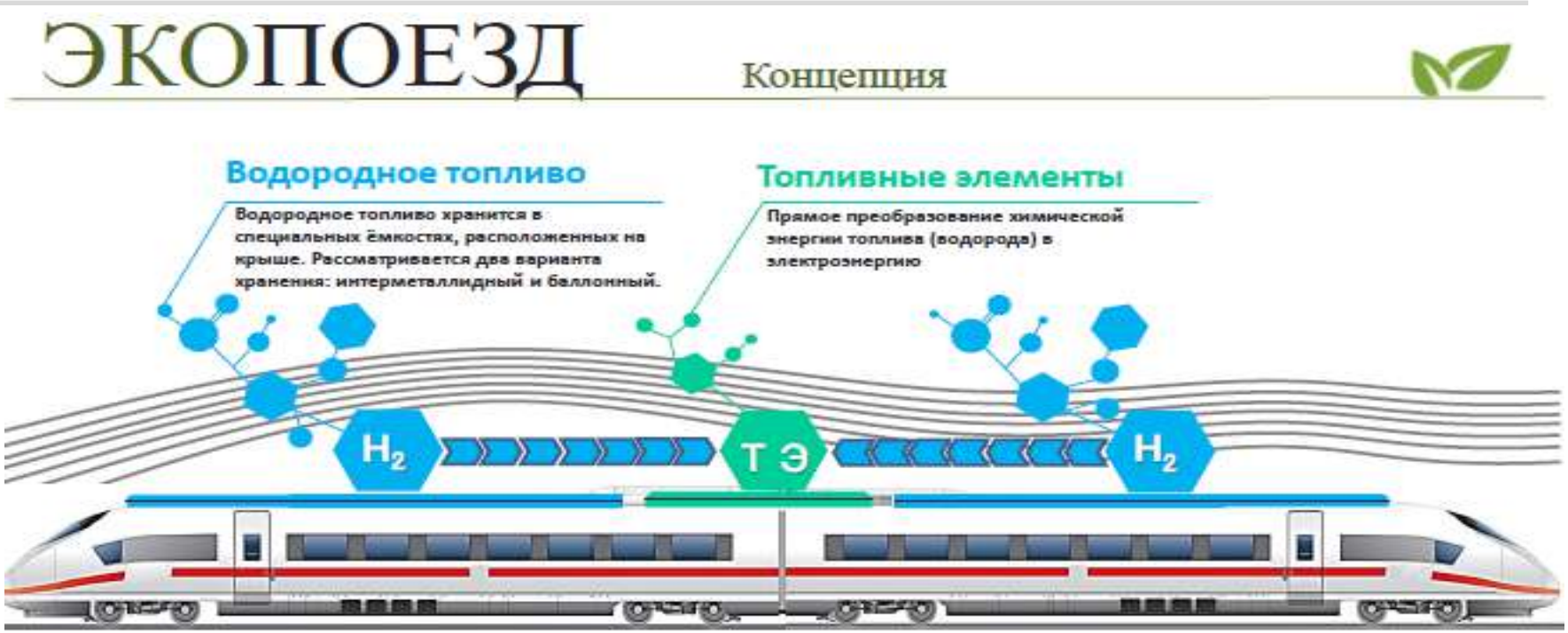
Оснащение трамвая энергоустановкой на топливных элементах



Оснащение трамвая энергоустановкой на топливных элементах



Применение энергоустановок на топливных элементах для железнодорожного транспорта



Отсутствие необходимости в контактной сети

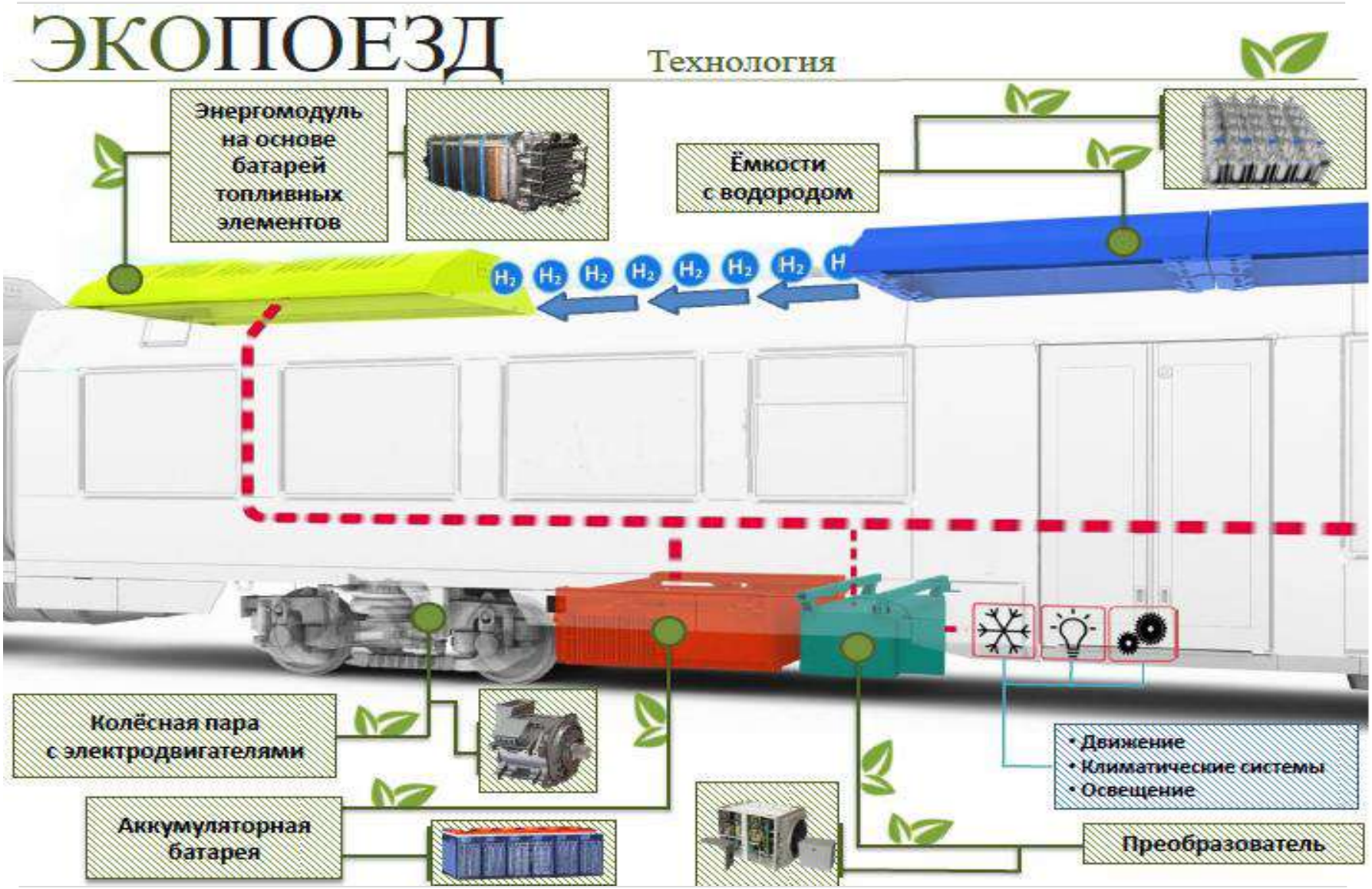
Абсолютная экологическая чистота

Высокая энергоэффективность и экономичность

Низкие уровни шума и вибрации

Высокие эксплуатационная надёжность

Применение энергоустановок на топливных элементах для железнодорожного транспорта



Водородная заправочная инфраструктура

Станция заправки водородом на основе конверсии углеводородного топлива (природного газа)

Преимущества по сравнению с традиционным вариантом:

- снижение затрат электроэнергии
- уменьшение объема систем и оборудования с 36 до 7 м^3
- повышение надежности и срока службы

Станция заправки водородом на основе электролиза воды

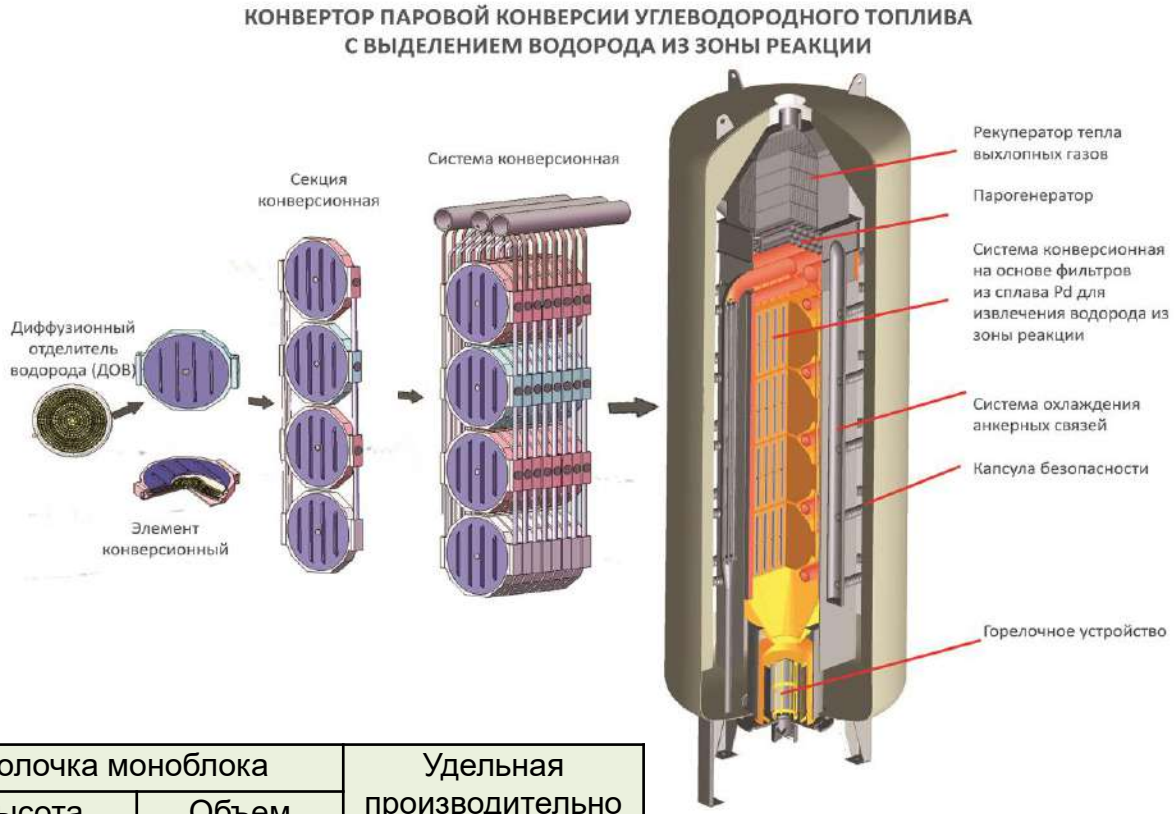
Установка включает в себя :

- электролизер
- компрессор
- резервуар-хранилище водорода
- заправочные колонки

ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЕ ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА

Безопасная и надежная система хранения водорода в интерметаллидных накопителях

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



Мощность ЭХГ с моноблоком конвертора, кВт	Внешняя оболочка моноблока			Удельная производительность по водороду нм3/м3
	Диаметр корпуса, мм	Высота корпуса, мм	Объем корпуса, м3	
10	600	2000	0,57	12
100	1000	2300	1,85	36
1000	1800	3000	7,63	87

Практическая реализации технологии получения чистого водорода методом конверсии углеводородного топлива

Конвертор углеводородного топлива с извлечением водорода непосредственно из зоны реакции

В чем привлекательность использования ЭУ на основе ЭХГ на рельсовом транспорте и для инфраструктуры железных дорог?

1. Отсутствие необходимости широкомасштабного развития контактных сетей.
Например, сеть железных дорог в Псковской области можно не электрифицировать, а обслуживать подвижным составом на основе СЭД с ЭУТЭ.

2. Абсолютная (при использовании водорода) или на порядки лучшая (при использовании первичного углеводородного топлива) экологическая чистота подвижного состава.
Особенно важно для подвижного состава, работающего в условиях крупных ж/д узлов и в тоннелях.

3. Высокая энергоэффективность, позволяющая решать вопросы энергоресурсосбережения.
Экономичное использование топлива (водорода) на всех режимах работы, при этом потребление водорода менее 0,06 кг/кВт*ч на всех режимах нагрузки.

4. Значительно меньшие показатели уровня шума и вибрации
В ЭУТЭ практически отсутствуют вращающиеся части и механизмы.

5. Высокие эксплуатационные характеристики и показатели надежности
Плавные вольтамперные характеристики, высокая маневренность и эффективность во всем диапазоне нагрузок.
Низкие затраты на эксплуатацию, связанные в том числе с возможностью автономной, без обслуживания, эксплуатации в течение 6 -12 месяцев.
Достаточно высокий ресурс основного оборудования (до 40000 час.).
Возможность неограниченно долгого хранения электроэнергии в виде первичного топлива, в качестве которого выступают либо водород, либо различные виды углеводородного топлива

Предложения ФГУП «Крыловский государственный научный центр» для ОАО «РЖД»

Объект оснащения ЭУТЭ	Вид объекта	Назначение ЭУТЭ	Технические преимущества	Уровень проработки проекта
Локомотивы маневровые, техника для работы в тоннелях		Замена тепловых двигателей	Абсолютная экологичность, энергоэффективность	Проработано для трамвая и буксира
Пассажирские поезда региональных маршрутов		Замена тепловых двигателей	Абсолютная экологичность, энергоэффективность	Проработано для трамвая и буксира
Рельсовый автобус		Замена тепловых двигателей	Абсолютная экологичность, энергоэффективность	Проработано для трамвая и буксира
Автомотрисы		Замена тепловых двигателей	Улучшенные эколог. показатели, повышение автономности	Техническое предложение
Стационарные объекты РЖД		Электро-теплоснабжение	Независимость от электросетей, высокая энергоэффективность, энергоресурсосбережение	Техническое предложение, оценка окупаемости проекта

Предложения ФГУП «КГНЦ» для РЖД
Автомотриса адм-1 агрс. на основе ЭУ с ЭХГ

Первый вариант ЭУ с ЭХГ на ТПТЭ с использованием в качестве топлива чистого водорода включает в себя: блок баллонного хранения и подачи водорода, баллон инертного газа, блок энергетический с ЭХГ, блок силовой электроники и автоматики.

Второй вариант ЭУ с ЭХГ на ТПТЭ с использованием в качестве топлива метанола включает в себя: блок хранения и подачи метанола, баллон инертного газа, топливный процессор (конвертор метанола), блок арматуры, блок энергетический с ЭХГ, блок силовой электроники и автоматики.

Основные технические характеристики ЭУ с ЭХГ на ТПТЭ

Напряжение, выдаваемое потребителю – 380 АС В.

Номинальная мощность ЭУ – 200 кВт.

Для автомотрисы с баллонным хранением водорода:

Время автономной работы – до 14 ч.

Масса – около 3 т.

Объем – около 4 м^3.

Для автомотрисы с конвертором метанола:

Время автономной работы – до 50 ч.

Масса – около 8 т.

Объем – около 10 м^3.

Предложения филиала «ЦНИИ СЭТ» для РЖД

Энергетическая установка на топливных элементах для служебно-технических зданий и объектов хозяйственного назначения

УТВЕРЖДАЮ
Старший вице-президент ОАО «РЖД»

_____ В.А.Гапанович

«___» ____декабря____ 2015 г.

Энергетическая установка на топливных элементах для служебно-технических зданий и объектов хозяйственного назначения

Технические требования

ТПС03.ЭУ01.ВНИИЖТ.ТТ01

СОГЛАСОВАНО
Заместитель Генерального директора ОАО «ВНИИЖТ»

_____ О.Н.Назаров
«28» декабря 2015 г.

Начальник Департамента технической политики ОАО «РЖД»

_____ А.С.Назаров
«28» декабря 2015 г.

Главный инженер Управления объектов технологического и коммунального назначения Департамента управления имуществом ОАО «РЖД»

_____ А.Г.Лазарев
«28» декабря 2015 г.

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв.№ | Инв.№ дубл. | Подп. и дата

Железнодорожная станция Толоконцево

Предложения филиала «ЦНИИ СЭТ» для РЖД

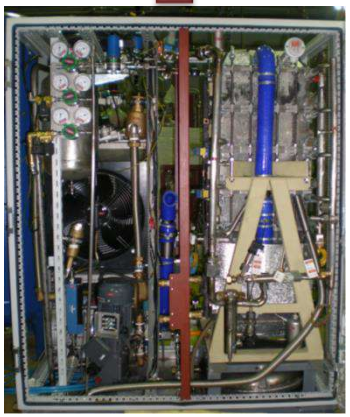
Энергетическая установка на топливных элементах для служебно-технических зданий и объектов хозяйственного назначения ЖД-станция Толоконцево.

Автономный источник энергии для стационарного применения мощностью 5 – 100 кВт с конвертором природного газа.

Срок окупаемости инвестиций 8,9 лет

Блок конверсии углеводородного топлива

Блок автоматики, преобразования и контроля



Блок энергетический

НАПРАВЛЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАПРАВЛЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА

Комплекс стендов для отработки ЭУ с ТЭ на соответствие требованиям к продукции и их сертификации:

1. **Стенд ЭХГ для отработки и испытаний модулей ЭХГ мощностью до 500 кВт, а также входящего в его состав оборудования и критических узлов.**
2. **Стенд для отработки и испытаний систем хранения и подачи топлива, включая участок отработки интерметаллидных накопителей.**
3. **Стенд для отработки и испытаний оборудования и систем генерации водорода, включая конверсию углеводородного топлива.**
4. **Стенд для испытаний продукции в условиях, имитирующих условия эксплуатации.**
5. **Стенд для отработки и испытаний системы утилизации продуктов окисления.**

Характеристики комплекса:

- **площадь тер. - 96000 м^2, площадь здания - 7000 м^2, площадь МЗ - 1700 м^2, 9 стендовых помещений, каждое площадью около 70 м^2;**
- **системы производства, хранения и выдачи водорода, кислорода, азота;**
- **система получения и подачи сжатого воздуха;**
- **система приема, хранения и выдачи сжиженного природного газа, дизельного топлива;**
- **крановое оборудование грузоподъемностью до 50 т.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **Научно-технологический потенциал Предприятия в области технологий водородной энергетики, созданный в первую очередь в интересах развития морской техники, позволяет организовать трансфер технологий ЭУТЭ в электрификацию всех видов транспорта и в автономную распределенную стационарную электроэнергетику транспортной инфрастуктуры.**
- **В сочетании с наиболее мощной в РФ опытно-экспериментальной базой это позволяет Предприятию 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**