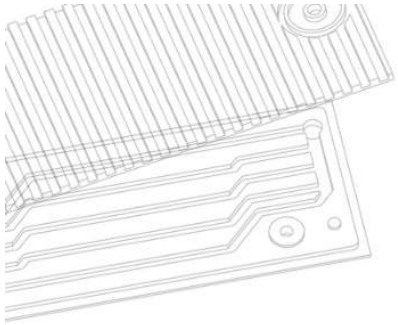
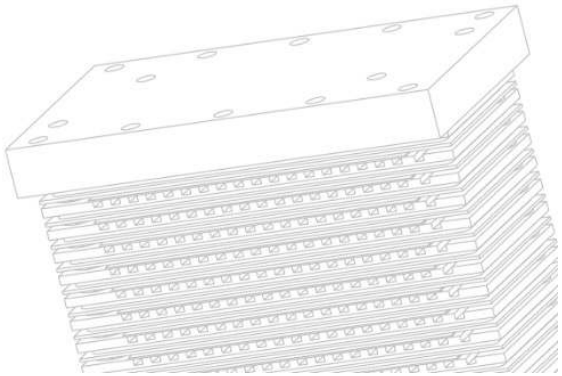
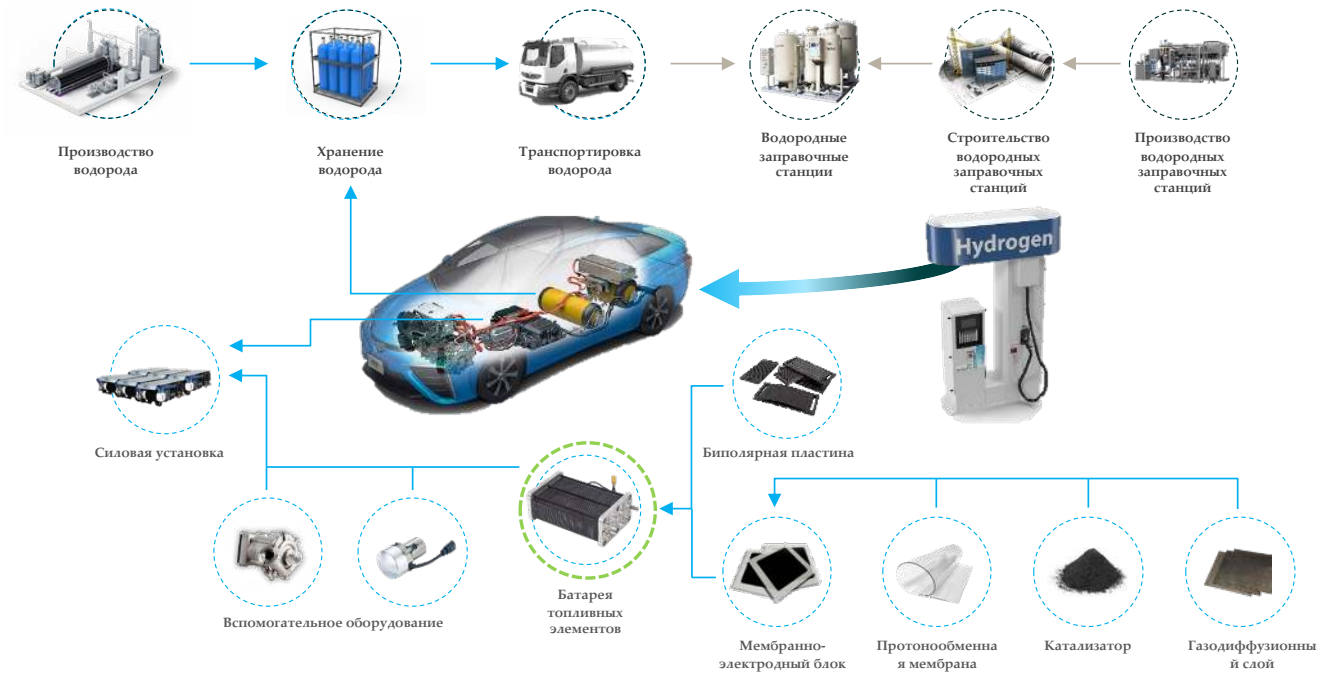


Отечественные материалы, компоненты и технологии топливных элементов

Левченко Алексей Владимирович
к.х.н., руководитель Центра компетенций НТИ на базе ФИЦ ПХФ и МХ РАН



Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Проблемы внедрения



Инфраструктурные
Административные
Технологические:

а. высокая стоимость
б. сложность обвязки
в. удельные характеристики

Увеличение удельных характеристик

↓

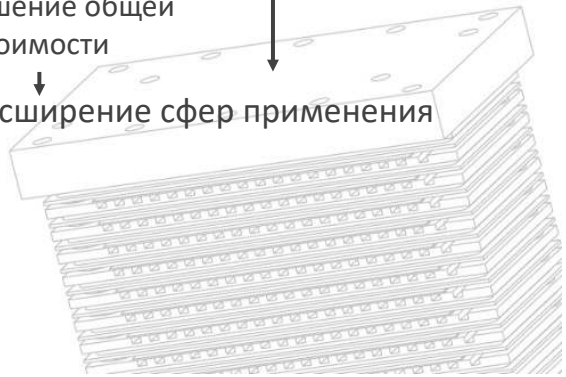
Уменьшение количества дорогостоящих материалов

↓

Уменьшение общей стоимости

↓

Расширение сфер применения



Типы конструкции батарей топливных элементов

С жидкостным охлаждением закрытым катодом







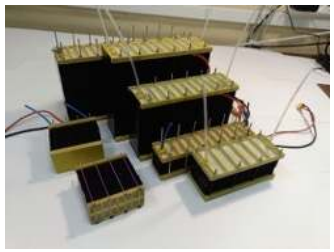
Мощность от 5 кВт
Удельная мощность на батарею – 1,5-4 кВт/кг
– 1,5-4 кВт/л
Номинальная плотность мощности 0,5-1 Вт/см^2

3

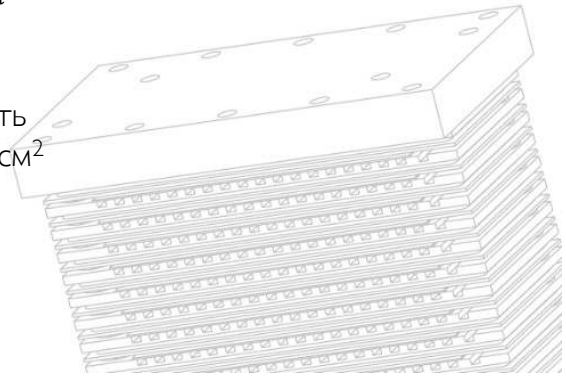
С воздушным охлаждением открытым катодом





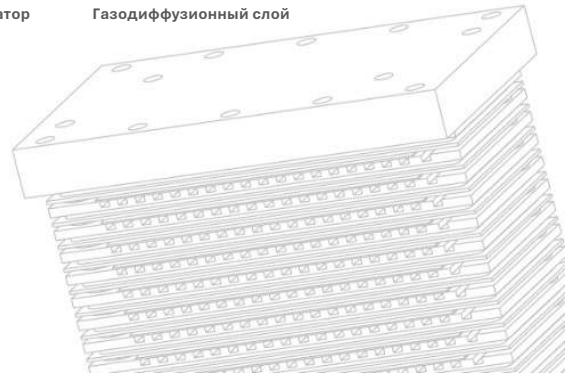


Мощность до 10 кВт
Удельная мощность на батарею – 0,6-2 кВт/кг
– 0,5-1 кВт/л
Номинальная плотность мощности 0,15-0,6 Вт/см^2

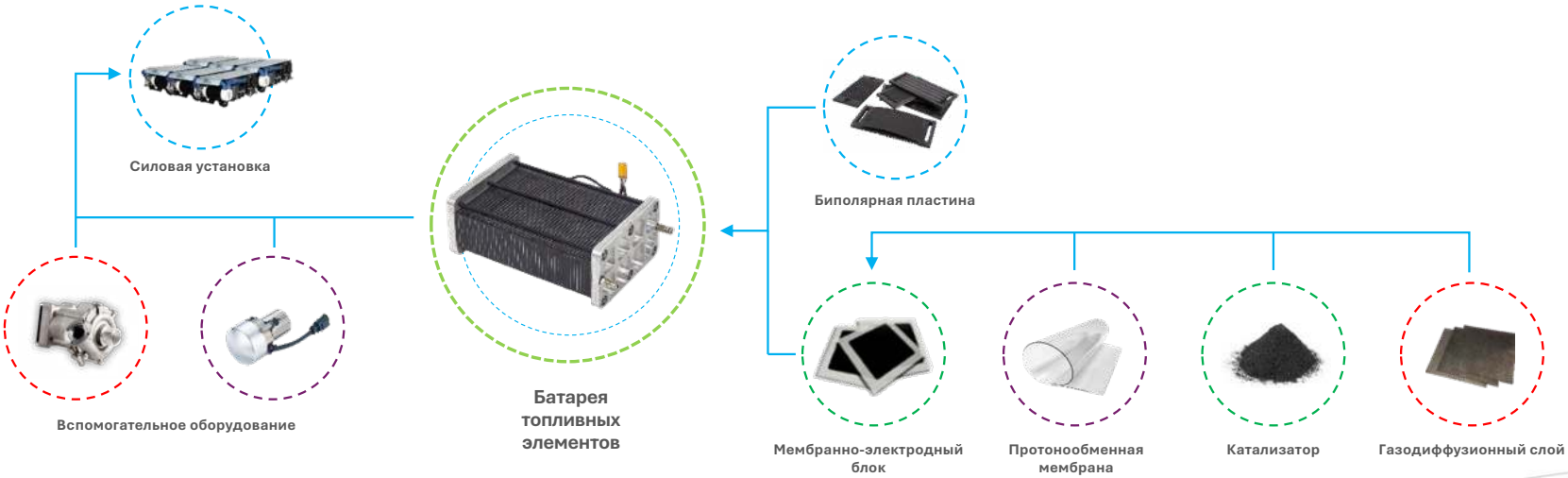


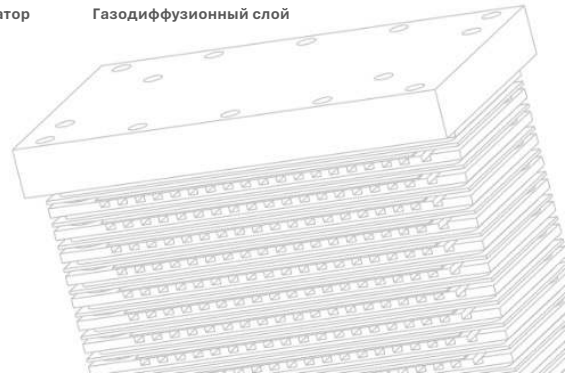
Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Материалы

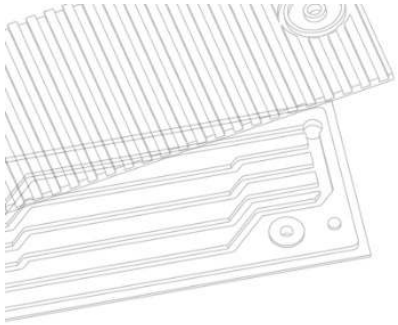




Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Материалы







Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Материалы

Полностью локализовано, создано опытное производство для БТЭ с воздушным охлаждением

Разработана лабораторная технология, ведутся работы по масштабированию на закупленном оборудовании

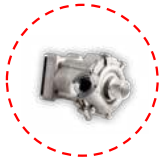


Силовая установка



Биполярная пластина







Вспомогательное оборудование

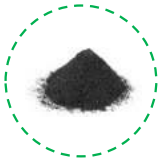
Батарея топливных элементов



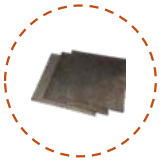
Мембранно-электродный блок



Протонообменная мембрана



Катализатор

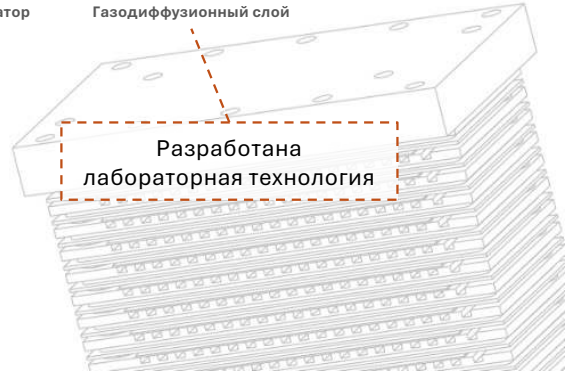


Газодиффузионный слой

Частично локализовано, изготовлены опытные образцы БТЭ с жидкостным охлаждением

Полностью локализовано, создано опытное производство для БТЭ с воздушным охлаждением

Полностью локализовано, создано опытное производство

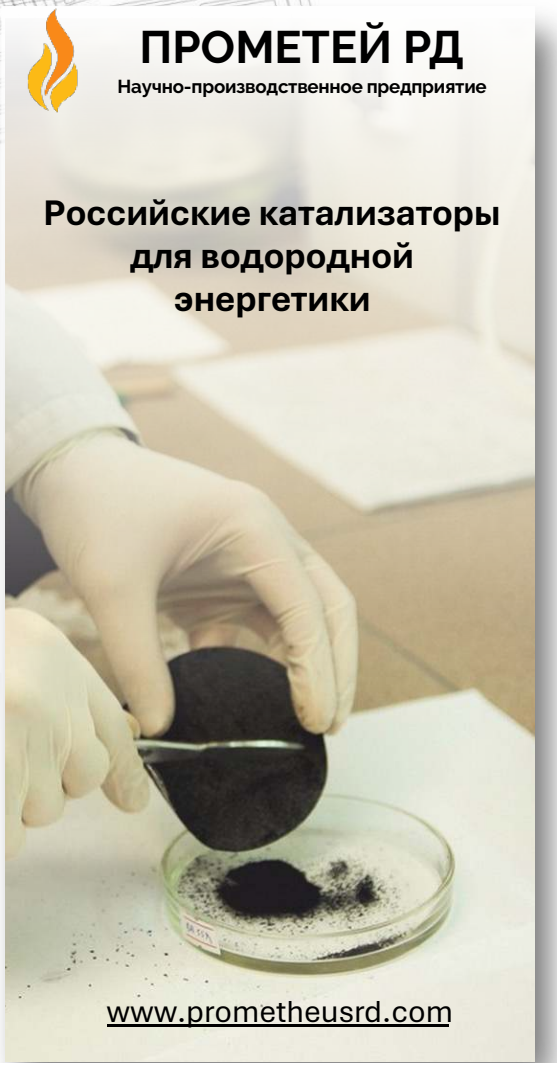


Разработана лабораторная технология

Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Катализаторы

ПРОМЕТЕЙ РД
Научно-производственное предприятие

Российские катализаторы для водородной энергетики



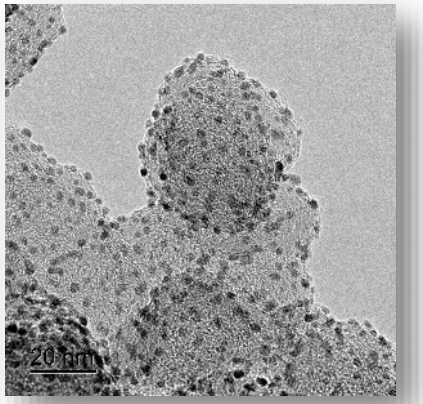
www.prometheusrd.com

Катализаторы для КАТОДА и АНОДА топливных элементов с ПОМ

PromeCat

1. Высокоэффективные платиноуглеродные электрокатализаторы Pt/C
с содержанием платины
от 5 до 70% (марка РМ)

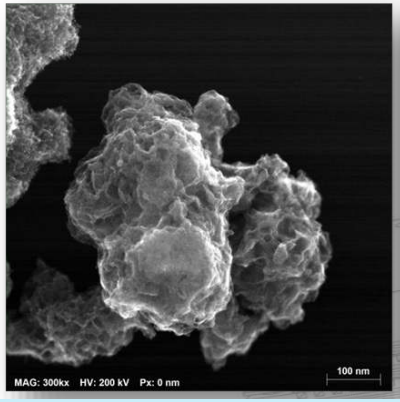
2. Электрокатализаторы биметаллические:
- Платино-медные
- Платино-кобальтовые
- Платино-никелевые
- Платино-рутениевые



Катализаторы для АНОДА электролизера с ПОМ

1. Иридиевый катализатор IrO_x
Металлический иридий с окисленной поверхностью

2. Катализаторы биметаллические:
- Иридий-платиновые
- Иридий-рутениевые

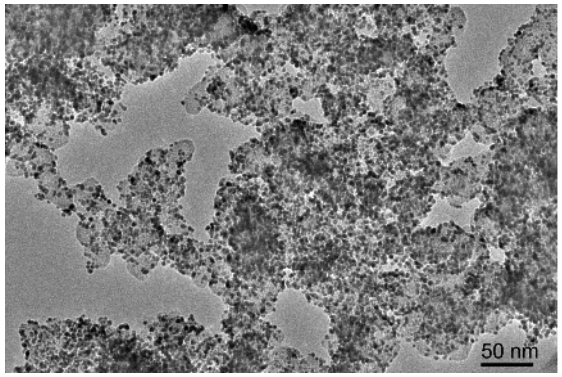


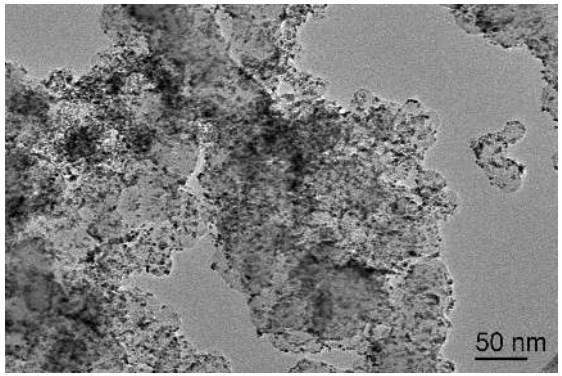
Катализаторы для КАТОДА электролизера с ПОМ

Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Катализаторы

группа компаний inenergy

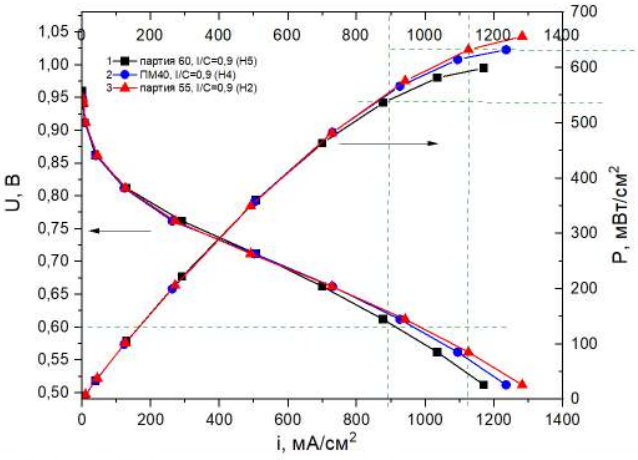
Катализаторы для КАТОДА и АНОДА топливных элементов с ПОМ



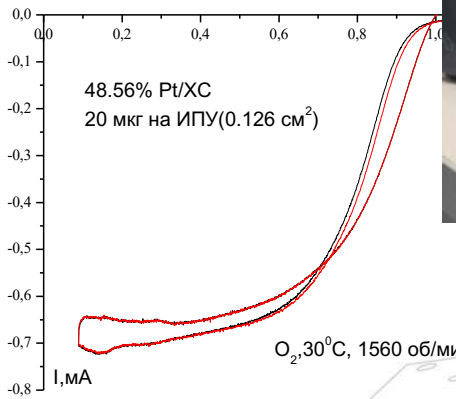


1. Высокоэффективные платиноуглеродные электрокатализаторы Pt/C
с содержанием платины
от 10 до 60%

2. Электрокатализаторы на неуглеродном носителе и композитные

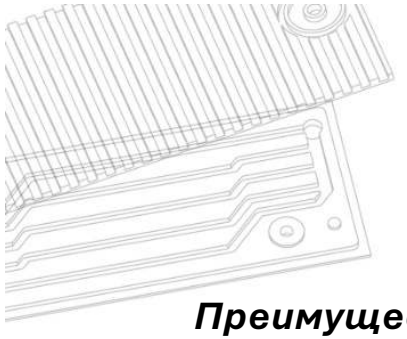






Патент на изобретение RU2646761C2
Способ получения электрокатализатора платина на углероде

Технические условия на производство:
ТУ 21.41-016-89376778-2022
ТУ 21.41-017-89376778-2022

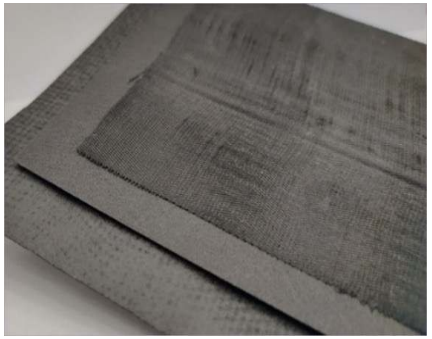


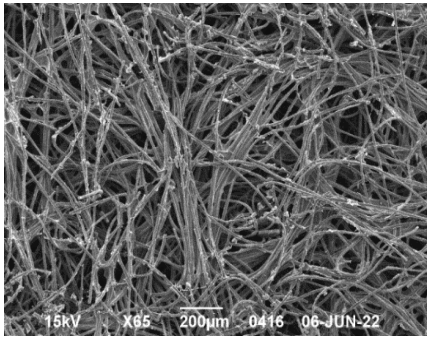
Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Газодиффузионные слои

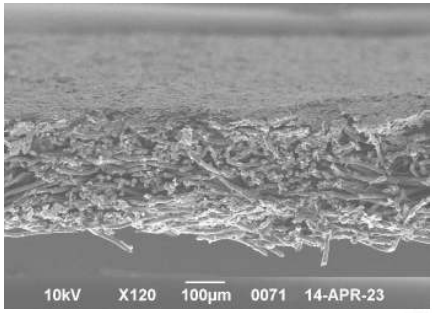
FtorTex

Преимущества:

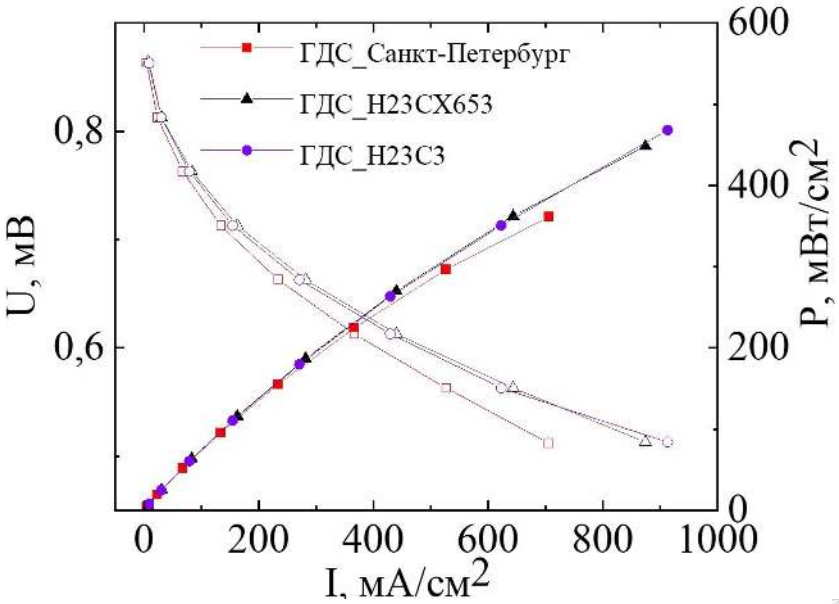
1. Использование отечественно сырья;
2. Стоимость до 40% меньше зарубежных аналогов;
3. Благодаря инновационной технологии удаётся сократить число стадий производства 2 раза;
4. Универсальность технологии (все типы углеродных основ – нетканый мат







Свойства		На основе нетканого материала	На основе бумаги	
Толщина, мкм		220	200	
Поверхностная плотность, г/м2		130	110	
Общая пористость, %		70	75	
Удельное сопротивление	в плоскости, мОм·см	50	50	
	поперек плоскости, мОм/см^2	20	10	



ФторТекс – газодиффузионные слои для топливных элементов

Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Дисперсия иономера

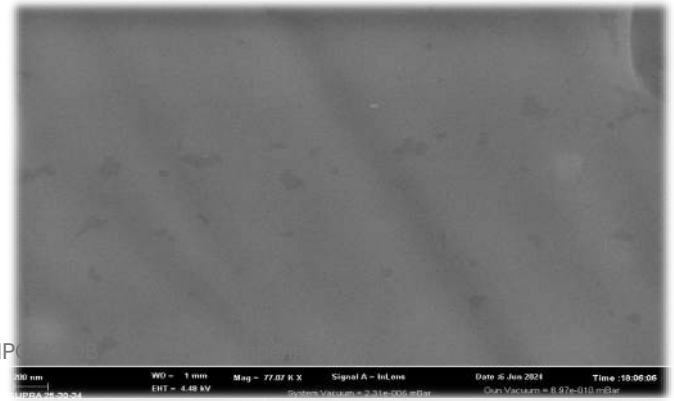
- Разработана **оригинальная методика получения дисперсий**, позволяющая проводить процесс всего за 10-15 мин (вместо 18-24 ч)

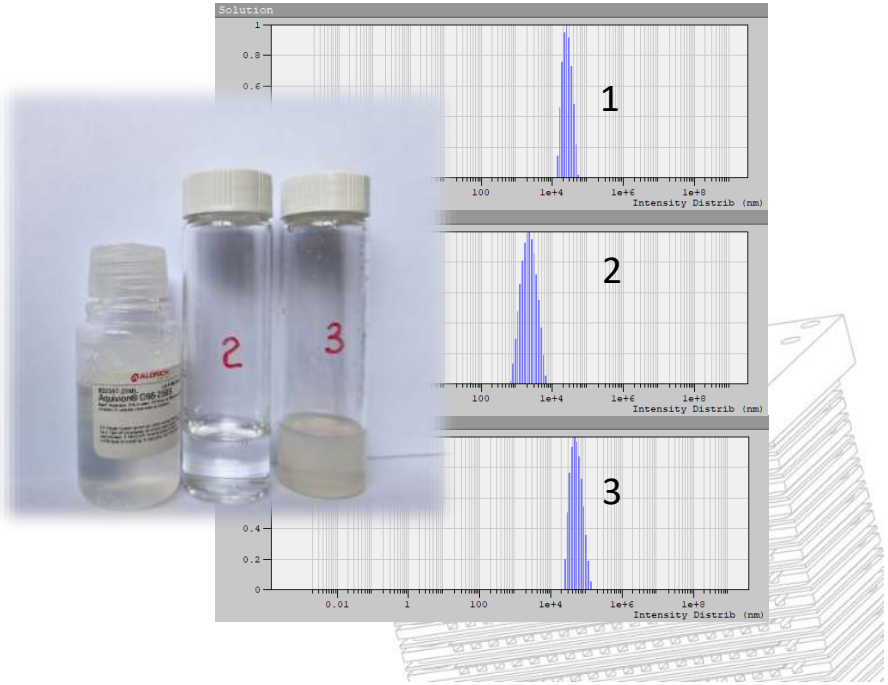
- Разработаны **методики приготовления дисперсий** иономера для различных задач в серии растворителей и их смесей:

(вода, ИПС, ДМСО, циклогесанол, ДММА, ДМФА, пропанол-1)

- **Аттестованы физико-химический свойства полученных дисперсий** в сравнении с коммерческими образцами дисперсий Aquivion и Nafion методами DLS, SEM, SAXS и вискозиметрии

№	Иономер	Растворитель	Диаметр частиц, мкм
1	Aquivion by Solvay	Вода	6
2	Инион-К (Н+)	Вода/ИПС	5
3	Инион-К (Н+)	Циклогесанол	6





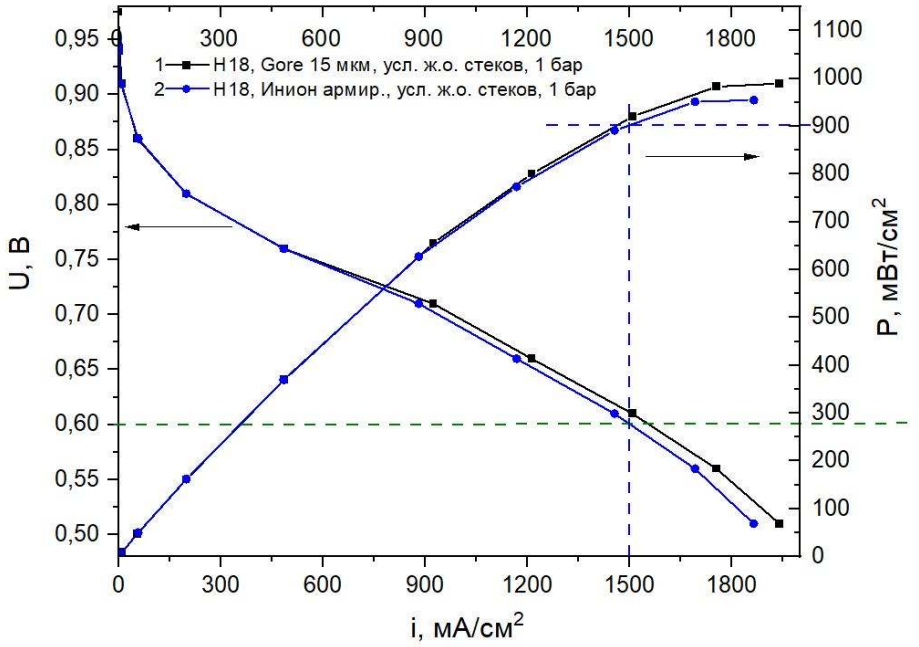
Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: мембраны

Получение мембран **методом полива в лабораторных условиях**:

- Дозирующее лезвие (Blader);
- Щелевая экструзия дисперсии (Slot-die).

Образец	Средняя толщина сухой мембраны, мкм	Проницаемость по H_2 x10^9, моль/м/с/МПа	Проводимость (70% RH), См/см
Nafion 211	25	6,5	0,035
Инион-К (Н+)	20	4,7	0,032





ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

- Свойства (вязкость, размер частиц и т.д.) в коммерческих и приготовленных в рамках Проекта дисперсиях **сопоставимы**
- Свойства лабораторных образцов мембран **сопоставимы** с коммерческими Nafion 211 и Gore 735.15

Топливные элементы с протон-проводящей мембраной:
Топливные элементы с воздушным охлаждением





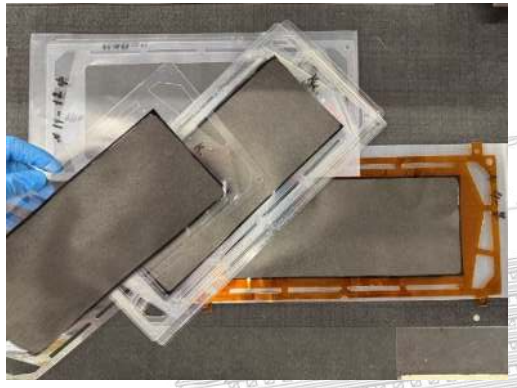
Приготовление каталитических чернил/паст



Формирование каталитических слоев на тефлоне



Перенос каталитических слоев на мембрану



Формирование МЭБ

Методы формирования каталитических слоев на тефлоне:

Ультразвуковое напыление

Преимущественно для отработки свойств материалов и для небольших серий МЭБ

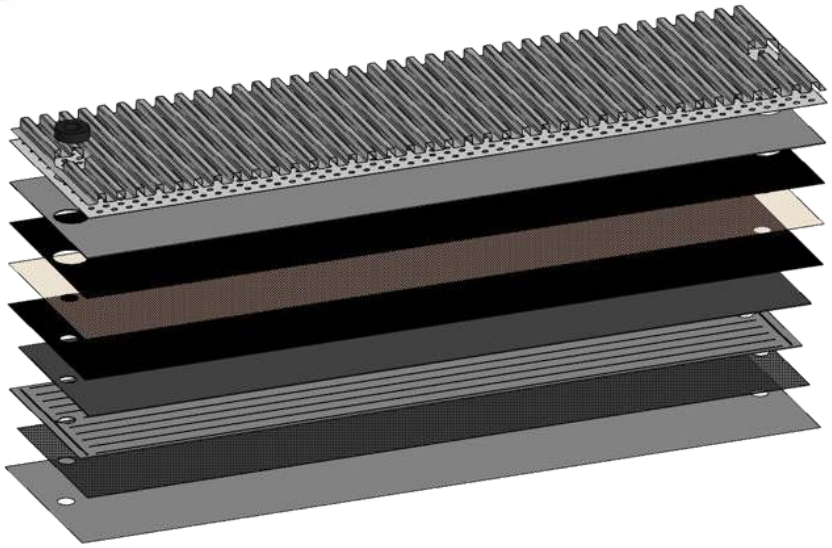
Метод трафаретной печати

Отработка составов паст, опытное производство МЭБ площадью до 340 см^2

Slot-die, метод щелевой экструзии

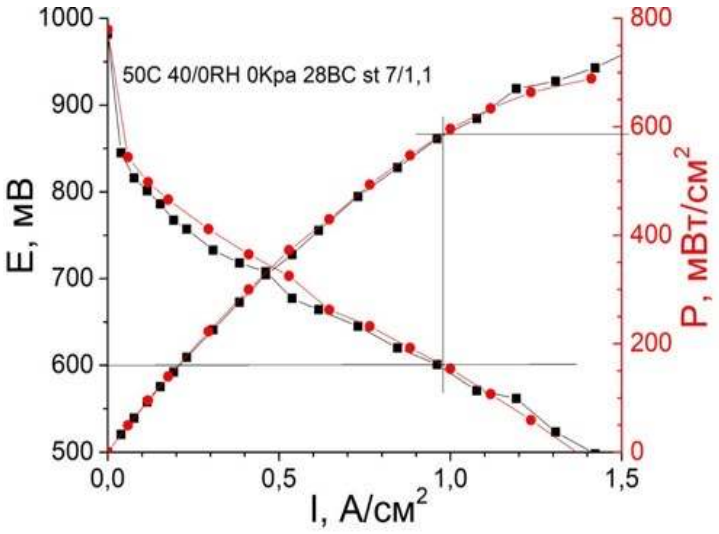
Отработка составов паст, опытное производство МЭБ площадью до 340 см^2

Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Топливные элементы с воздушным охлаждением



Подготовка к сертификации СТ-1.

Каждый единичный топливный элемент состоит не менее чем из 10 функциональных функциональных слоёв. Имеет вес не более 14 г. Обеспечивает мощность до 25 Вт в выпускаемых образцах (350 мВт/см^2). В экспериментальных образцах батарей достигается мощность 28-32 Вт/МЭБ (400-450 мВт/см^2). В лабораторных ячейках ~ 600 мВт/см^2.

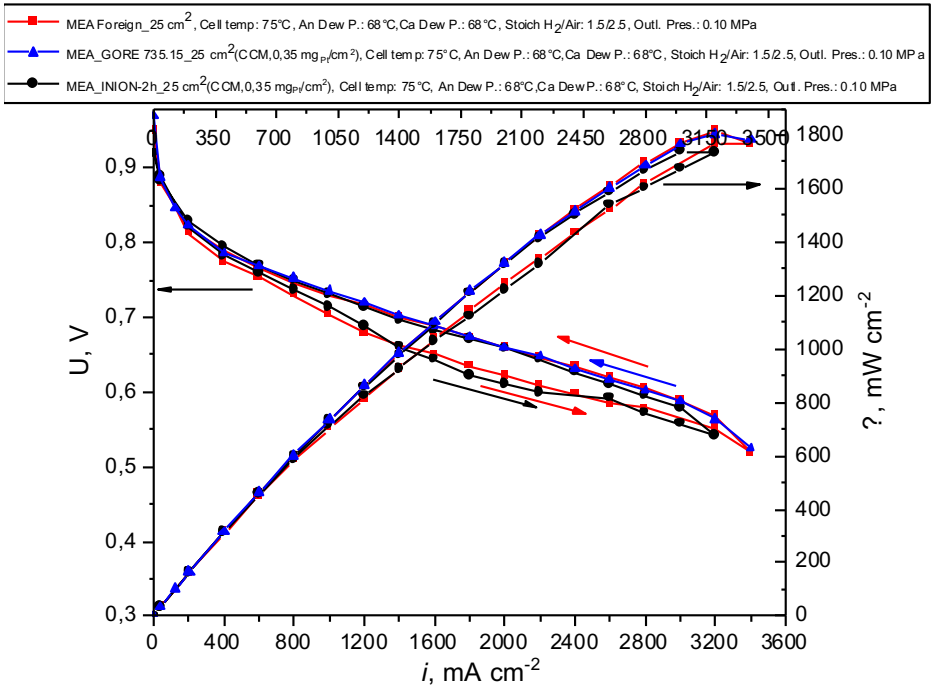


* Для представленного габарита

- Батарея топливных элементов и способ ее изговтоления ноу-хау 12рсо 14.10.2019 "Чуб А.В., Левченко А.В., Галин М.З., Герасимова Е.В.«
- Изготовление мембранно-электродного блока ноу-хау 20рсо 24.12.2019 Левченко А.В., Чуб А.В., Галин М.З., Добровольский Ю.А., Герасимова Е.В.
- Мембранно-электродный блок для сверхлегких топливных элементов ноу-хау 22рсо 24.12.2019 Левченко А.В., Чуб А.В., Галин М.З., Добровольский Ю.А., Герасимова Е.В.
- Вспомогательный катодный слой ноу-хау 10рсо 20.06.2022 Галин М.З., Чуб А.В., Левченко А.В.

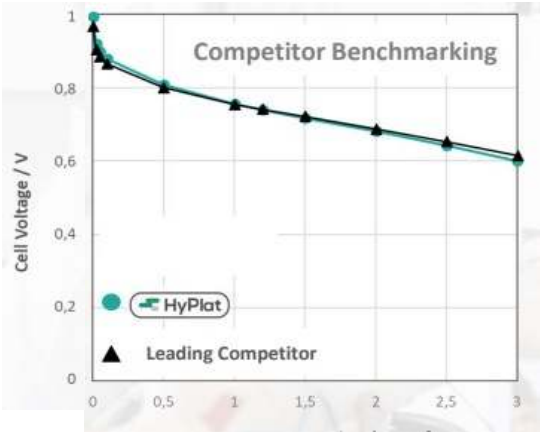
Топливные элементы с протон-проводящей мембраной: Топливные элементы с жидкостным охлаждением

Протестировано более 10 зарубежных производителей МЭБ, лучшие характеристики – ВАХ красным



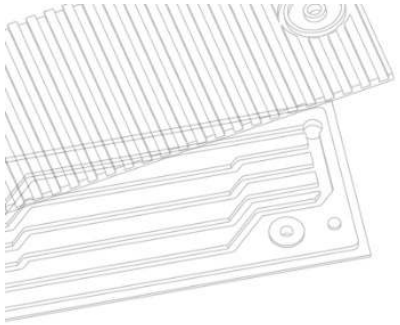
Вольт-амперные и мощностные характеристики МЭБ иностранного производства (красный) и МЭБ (Gen 5) с мембраной ИНИОН собственного производства (черный).

Достигнутая удельная мощность на МЭБ (Gen 5) с отечественным **катализатором**, **иономером** и **мембраной** при 0,6 В составляет **1,4 Вт/см²** и выше, что на уровне мировых показателей МЭБ для ПОМТЭ



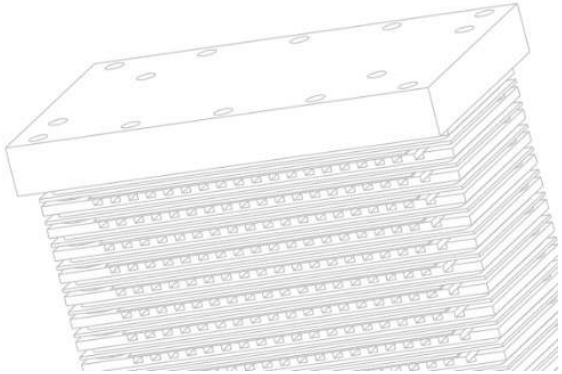
Дальнейшие планы:

- Ресурсные, деградационные испытания МЭБ, стресс-испытания в условиях колебания влажности;
- Улучшение характеристик за счет оптимизации каталитических слоев, введения добавок;
- Переход на ГДС отечественного производства.



Алексей Левченко

a.levchenko@icp.ac.ru
+7(926)025-17-13
www.npenergy.ru



Испытательный стенд технологий хранения и компримирования водорода, водородных спасательных БПЛА и переносных водородных зарядных станций











Беспилотный летательный аппарат мультироторного типа малой размерности с энергоустановкой на основе топливных элементов

Основные функции:

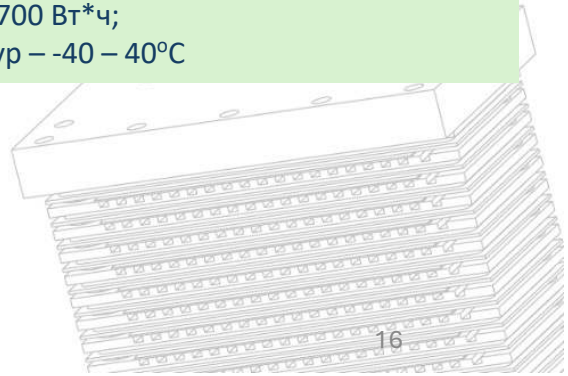
- Аэро фото и видео съемка, транспортировка грузов массой до 5 кг;
- Источник энергии – батарея топливных элементов;
- Топливо – водород;
- Взлетная масса – до 30 кг;
- Полезная нагрузка – до 5 кг;
- Время полета от 80 до 150 минут.

Гибридная система хранения водорода с системой заправки баллонов высокого давления:

- Общий объем хранимого водорода - 150 Нм^3;
- Давление заправки – до 350 бар;
- Скорость заправки – до 4 Нм^3/час;
- Обеспечения автоматикой контроля и безопасности работы.

Переносная зарядная станция на основе топливных элементов и химического генератора водорода:

- Выходная мощность – до 20 Вт;
- Тип генератора водорода – гидролизный;
- Общая энергоемкость – 500-700 Вт*ч;
- Диапазон рабочих температур – -40 – 40°C



Технологическое оснащение Центра НТИ:
Оборудование для прототипирования и тестирования источников энергии

- Аттестованные электронные нагрузки мощностью от 2,3 до 15 кВт;
- Испытательная станция для тестирования энергоустановок на основе топливных элементов и аккумуляторов мощностью до 250 кВт FuelCon Gmbh;
- Климатическая камера для испытания температурой и влажностью (-40 - +80°С, 15-100 % отн.);
- Аттестованный вибростенд для испытания изделий до 350 кг;
- Технологическое оборудование;
- Комплекс электрохимического испытательного оборудования









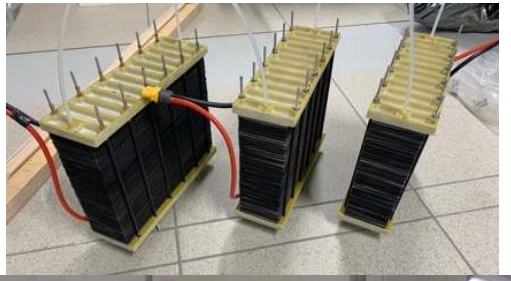


Мобильная заправочная станция для заправки техники водородом с возможностью установки на любых объектах, оснащенных электропитанием.

- Рабочее давление до 350 бар
- Входное давление от 20 до 200 бар
- Ресиверный блок - до 14 кг водорода.
- Насадка для заправки (заправочный пистолет) модели WEH TK 16.
- Производительность - до 12 кг в сутки
- Чистота получаемого водорода 99,9998 %
- Выходное давление водорода из электролизного модуля – до 35 бар.

Технологическое оснащение Центра НТИ:
Оборудование для производства топливных элементов

Полный спектр оборудования для изготовления батарей топливных элементов с воздушным охлаждением: от получения катализаторов до сборки и тестирования батарей топливных элементов.

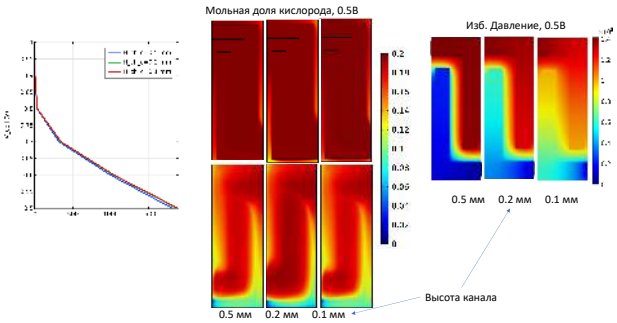






- Отработка технологий изготовления мембранно-электродных блоков и батарей топливных элементов с использованием разрабатываемых материалов под задачи Заказчика;
- Мелкосерийный и опытный выпуск партий мембранно-электродных блоков и батарей топливных элементов с использованием разрабатываемых материалов и технологий;
- Формат: топливные элементы с воздушным охлаждением мощностью от 10 Вт до 10 кВт;
- Объём производства до 400 кВт в год.

Технологическое оснащение Центра НТИ: Моделирование

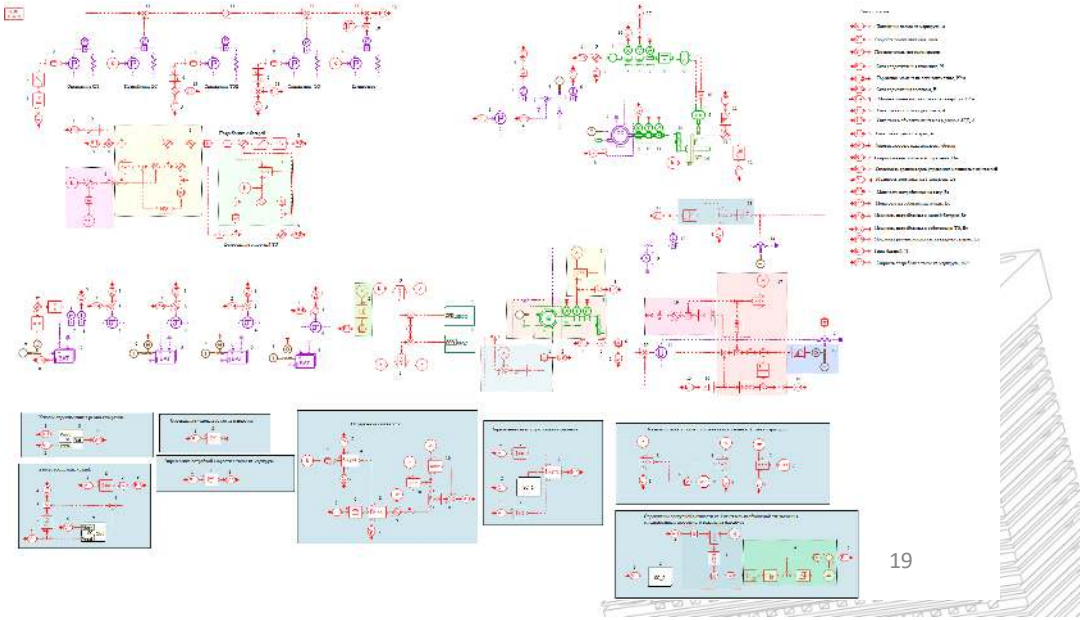


Низкоуровневое моделирование (Comsol Multiphysics):

- Моделирование материалов и компонентов ХИТ;
- Моделирование биполярных пластин ТЭ;
- Моделирование процессов в ХИТ;
- Оптимизация конструкции ХИТ.

Высокоуровневое моделирование (Siemens Amesim):

- Функциональное моделирование работы гибридных энергетических установок на основе топливных элементов и аккумуляторов в соответствии с заданными моделями эксплуатации, в том числе в комплексе с транспортными средствами;
- Расчет эксплуатационных характеристик ЭУ и их компонентов по заданным маршрутам движения транспорта в различных режимах;
- Оптимизация параметров компонентов энергоустановки в зависимости от условий эксплуатации и режима работы транспортного средства.



Работы ФИЦ ПХФ и МХ РАН в области водородного транспорта

Беспилотные авиационные суда

Разработка и производство энергоустановок для БАС и совместная разработка БАС с промышленными партнерами:

ООО «НПО ИжБС»
ПАО «Иркут»
ООО «Инэнерджи»
ООО «Гиперкоптер»
ЗАО НПЦ Фирма «НЕЛК»
ФГУП ЦИАМ
ООО «Птеро»



Складская техника

Разработка и изготовление энергоустановок для техники и интеграция водородных энергоустановок с технику промышленных партнеров:

ООО «Эвокарго»
ООО «Электротранспортные технологии»
ООО «Инэнерджи»









Автомобильный и железнодорожный транспорт

Разработка энергоустановок для транспорта различного типа, моделирование водородных энергоустановок, тестирование и обслуживание водородных энергоустановок для транспорта:

ПАО «КАМАЗ»
АО «ИЦ ЖТ»
ФГУП НАМИ
ООО «Инэнерджи»

