



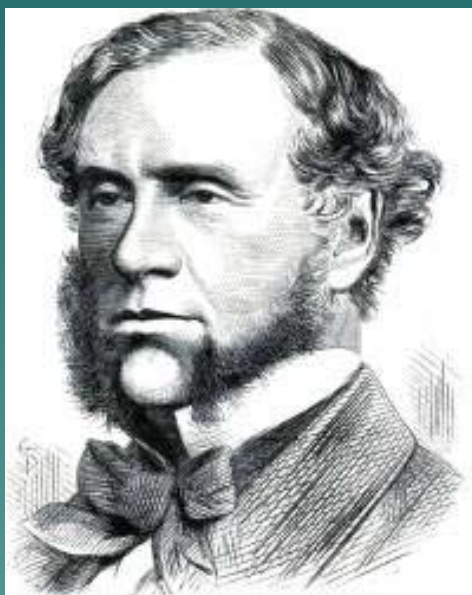
**Институт общей и неорганической химии
им. В.И. Вернадского НАН Украины**

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Пирский Ю.К.

**Выездная сессия Научного совета НАН Украины по проблеме «Электрохимия»
21-25 января 2013 г. Ивано-Франковск**

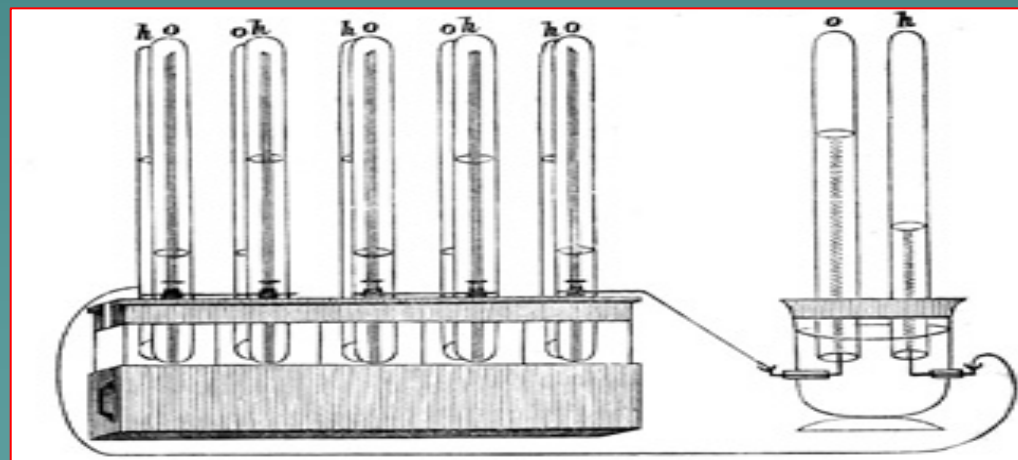
1839 год - открытие топливного элемента



**Вильям Гроув
(1811 – 1896)**

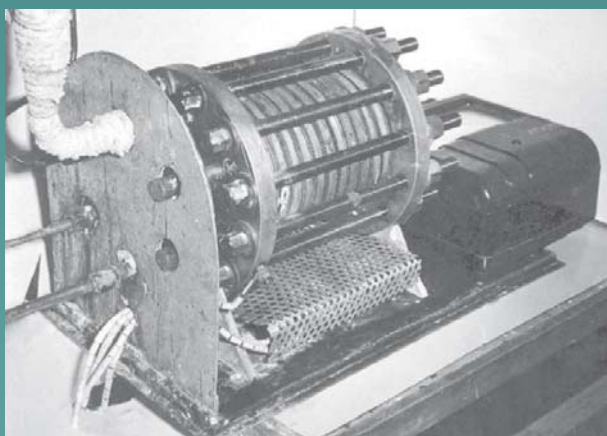
электролиз воды под
действием электрического
тока, вырабатываемого
в топливном элементе
$$\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{O}_2$$

водородно-
кислородный
топливный
элемент Гроува



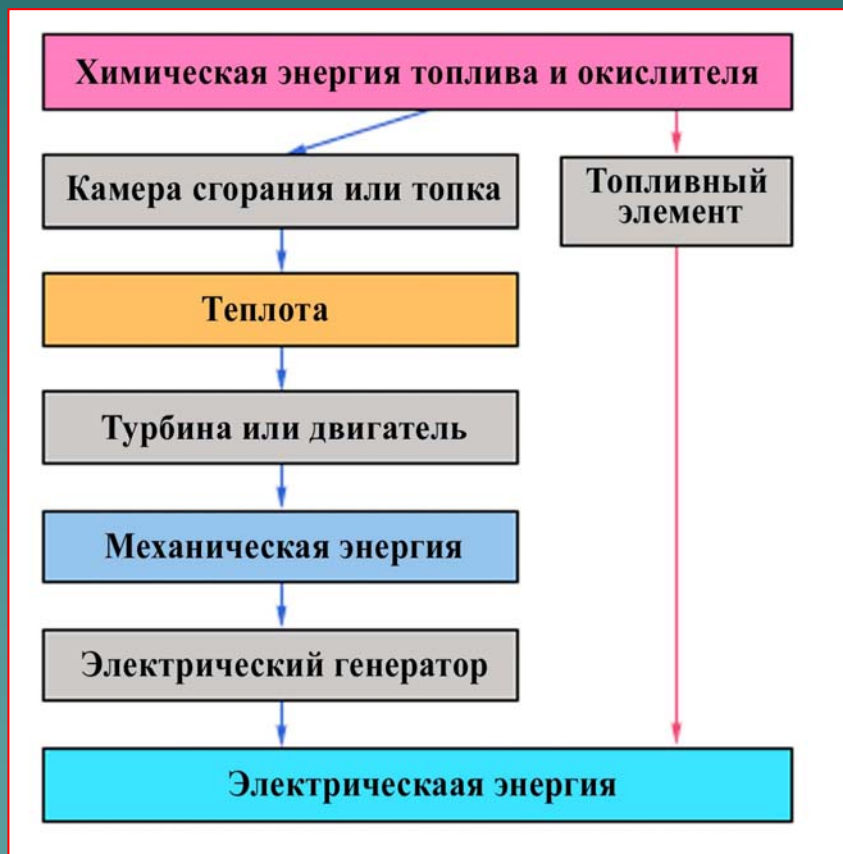
Топливный элемент в СССР (в Украине)

- ◆ 1941 год - Государственная премия СССР «За выдающиеся изобретения» (инженер П.Спиридонов, руководитель научной группы новых источников тока) за *доказательство существования реальной возможности практического использования топливных элементов*
- ◆ 1947 год – монография О.Давтяна (СССР) «*Проблема непосредственного превращения химической энергии топлива в электрическую*»
- ◆ 1964 год - создана однокиловаттная среднетемпературная батарея водородно-кислородных ТЭ под руководством О.К. Давтяна (Научно- исследовательская лаборатория при ОНУ им. И.И.Мечникова)
- ◆ 1972 год – монография С.В.Волкова, В.Д.Присяжного «*Холодне горіння*», Наукова думка, 176 с.



Пути преобразование химической энергии топлива в электрическую

Топливный элемент представляет собой электрохимическое устройство для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую. (В результате химической реакции между восстановителем и окислителем, непрерывно поступающими к электродам ТЭ извне. Продукты реакции непрерывно выводятся из топливного элемента.)



Преимущества топливных элементов

- - это бесшумные источники энергии (топливный элемент сам по себе не имеет движущихся частей);
- - возможность использования различных видов топлива;
- - широкий диапазон мощностей от >1 до 10000 кВт;
- - быстрая реакция на переменные нагрузки;
- - высокая надежность и безопасность низкотемпературных устройств;
- - экологическая чистота;
- - модульная конструкция, позволяющая относительно легко наращивать мощность уже имеющихся энергетических установок с ТЭ.
- - возможность параллельной генерации тепла
- - при необходимости можно использовать воду, которая является продуктом химической реакции

Характеристики топливных элементов

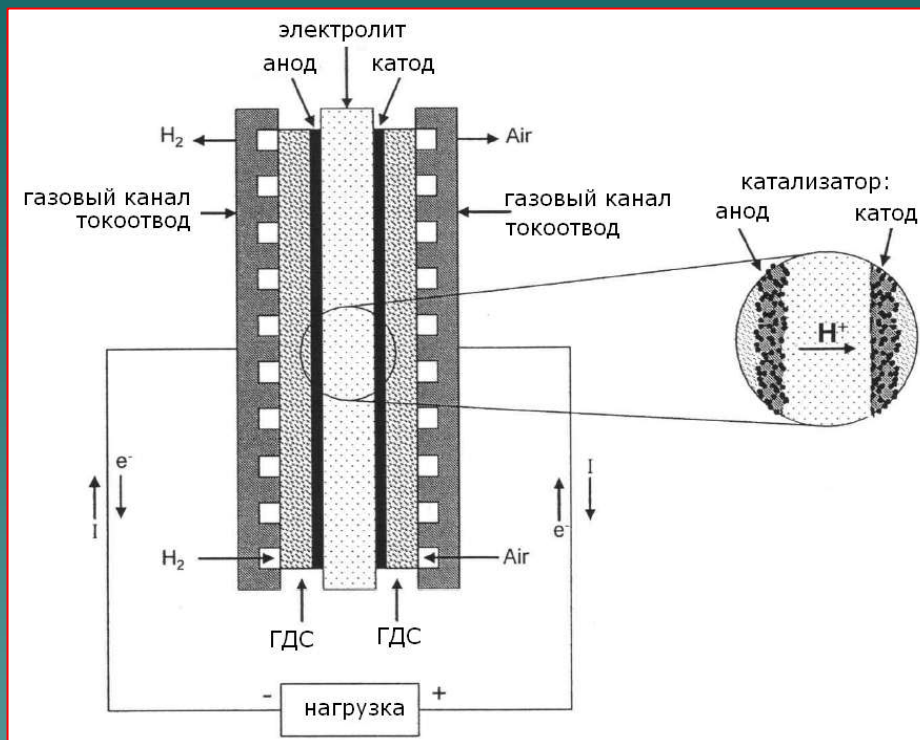
Тип ТЭ	ТПТЭ	ЩТЭ	ФКТЭ	КРТЭ	ТОТЭ
Температура, С°	80 - 100	65 - 250	150 - 220	600 - 1000	600 – 1000
Материал: <i>анода</i>	Pt/C, Pt-Ru/C	Pt/C, Pt-Co/C, Pt-Pd/C	Pt/C, Pt-Ru/C	Ni-Al, Ni-Cr	Ni, NiO
<i>катода</i>	Pt/C	Ni (Pt)	Pt/C, Pt-WO ₃ /C	NiO, LiFeO ₂	LaSrMnO ₃
<i>электролита</i>	Полимерная мембрана (иономер)	КОН/NaOH на носителе	H ₃ PO ₄ на носителе	LiKCO ₃ , LiNaCO ₃ на носителе	ZrO ₂ , CeO ₂ , Y ₂ O ₃
Диапазон оптимальных мощностей, кВт	0,01÷100кВт	~ 100кВт	~ 100кВт	≥ 1 МВт	≥ 1 МВт
Ресурс, ч	до 2 · 10 ⁴	до 1 · 10 ⁴	до 5 · 10 ⁴	до 2 · 10 ⁴	до 6 · 10 ⁴

ТПТЭ - Твердополимерные ТЭ; **ЩТЭ** - Щелочные ТЭ; **ФКТЭ** - Фосфорнокислотные ТЭ;
КРТЭ - Карбонатно-расплавные ТЭ; **ТОТЭ** - Твердооксидные ТЭ

Низкотемпературные топливные элементы

Устройство ТЭ и основные элементы его конструкции

Типы ТЭ



Водородный ТЭ

Анод: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

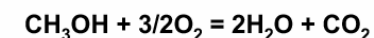
Катод: $1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$



Метанольный ТЭ

Анод: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}^+ + \text{CO}_2 + 6\text{e}^-$

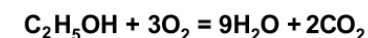
Катод: $3/2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$



Этанольный ТЭ

Анод: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{H}^+ + 2\text{CO}_2 + 12\text{e}^-$

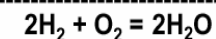
Катод: $3\text{O}_2 + 12\text{H}^+ + 12\text{e}^- \rightarrow 12\text{H}_2\text{O}$



Щелочной ТЭ

Анод: $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Катод: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$



Сравнительные характеристики удельной мощности и удельной емкости ТЭ

Тип ТЭ	Топливо	M (г/моль)	n	E° (В)	W _{уд} (Вт.ч/кг)	C (А.ч/кг)	η (%)
H ₂ ТЭ	H ₂	2.01	2	1.23	32 802	26 669	83
ДМТЭ	MeOH	32.04	6	1.21	6 073	5 019	97
ДЭтТЭ	EtOH	46.07	12	1.15	8 028	6 981	97

Преимущество:

- химически активный
- экологически чистый – при его окислении образуется вода
- удовлетворяет условию легкого подвода в топливный элемент и отвода продуктов реакции из ТЭ
- оптимальный источник – вода, электролизом которой чистый H_2 может быть получен (процесс энергоемкий)
- сейчас водород получают за счет более дешевой переработки природного газа, основным компонентом которого является метан $CH_4 + H_2O(пар) = 3H_2 + CO$

Недостатки:

- при низких температурах необходим чистый водород
- проблемы с хранением и подачей его в ТЭ
- Очистка водорода от оксидов углерода при получении его из углеводородов

Метанол

Преимущество:

- метанол поступает в топливный элемент напрямую, каталитический риформинг (разложение метанола) не нужен
- хранить метанол гораздо проще, чем водород, поскольку нет необходимости поддерживать высокое давление, так как метанол при атмосферном давлении является жидкость
- энергетическая ёмкость (количество энергии в данном объеме) у метанола выше, чем в таком же объеме сильно сжатого водорода (современные баллоны высокого давления, позволяющие хранить водород при 800 атм., содержат 5-7 весовых % водорода по отношению к общей массе баллона). Для метанола 13% и является максимальной из всех известных систем хранения топлива для топливных элементов

Недостатки:

- Метанол ядовит.
- Использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне как собственно установок, так, и получаемого электричества

Этанол

Преимущество:

- такие же преимущества, что и с метанолом (характеристики с этанолом ниже)
- низкая токсичность и возможность производства из биомассы.
- создание катриджного питания электротехнических устройств

Недостатки:

- низкая активность как катодных так и анодных систем для ТЭ спирт-воздух
- увеличение количества катализаторов и толщины МЭБ
- использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне как собственно установок, так, и получаемого электричества

Сравнение низкотемпературных топливных элементов

Топливный элемент с протонообменной мембраной (ПППЭ)

- ✓ Компактный дизайн
- ✓ Электролит в мембране
- ✓ Высокий ток и напряжение
- ✓ Зависит от Pt и Pt сплавов
- ✓ Отравление Pt и мембраны

Щелочной топливный элемент (Щелочной ТЭ)

- ✓ Большой объем водного электролита
- ✓ Лучшая кинетика
- ✓ Средний ток и напряжение
- ✓ Альтернативные электрокатализаторы

ТЭ с твердополимерным электролитом

ТЭ состоит из:

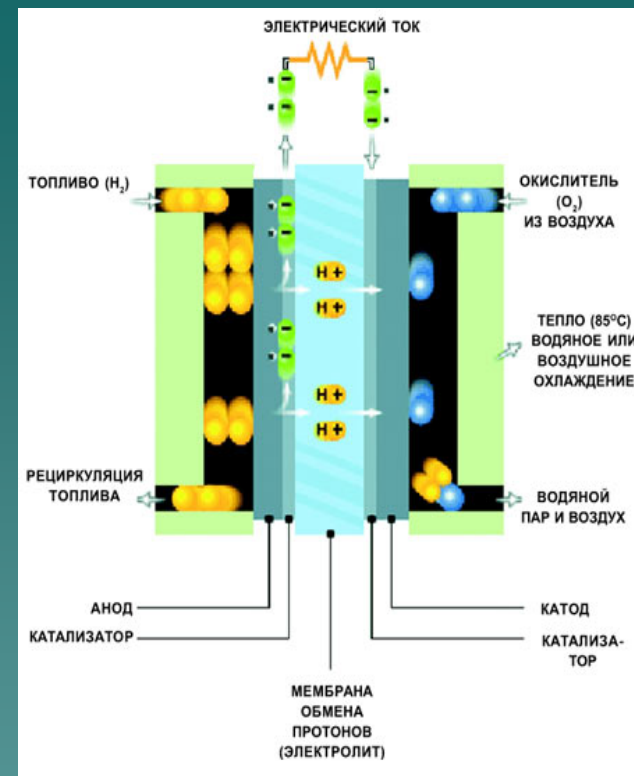
- ◆ Электролит – твердая полимерная ионообменная мембрана
- ◆ Материал электродов – графит
- ◆ Катализатор – платина и ее сплавы

Преимущество:

- ◆ Восстановителем кроме водорода может служить метанол
- ◆ Замена жидкого агрессивного электролита на мембрану упрощает герметизацию элемента, уменьшает коррозию и обеспечивает долгий срок службы ТЭ
- ◆ Применение – на транспорте и стационарных установках небольшого размера

Недостаток

- ◆ Коммерческое применение ограничено из-за использования платины и высокой стоимости ионообменных мембран

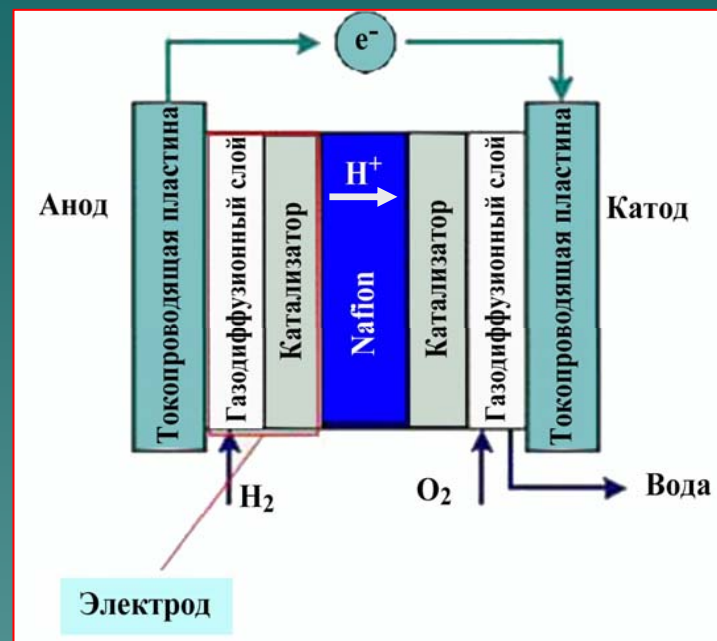


Разработка новых материалов для ТЭ

Новые материалы ТЭ

1. Электродокатализаторы для водородно-кислородных (воздушных) ТЭ и ТЭ с органическим топливом (этанол, метанол)
2. Протонпроводящие мембраны ТЭ
3. Биполярные пластины для батарей ТЭ
4. Газодиффузионные слои для ТЭ
5. Токоподводы
6. Герметизирующие прокладки

Схема ТПТЭ



Основные требования к электродным материалам

- Обеспечение транспорта газа (или жидкости), ионов и электронов.
- Высокая плотность трехфазных границ, где электродокатализаторы должны быстро и эффективно катализировать электроокисление (анод) или электровосстановление (катод);
- Высокая пористость и большая площадь поверхности;
- Высокая электронная и ионная проводимость, электрохимическая активность.

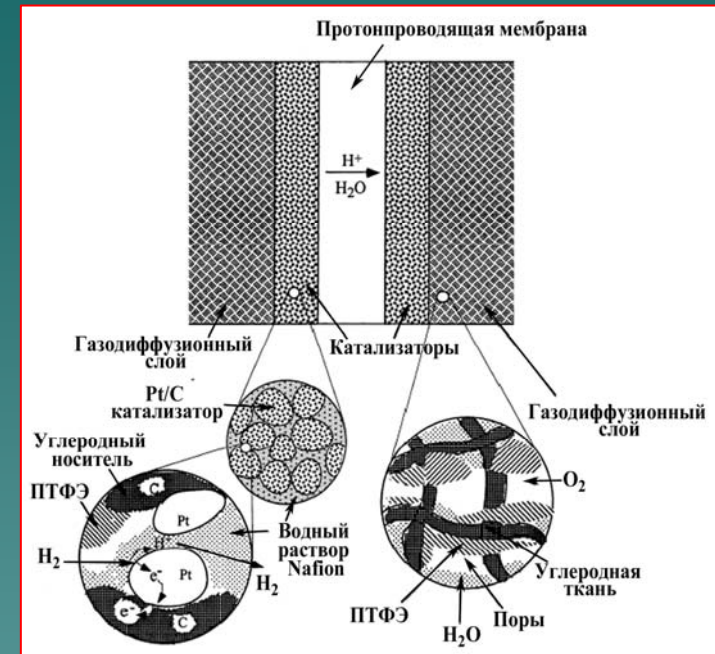
Мембранно-электродный блок (МЭБ) и компоненты МЭБ ТПТЭ

11

Компоненты МЭБ ТПТЭ



Структура МЭБ блока



Нанесение катализатора на ГДС



Нанесение катализатора на мембрану

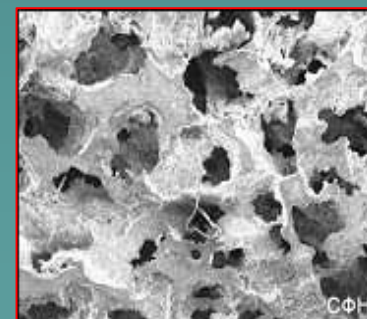


Электрокатализаторы

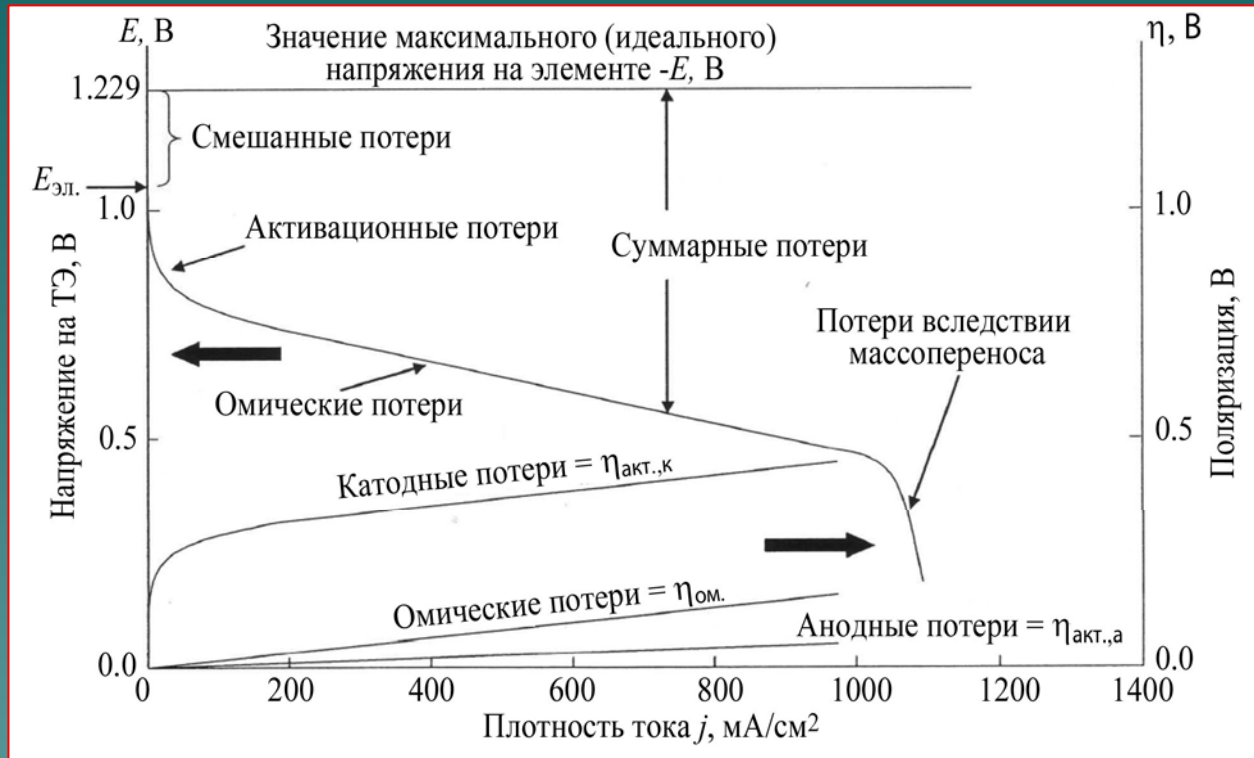
Вещества (материалы электрода), ускоряющие электрохимические реакции, называются электрокатализаторами.

Электрокатализаторы должны отвечать следующим требованиям:

- ◆ Хорошей электронной проводимостью
- ◆ Стабильностью в электролите (устойчивы к коррозии и компонентам электролита)
- ◆ Селективностью для окислительно/восстановительных реакций
- ◆ Подходящими адсорбционными свойствами
- ◆ Должны обеспечивать условия для большой скорости токообразующей химической реакции в ТЭ
- ◆ Пористыми
- ◆ Каталитически активными
- ◆ Долговечными



Поляризационные процессы в топливном элементе



$$E = -\Delta G/nF \quad (1)$$

$$\eta_{акт.} = \frac{RT}{\alpha nF} \ln \frac{i}{i_0} \quad (2)$$

$$\eta_{акт.} = a + b \lg i \quad (3)$$

$$a = \left(\frac{-2,3RT}{\alpha nF} \right) \lg i_0 \quad (4)$$

$$b = \frac{2,3RT}{\alpha nF} \quad (5)$$

$$\eta_{a/\kappa} = \eta_{акт., a/\kappa} + \eta_{конц., a/\kappa} \quad (6)$$

$$U_{a/\kappa} = E_{a/\kappa} +/ - |\eta_{a/\kappa}| \quad (7)$$

$$U_{эл.} = U_{\kappa} - U_a - RI \quad (8)$$

$$U_{эл.} = E_{\kappa} - |\eta_{\kappa}| - (E_a + |\eta_a|) - RI \quad (9)$$

Смешанные потери:
электронные утечки и кроссовер водорода, компромиссный потенциал на катоде

Электрокатализаторы реакции восстановления кислорода (катод)

- Металлы

Pt, Pd, Rh, Ir, Au, Ag

- Бинарные сплавы

Pt–Ni, Pt–Cr, Pt–Co,

Pt–Fe, Pt–Ti

- Тринарные сплавы

Pt–Fe–Cr, Pt –Co–Ti

- Перовскиты (ABO_3)

- Шпинели (AB_2O_4)

- Оксиды металлов

- Макроциклы (N_4 – хелаты)

- Халькогениды ($Ru_xM_ySe_z$)

- Продукты пиролиза
комплексных соединений

- Углеродные материалы

- Na_xWO_3 , $Pb_2Ru_2O_{7-x}$

Электрокатализаторы реакции окисления водорода (анод)

Pt, Rh, Pt-Pd, Pt-Rh, Pt-Ru, Pt-Mo, Pt-W, CW

Pt-Ru-Mo, Pt-Ru-Ir, Pt-Ru-Rh, Pt-Ru-Co, Pt-Ru-W, Pt-Ru- WO_3 , Pt-Re-(MgH_2)

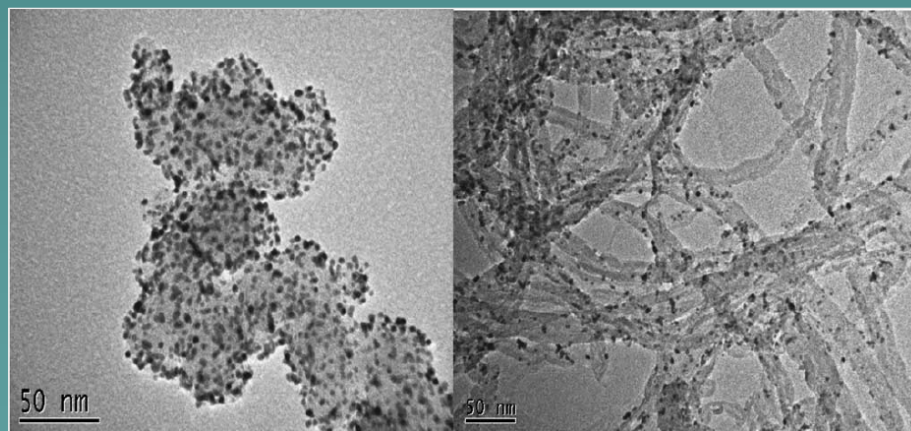
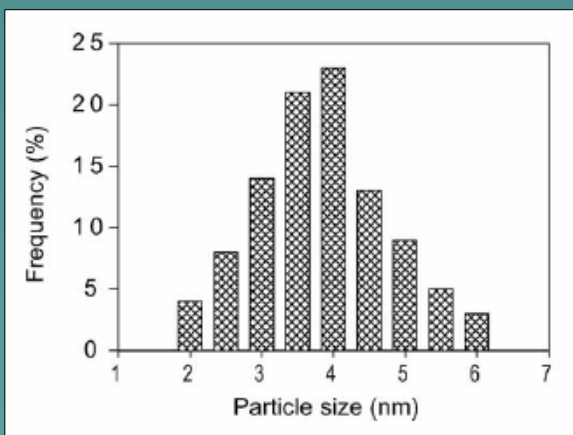
Ni- Ренея (с переходными металлами)

Основные направления работ проводимые в научном мире

1. - Разработка высокодисперсных платиновых катализаторов как в виде черни, так и нанесенных на различные дисперсные подложки (углеродные, оксидные, металлические и др).
2. - Синтез и исследование многокомпонентных каталитических систем на основе платины с включением переходных металлов (Fe, Co, Ni, Cr, Cu), что позволяет повысить устойчивость катализатора при дальнейшем снижении расхода платины. (замена платины на палладий)
3. - Разработка бесплатиновых катодных катализаторов. Обладая приемлемой активностью в реакции восстановления кислорода при невысокой стоимости, а также толерантностью к органическому топливу, бесплатиновые катализаторы могут быть востребованы при разработке ТЭ с прямым окислением спиртов (метанола, этанола) с протонпроводящим полимерным электролитом (ПППЭ) и щелочным электролитом.

Роль углерода в газодиффузионном электроде

- ◆ – носитель в катализаторе,
- ◆ – обеспечивает высокую электрическую и термическую проводимость,
- ◆ – обладает большой площадью поверхности и пористой структурой,
- ◆ – способствует диспергированию каталитически активного материала,
- ◆ – оказывает сопротивление химической коррозии или побочным электрохимическим реакциям,
- ◆ – делает компактным и легким в весе,
- ◆ – снижает стоимость.

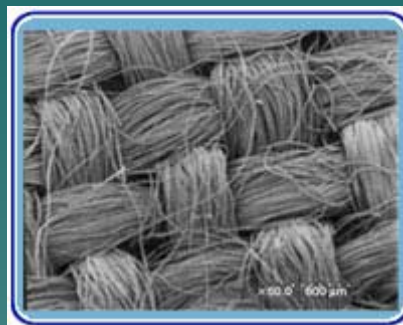
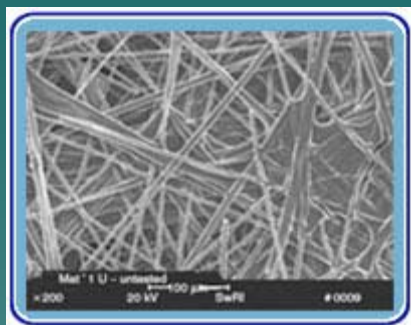


Газодиффузионный слой ТПТЭ

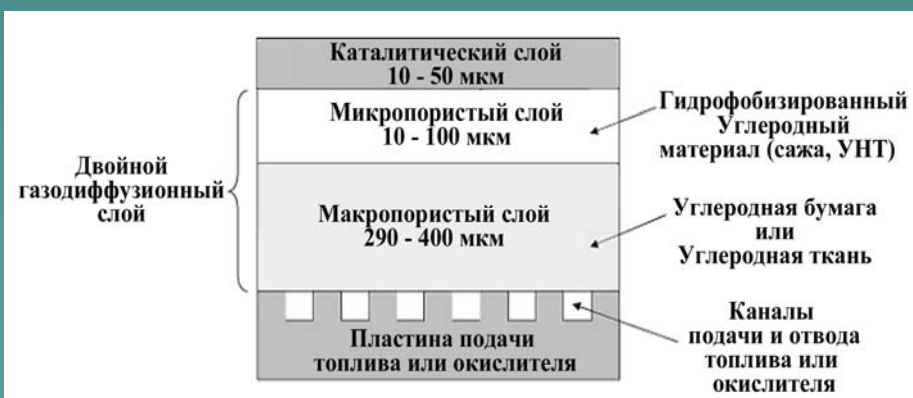
Микрофотографии

углеграфитовой бумаги
“Toray” (Япония) и

углеродной ткани
Toho Tenax Co. Ltd. (Япония)



Структура газодиффузионного слоя



R.L. Borup et. al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., **393**, 151, 1995.

Газодиффузионный слой (ГДС) служит:

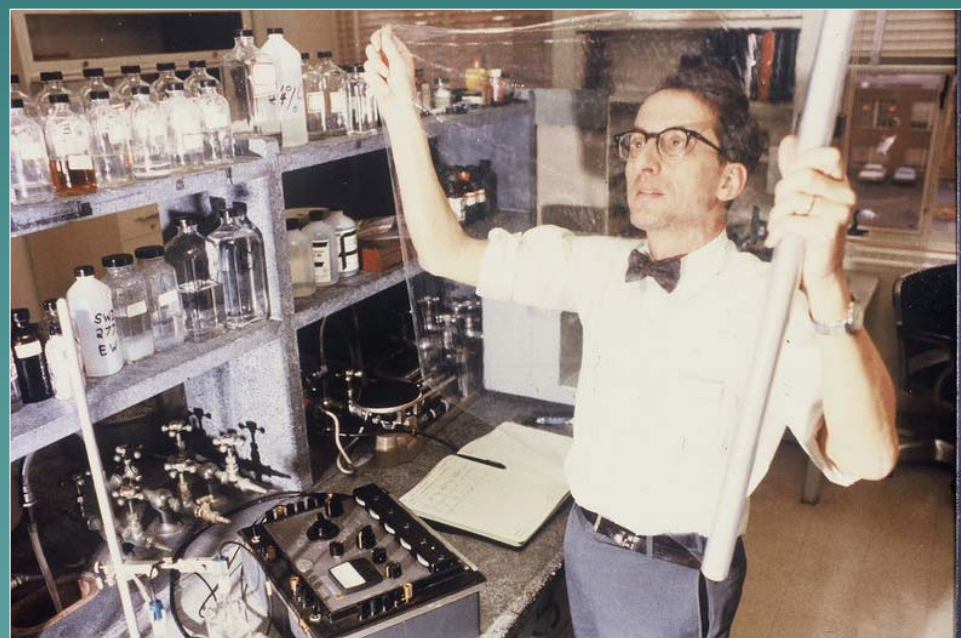
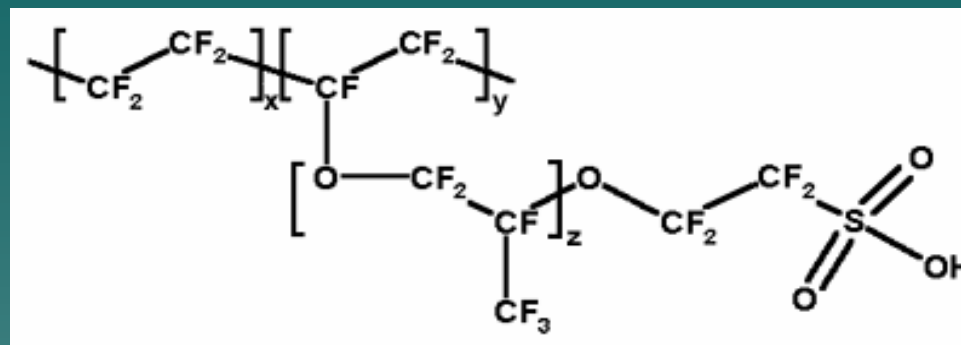
- ◆ Токовый коллектор
- ◆ Подвода топлива и окислителя до слоя с катализатором.
- ◆ Отвода воды из слоя с катализатором

Требования к идеальному ГДС

- Эффективная подача топлива и окислителя
- Высокая электропроводность
- Хороший электрический контакт со слоем катализатора
- Необходимая гидрофобность для подвода газов и отвода воды

Мембранный электролит

- ♦ Полимерная мембрана Nafion® , применяемая в твердополимерных топливных элементах, в США и Канаде производится фирмой «Дюпон»
- ♦ Полимерная мембрана Fumapen, применяемая в твердополимерных топливных элементах и электролизерах в Германии производится фирмой «FuMA-Tech GmbH»
- ♦ в России аналогичные мембраны МФ-4СК выпускает фирма «Пластполимер»



Изобретатель мембраны Nafion® :
Walther Grot (DuPont) (1962 пат. США)

Протонообменные мембраны

Функции протонообменных мембран

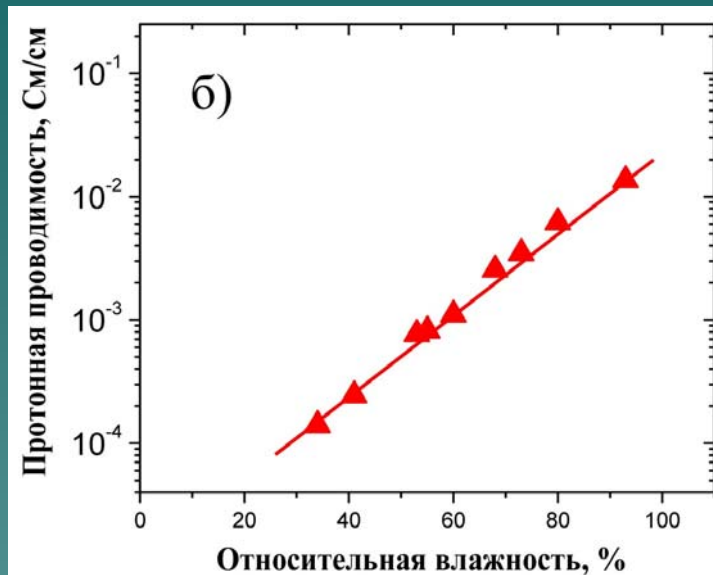
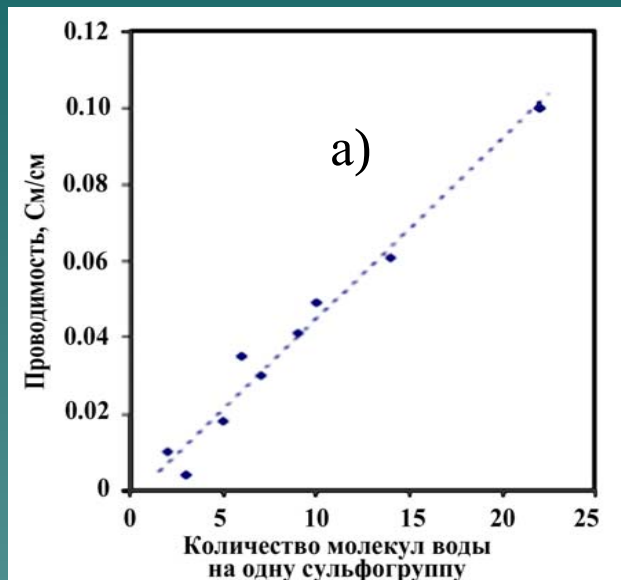
- ◆ Перенос протона
- ◆ Разделение электродных областей
- ◆ Конструкционный материал

Требования к протонообменным мембранам

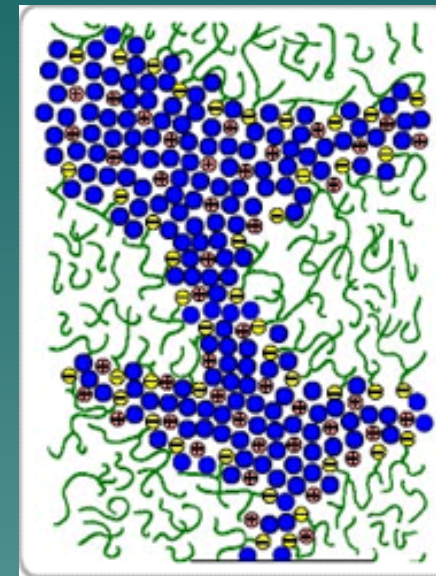
- ◆ Высокая протонная проводимость
- ◆ Электроизолирующие свойства
- ◆ Низкая проницаемость мембран по топливу и O_2
- ◆ Термическая и химическая стабильность: $>120-150^{\circ}C$, >10000 час (устойчивость к окислительным средам)
- ◆ Хорошие механические свойства (стабильность)
- ◆ Низкая стоимость ($<10\$/кВт$)

Свойства Nafion®

Влияние влагосодержания



Структура Nafion® - канальная

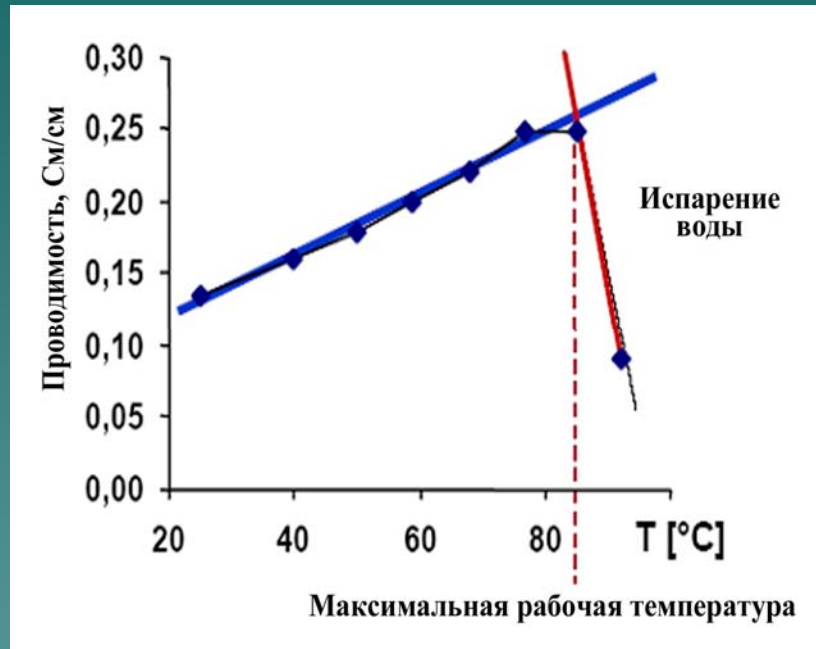


Зависимость протонной проводимости мембраны Nafion 115 от влагосодержания (а) и от влажности окружающей среды (б) при 25°C

- Высокая протонная проводимость
- Проводимость сильно зависит от влагосодержания

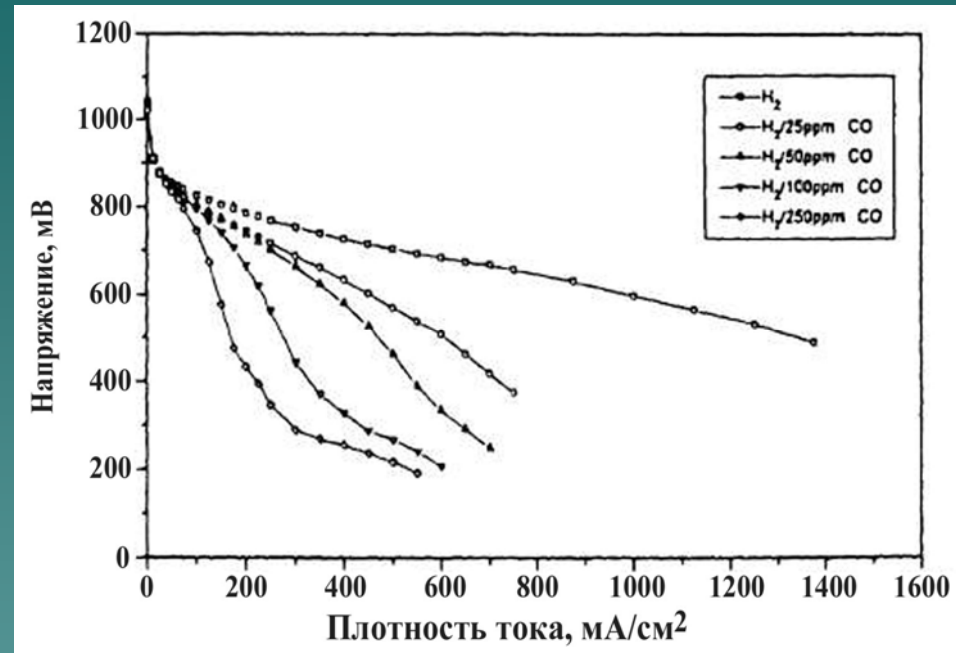
Свойства Nafion®

Влияние температуры



Зависимость протонной проводимости мембраны Nafion 115 от температуры при отн. вл. 100%

Влияние примесей СО



Вольтамперные характеристики топливного элемента, работающего на кислороде и водороде в присутствии СО в водороде. Рабочие условия: 80°C, давление водорода – 2,2 атм., давление кислорода – 2,4 атм

- Проводимость возрастает при повышении температуры,
- Проводимость пропадает при потере воды
- При добавлении примесей СО характеристики ухудшаются
- Недостаток низких рабочих температур (но не мембраны!)



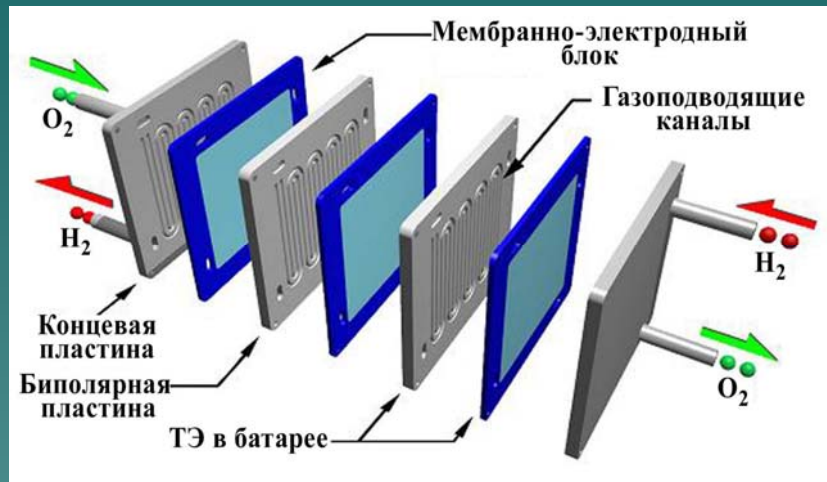
Мембраны компании DuPont

- ◆ В настоящее время компания DuPont производит мембраны с эквивалентным весом 1000 и 1100 г/моль (обменная емкость 0,9 и 1,0 мг-экв/г соответственно) и толщиной 25 – 175 мкм. Также производятся мембраны, армированные тефлоновой сеткой:
- ◆ * Nafion® NRE 211 – 25 мкм
- ◆ * Nafion® NRE 212 – 50 мкм
- ◆ * Nafion® N 115 – 125 мкм
- ◆ * Nafion® N 117 – 175 мкм
- ◆ * Nafion® N 324 – 150 мкм, армированная
- ◆ * Nafion® N 424 – 175 мкм, армированная
- ◆ Более тонкие мембраны (NRE-211, NRE-212) обычно используются для водородно-воздушных топливных элементов, для уменьшения омических потерь
- ◆ Более толстые (N-115, N-117) – в метанольных топливных элементах для уменьшения проницаемости метанола.
- ◆ Армированные мембраны (N-324, N-424) используют для работы при высоких давлениях реагентов и/или для изготовления топливных элементов с большой активной областью.

Биполярные пластины в батарее ТЭ

Биполярные пластины служат для соединения топливных элементов в батарею

Схема батареи топливных элементов

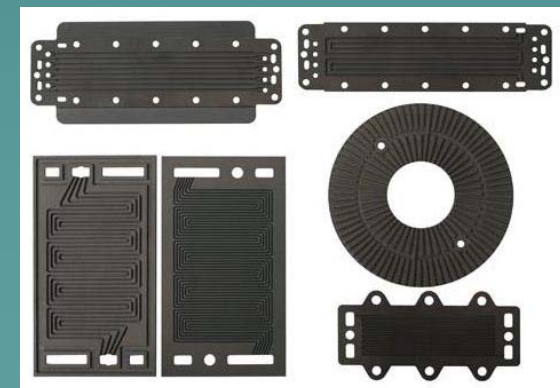
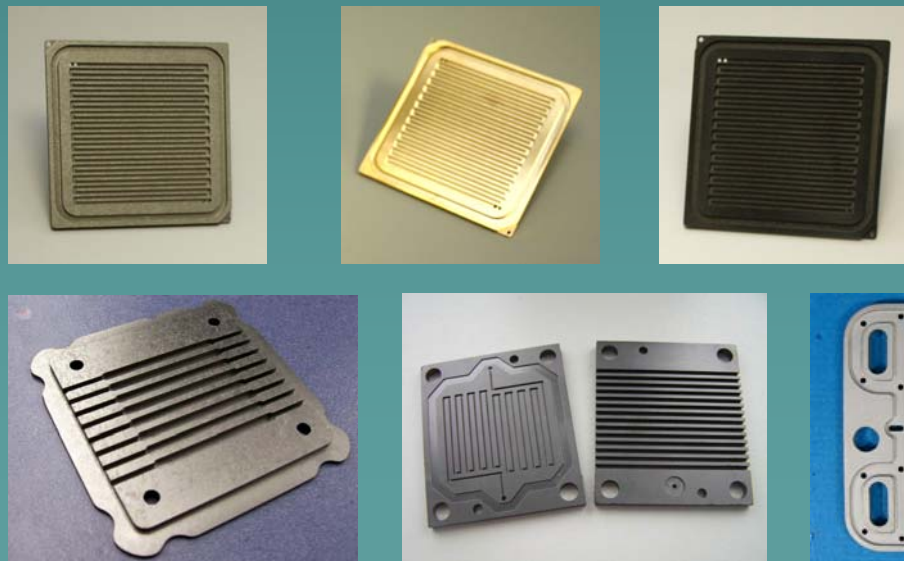


Требования к биполярным пластинам

1. Низкая стоимость (<\$2/пластину);
2. Легкая подача газа;
3. Высокая электрическая проводимость (>100 См/см);
4. Высокая герметичность к газам;
5. Легкое производство;
6. Прочные;
7. Небольшой вес;
8. Малый объем;
9. Высокая химическая стабильность
10. Хорошая теплопроводность.

Новые разработки биполярных пластин

- Подходящие покрытия металлов
- Полимерные композиты на основе графита

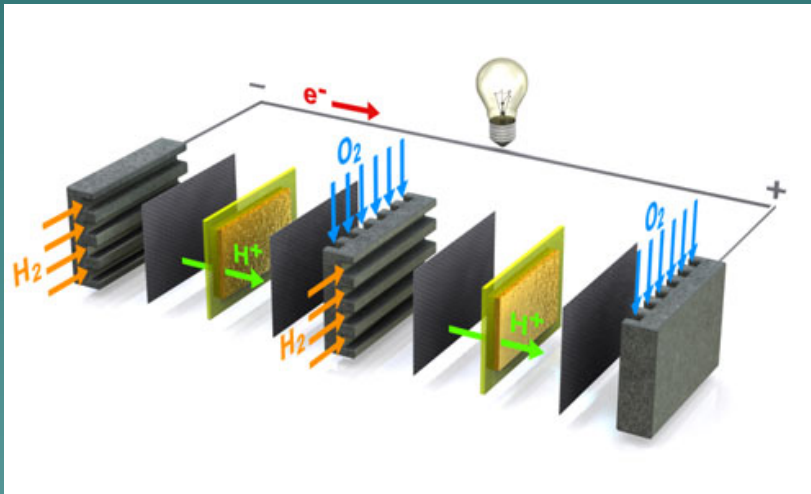


Технологии ТЭ фирмы CellEra

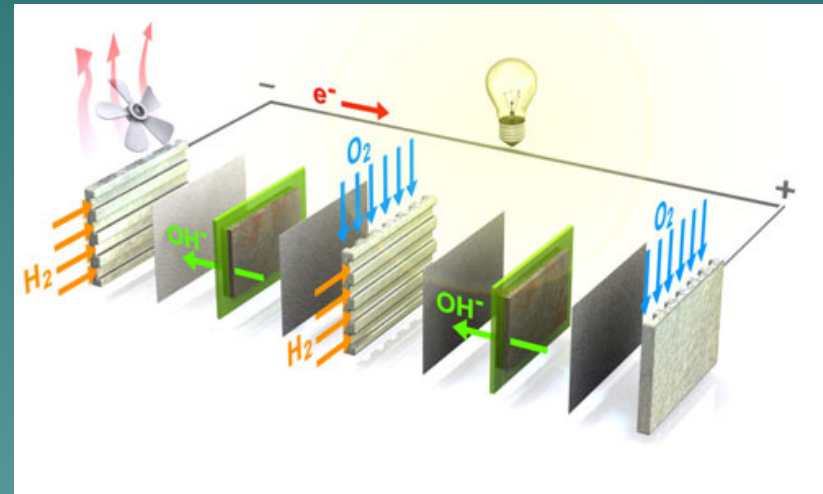
Основная проблема - это стоимость топливного элемента с полимерным электролитом (РЕМ)

- Протон обменная мембрана создает кислую среду, которая может отрицательно воздействовать на ТЭ
- Мембрана + катализатор могут составлять 90% стоимости топливного элемента
- Использование платины в электродах современных РЕМ наиболее влияет на стоимость ТЭ которая между \$500 и \$5000

ТЭ с протонпроводящей мембраной



ТЭ с гидроксилпроводящей мембраной



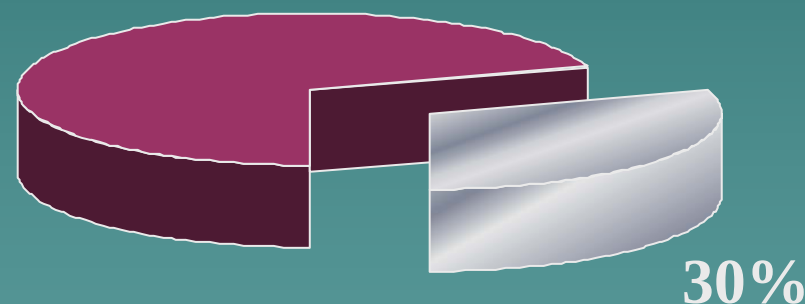
1. Новый вид гидроксил-проводящей мембраны ТЭ может помочь решить вопросы стоимости, так как можно будет использовать электрокатализаторы для щелочных систем.
2. Возможна замена платины в электродах ТЭ на более доступные и дешевые металлы в электрокатализаторах.
3. Технические средства стека сделаны легкого металла, существенно понижают в стоимости и легче производство и возможно использование в качестве материала для изготовления батареи топливных элементов биполярных пластин из нержавеющей стали.
4. Такую батарею ТЭ будет легче охлаждать, за счет улучшения теплопроводности.
5. Можно достичь 70% экономии в сравнении с известными ТПТЭ

Экономика низкотемпературных топливных элементов

Сегодня: Средние капитальные затраты на 1 кВт топливного элемента
– \$ 500 - 5000

Экономически эффективно:
капитальные затраты на 1 кВт мощности топливного элемента < \$ 100

**Доля платинового
катализатора в стоимости
топливного элемента**



Проблемы коммерциализации ТЭ

- ◆ Высокая стоимость по сравнению с традиционными установками
- ◆ Недостаточный срок службы

Стоимость систем с топливными элементами

Стоимость \$/кВт	ЩТЭ	ТПТЭ стационарные	ТПТЭ транспорт	ФКТЭ	КРТЭ	ТОТЭ
Стоимость на 2010 г.	2000	8000	550	3000	5000	10000
Ожидаемое снижение цены	50-100	300	30	1000	600	600

Низкотемпературные ТЭ могут стоить как минимум 30 \$/кВт для транспорта и 300 \$/кВт для стационарных электростанций при массовом производстве.

Системы топливных элементов для широкомасштабного производства электроэнергии должны стоить менее 1500 \$/кВт

Для автотранспорта системы ТЭ < 50 \$/кВт

Водородный автомобиль



1982 г. Первый в мире водородный микроавтобус «Квант-РАФ» (СССР)



2001 г. Автомобиль HydroGen1 (на базе Opel Zafira) корпорации General Motors (США) – рекордсмен среди машин на топливных элементах



2008 г. Городской автобус на топливных элементах (Китай)



2001 г. Автомобиль «Нива» (Россия) на топливном элементе, разработанном для космического корабля «Буран»

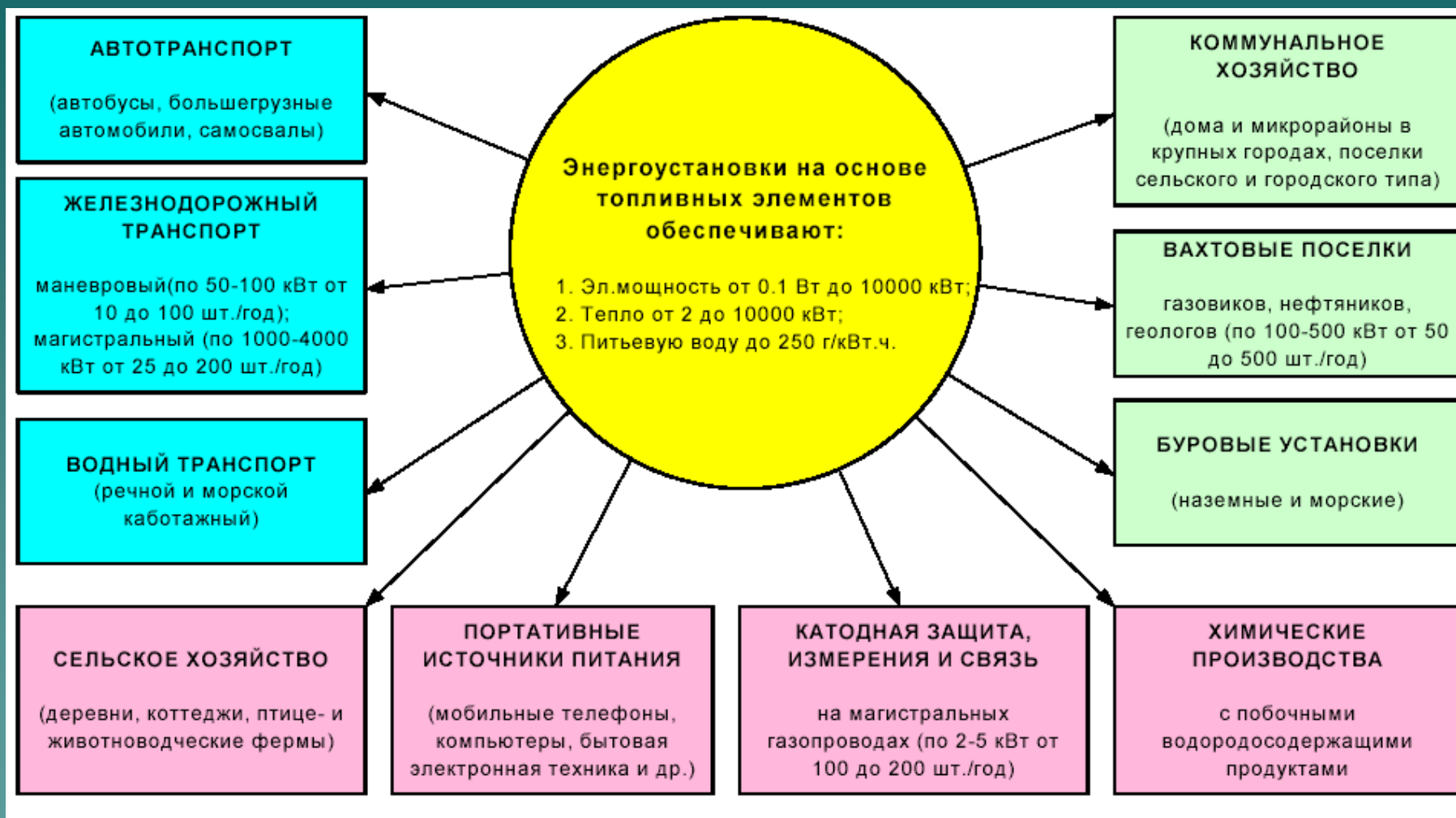
Цель и средства

- ♦ программа бюджетных инвестиций США предполагает в ближайшие 10 лет вложить 5.5 млрд. долл. в развитие технологии топливной энергетики, промышленные компании - почти в 10 раз больше

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Автомобили		с ДВС и нейтрализатором (Евро 3)	с энергоустановкой на топливных элементах
Топливо		Бензин	Водород
Расход энергии при 60 км/ч, кВтч/100 км		87,2	43,6
Выбросы, г/км	CO	2,3	0
	C _n H _m	0,2	0
	NO _x	0,15	0
	CO ₂	213,0	0
	H ₂ O	98,0	117,0

Перспективы применения ТЭ

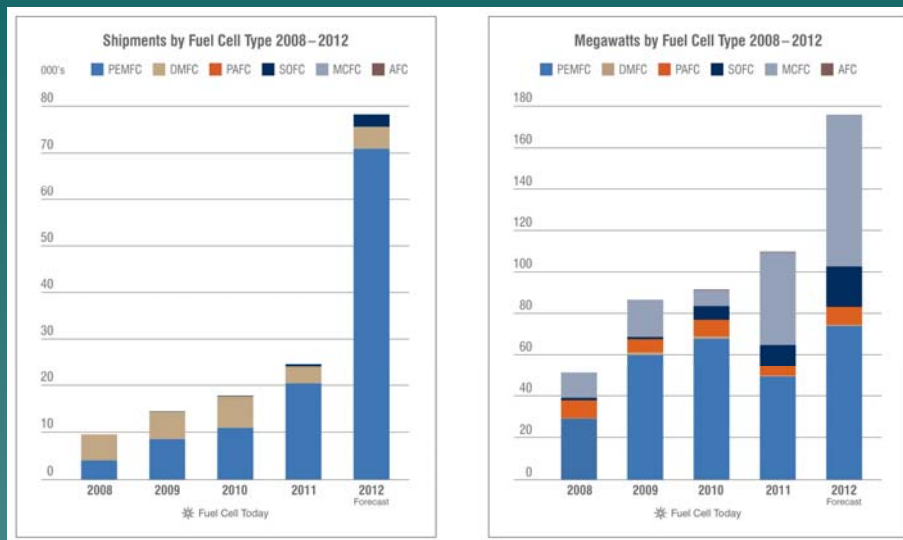


НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

Рост производства и продаж топливных элементов (прогноз) 29

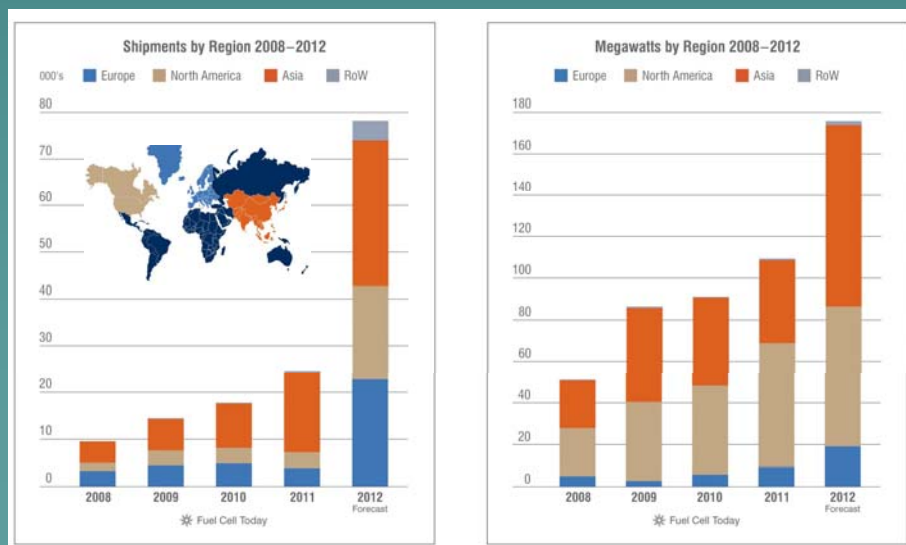
По типам ТЭ



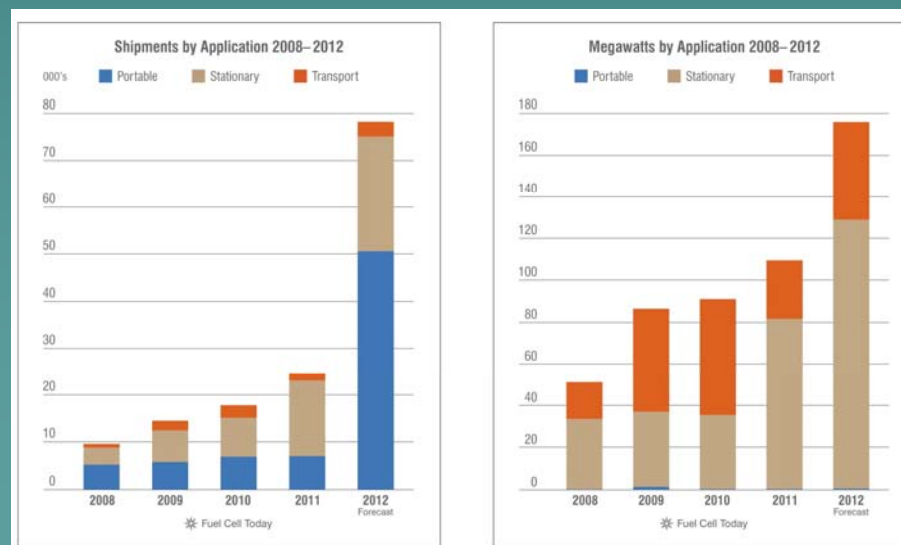
Типы выпускаемых ТЭ

Тип ТЭ	Переносные	Стационарные	Транспорт
Диапазон мощности	5 Вт - 20 кВт	0.5 кВт - 400 кВт	1 кВт - 100 кВт
Технология	ТПТЭ МетТЭ	КРТЭ, ФКТЭ ТПТЭ, ТОТЭ	ТПТЭ МетТЭ

По регионам



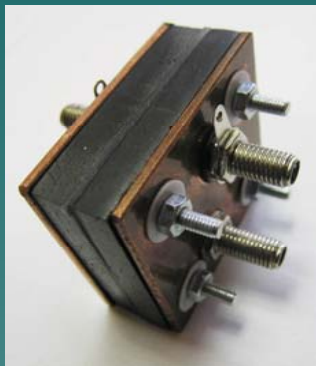
По типам ТЭ



Работы ведущиеся в лаборатории материалов альтернативной электрохимической энергетики ИОНХ НАН Украины по низкотемпературным ТЭ

30

Водородно-кислородный ТЭ



Рабочая поверхность электродов ТЭ 1 см²

Материалы МЭБ

- Протонпроводящая полимерная мембрана Fumapen F950 (50 мкм) производства FumaTech Германия.
- Углеродистая бумага Sigracet 10BC
- Сажа Vulcan XC72 (носитель кат.)
- Лак fumion FLNA-905

Выполненные работы

1. Изготовлены макеты ТЭ:
 - а) макет Н₂/О₂ ТЭ для исследования электрохимических характеристик
 - б) макет Н₂/воздух ТЭ
2. Разработаны технологии приготовления наноструктурных катодных Pt(20%)/XC72 восстановления кислорода и анодных PtRu(20%)/XC72 электрокатализаторов окисления водорода
3. Разработана технология приготовления каталитических чернил для нанесения на мембрану
4. Разработана технология нанесения каталитических чернил на мембрану
5. Разработана технология изготовления мембранно-электродного блока

Перспективные работы 2013 года

1. Оптимизация мембранно-электродного блока для разработанных макетов Н₂/О₂ ТЭ для исследования электрохимических характеристик и макета Н₂/воздух ТЭ
2. Проведение испытаний демонстрационной модели макета Н₂/воздух ТЭ
3. Разработка технологии приготовления высокоэффективных наноструктурированных катодных и анодных электрокатализаторов
4. Отработка технологий по герметизации ТЭ.

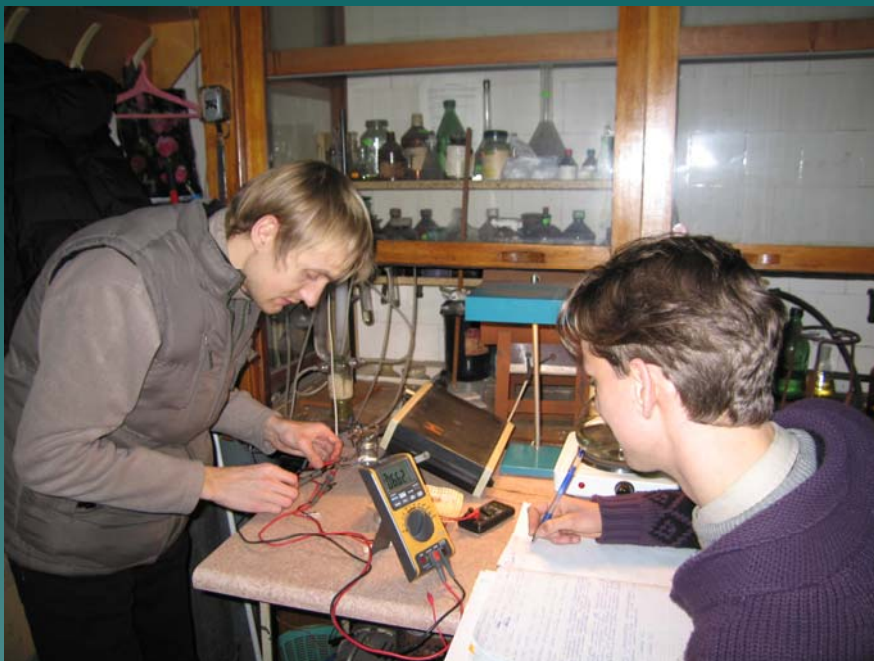
Водородно-воздушный ТЭ



Макет выполнен совместно с ОП ИОНХ НАН Украины
Рабочая поверхность электродов ТЭ 6,25 см²

Испытания водородно-кислородного ТЭ

31

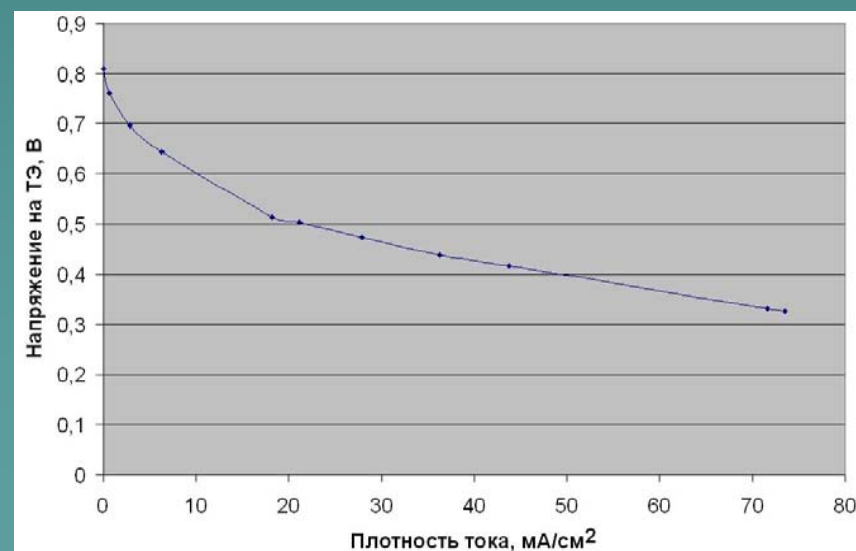


Сотрудники лаборатории м.н.с., к.х.н. Гайдин А.В.
и асп. I года обуч. Тупчиенко А.С.

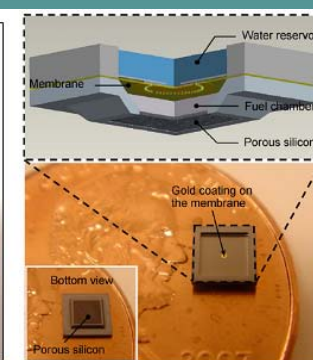
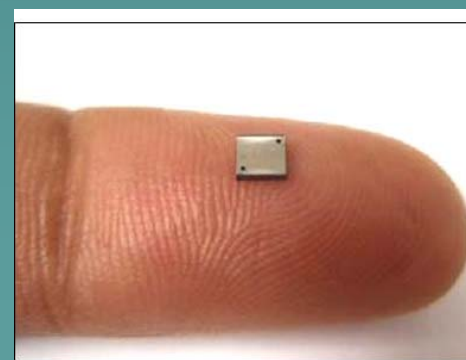
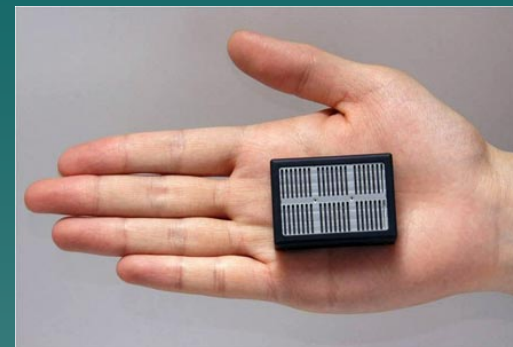
Рабочая зона электродов 1 см^2 МЭБ,
Катализатор Pt (20%)/XC72
на катоде и аноде (содержание Pt = $0,5 \text{ мг/см}^2$).
Протонпроводящая полимерная мембрана
Fumapen F950 (50 мкм), ГДС - углеграфитовая
бумага Sigracet 10BC



Вольтамперная характеристика ТЭ



Переносные ТПТЭ



Направление работ

Электрокаталитические, электродные и электролитные материалы для электрохимической энергетики.

- ◆ Синтез и исследование катодных катализаторов на основе металл-углеродных систем толерантных к этанолу, содержащих Pd и дополнительно один или два d-металла (Co, Fe, Ni).
- ◆ Разработка, синтез и исследование анодных катализаторов активных в реакции окисления этанола на основе систем платина-(3d-металл)-углеродный носитель для этанольного топливного элемента.
- ◆ Синтез и исследование наноструктурных катализаторов активных в реакции окисления водорода на основе систем палладий-(3d-металл)-углеродный носитель и интерметаллических соединений для водородного топливного элемента.

Низкотемпературные топливные элементы (водород, этанол) и электрохимические сенсоры

- ◆ Разработка водородных и кислородных электродов для ТЭ и воздушных электродов для металло-воздушных ХИТ
- ◆ Разработка электрохимических сенсоров на кислород и водород
- ◆ Разработка водородных и этанольных ТЭ на основе МЭБ.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



**Институт общей и неорганической химии
им. В.И. Вернадского НАН Украины**