

Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук

Основные научные достижения НИЦ -3 в
2014 году

Ученый Совет Объединенного Института Высоких Температур РАН

7 апреля 2015 года

Содержание

- 1. Статистика.**
- 2. Сравнительный анализ экономической эффективности технологий для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме.**
- 3. Воздушные газодиффузионные катоды для воздушно-алюминиевого ЭХГ с щелочным электролитом.**
- 4. Перспективная воздушно-алюминиевая батарея с цилиндрическими элементами.**
- 5. Разработка суперконденсаторов с высокими энергетическими характеристиками.**
- 6. Опытно-промышленный комплекс для производства ультрачистого оксида алюминия.**
- 7. Поиск новых водородгенерирующих систем.**
- 8. Хранение горючих газов (CH_4 , H_2) в газогидратном состоянии.**
- 9. Повышение маневренности автономных энергоустановок на базе ГТУ.**
- 10. Основные научные достижения 2014 г.**

1. Статистика

Количество сотрудников (штатных), из них:	77
Научные сотрудники (всего)	38
Доктора наук	5
Кандидаты наук	11
Молодые специалисты	2
Аспиранты	2
Студенты	4
Молодые ученые (до 35 лет)	22 (~50%)
Публикации (всего)	45
В рецензируемых изданиях	16
Публикации в сборниках докладов	27
Заявки на патент	1
Патенты	9
Программа Президиума РАН	1 (19,1 млн.руб.)
Программа ОЭММПУ	1 (2,65 млн. руб.)
Целевые Программы РАН	2 (5 млн. руб.)
Проекты по базовому финансированию	3 (27,55 млн. руб.)
Госконтракты	2+1 (18 +5 млн. руб.)
Гранты РФФИ	4 (1,98 млн. руб.)
Договора с российскими заказчиками	1 (5 млн. руб.)
Премия Правительства Москвы для молодых ученых	1
Малые предприятия с участием ОИВТ	1
Средняя зарплата научных сотрудников	55,2 тыс. руб./мес.

2. Сравнительный анализ экономической эффективности технологий для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме.

Е.А. Бузоверов, А.З. Жук, Ю.А. Зейгарник, Ю.Н. Кучеров, А.Е. Шейндлин

Компенсация дисбаланса генерируемой мощности и потребляемой нагрузки в энергосистемах является одной из ключевых проблем современной энергетики. Увеличение доли энергоисточников, использующих возобновляемые энергоресурсы, делают эту тему еще более актуальной.

Выполнены оценки удельных затрат при компенсации колебаний нагрузки с помощью традиционных технологий, использующих маневренные и пиковые электростанции, а также с помощью технологий, основанных на применении электрохимических накопителей электроэнергии (ЭНЭ), в т.ч. технологии V2G. Оценивались затраты на 1 кВт.ч пиковой электроэнергии и затраты в расчете на 1 кВт пиковой мощности.

Расчетные формулы

Технология	Затраты $C^{кВт.ч}$, $\$/кВт.ч$	$C^{кВт.год}$, $\$/кВт.год$
Маневренная ПГУ, пиковая ГТУ и ГПУ	$\frac{1}{365 \cdot t} (C_{cap}^{кВт} \cdot CRF + C_{const})$	$C_{cap}^{кВт} \cdot CRF + C_{const}$
Стационарный электрохимический накопитель	$\frac{1}{365 \cdot t} ((t \cdot C_{cap}^{АК.кВт.ч} + C_{conv}) \cdot CRF + C_{const})$	$(t \cdot C_{cap}^{АК.кВт.ч} + C_{conv}) \cdot CRF + C_{const}$
V2G	$\frac{C_{cap}^{АК.кВт.ч}}{N_{cycle}}$	$365 \cdot t \cdot \frac{C_{cap}^{АК.кВт.ч}}{N_{cycle}}$

$$CRF = \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}}$$

$$n = \frac{T_{SGT}}{8760} \quad - \text{Маневренная ПГУ}$$

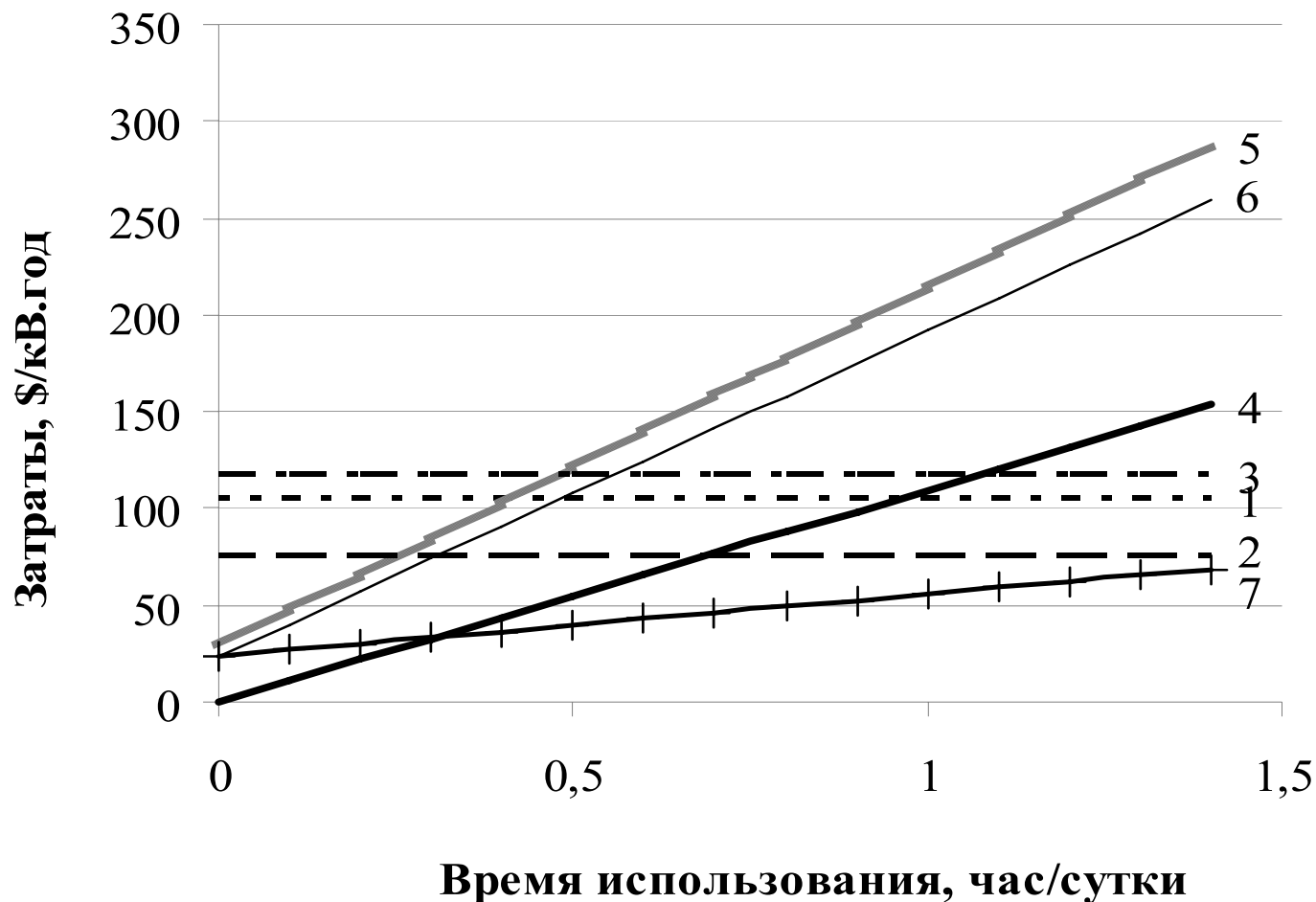
$$n = \frac{N_{cycle}}{365 \cdot \tau} \quad - \text{ЭНЭ}$$

$$n = \frac{N_{GT}}{365 \cdot \tau} \quad - \text{Пиковые ГТУ, ГПУ}$$

t – средняя длительность суточного пика потребления

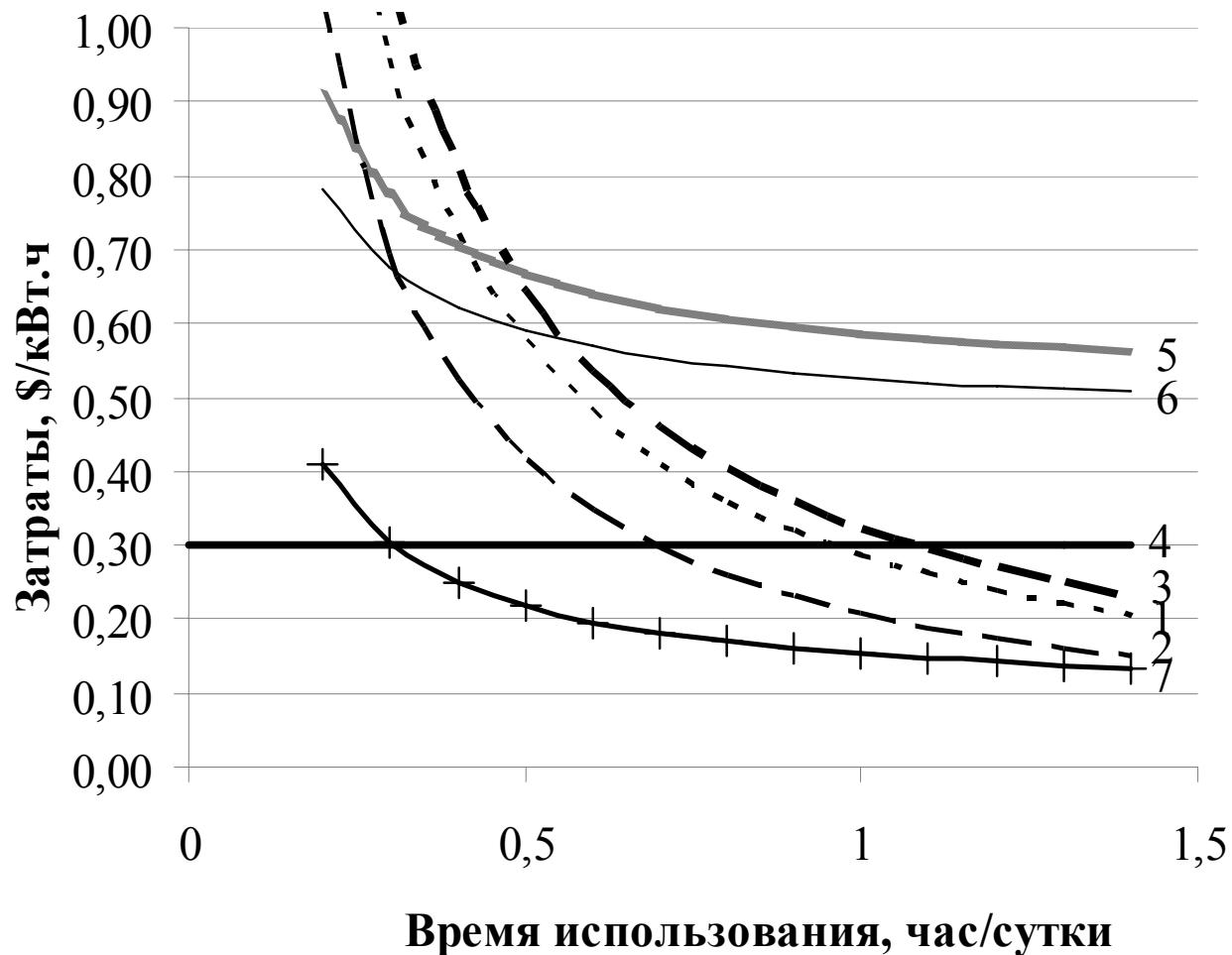
T_{SGT} - парковый ресурс ПГУ, час; n – срок службы оборудования, лет, d – средне взвешенная стоимость капитала, % в год.

Приведенные годовые затраты на содержание пиковых мощностей, \$/кВт.год



1 - ГТУ; 2 – ГПУ; 3 – ПГУ; 4 – V2G; 5 – стационарный накопитель с АКБ LiFePO₄, 6 – стационарный накопитель с АКБ LTO, 7 – перспективный стационарный накопитель.

Затраты на отпущенный 1кВт.ч «пиковой» электроэнергии,
\$/кВт.ч (без учета топливной составляющей)



1 - ГТУ; 2 – ГПУ; 3 – ПГУ; 4 – V2G; 5 – стационарный накопитель с АКБ LiFePO4, 6 – стационарный накопитель с АКБ LTO, 7 – перспективный стационарный накопитель.

1. Показано, что для V2G, себестоимость пиковой энергии не зависит от продолжительности времени использования. Экономическая эффективность V2G ограничена длительностью непрерывного разряда до 1-2 часов в сутки. Данная технология весьма перспективна при работе в составе сетей низкого класса напряжения.

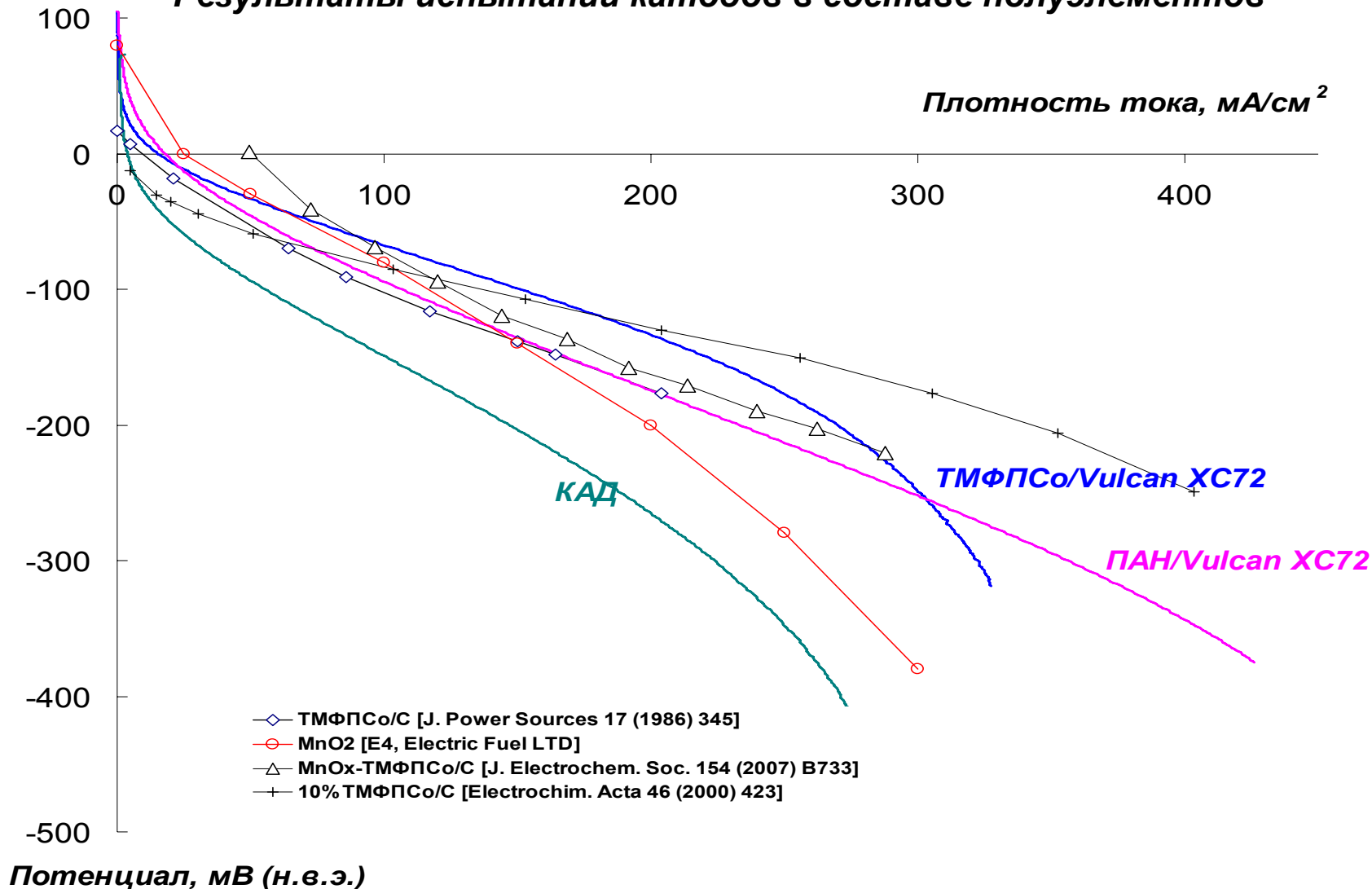
2. Стационарные электрохимические накопители являются эффективным средством регулирования в сетях среднего и высокого напряжения при длительностях возмущений в сети менее 1 часа, обладая функциональными и экономическими преимуществами, обеспечивая быстрый отклик на возмущения различного характера: колебаний частоты, активной и реактивной мощности.

3. В крупных централизованных энергосистемах тепловые, гидро- и гидроаккумулирующие электростанции остаются наиболее эффективным средством регулирования длительных пиков потребления. При дефиците мощности маневренных и пиковых энергоисточников, а также в автономных энергосистемах и территориально распределенных энергетических кластерах, в т.ч. на основе ВИЭ, использование ЭНЭ может быть экономически оправдано при временах до нескольких часов.

3. Воздушные газодиффузионные катоды для воздушно-алюминиевого ЭХГ с щелочным электролитом. Е.С. Давыдова, Е.И. Школьников.



Результаты испытаний катодов в составе полуэлементов



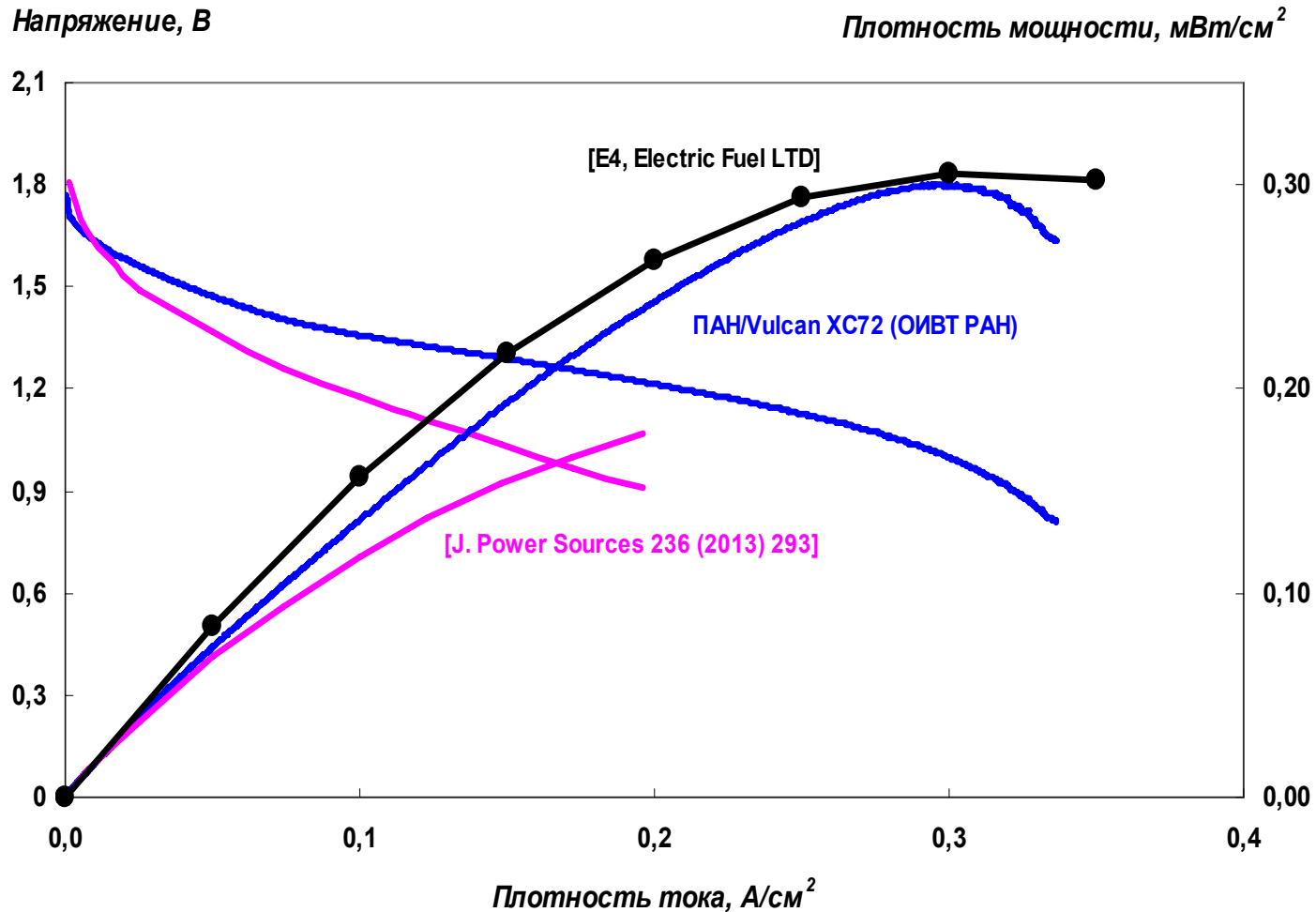
КАД – активированный уголь марки КАД, применяемый в катодах в ОИВТ РАН

TMFPCo - тетраметоксифенилпорфирин кобальта

ПАН – полиакрилонитрил

Vulcan XC72 – коммерческая сажа-носитель

Результаты испытаний AI-воздушных элементов



За 2014 год благодаря переходу на новый тип катализаторов нами достигнута удельная мощность 300 мВт/см² при 0,3 А/см² и напряжении элемента 1 В. Планируется достижение мощности 350-400 мВт/см².

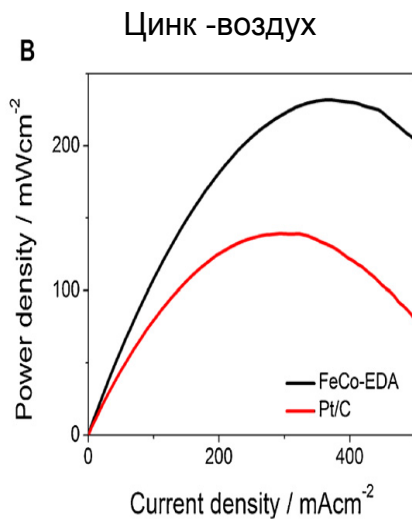
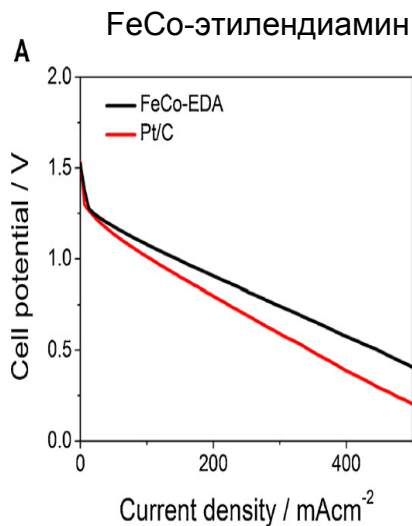
Результаты

1. Разрабатываются новые дешевые катализаторы серии ПАН/Fe/C, а также технология синтеза катализаторов на основе коммерческих N-прекурсоров ТМФPСо и ПАН и сажи Vulcan XC72. Планируется полный переход на отечественные реактивы в течение календарного года.
2. С использованием каландрового метода обрабатывается технология изготовления утонченных (более мощных) газодиффузионных катодов с новыми катализаторами.
3. Активность новых катодов, разработанных в ОИВТ РАН, способны обеспечить удельную мощность воздушно-алюминиевого элемента на уровне до 300 мВт/см² (60°С в 8М NaOH).

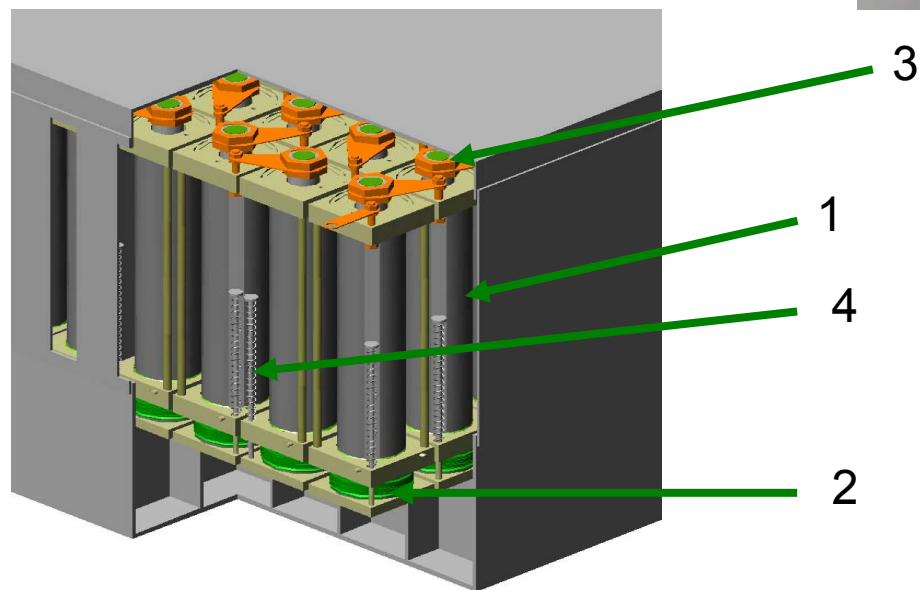
Планы:

1. Создание и испытание композитных катализаторов ТМФPСо (ПАН)/перовскиты (шпинели) для повышения удельных характеристик катодов.
2. Организация фундаментальных исследований катализаторов восстановления O₂ методами вращающегося дискового и вращающегося дискового электрода с кольцом.
3. Ресурсные испытания элементов Al-воздух, Al-O₂.
4. Достижение удельной мощности элементов Al-воздух 400 мВт/см².

4. Перспективная воздушно-алюминиевая батарея с цилиндрическими элементами. А.З. Жук, А.В. Илюхина, Б.В. Клейменов.



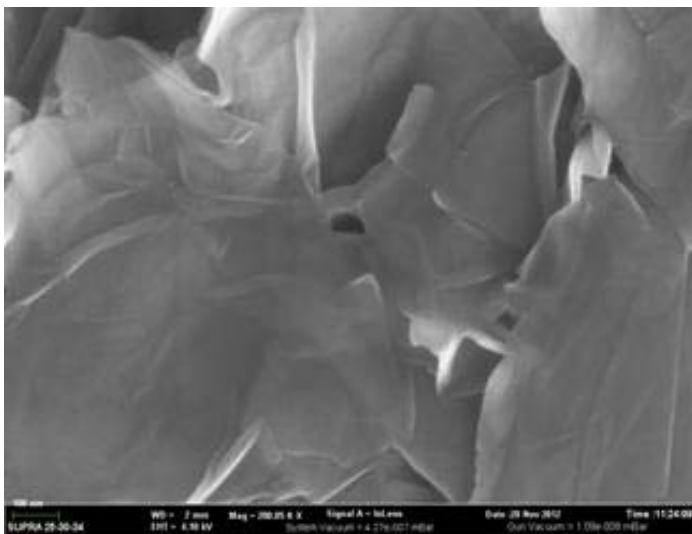
Характеристики		
Удельная энергоемкость	Втч/кг	>500
Удельная мощность	Вт/кг	>170
Номинальное напряжение	В	280
Энергоемкость	кВт.ч	72
Мощность	кВт	14
Время работы	ч	5
Плотность тока на катоде	мА/см ²	Более 250
Габариты, мм	910 x 980 x 355	
Масса	кг	80



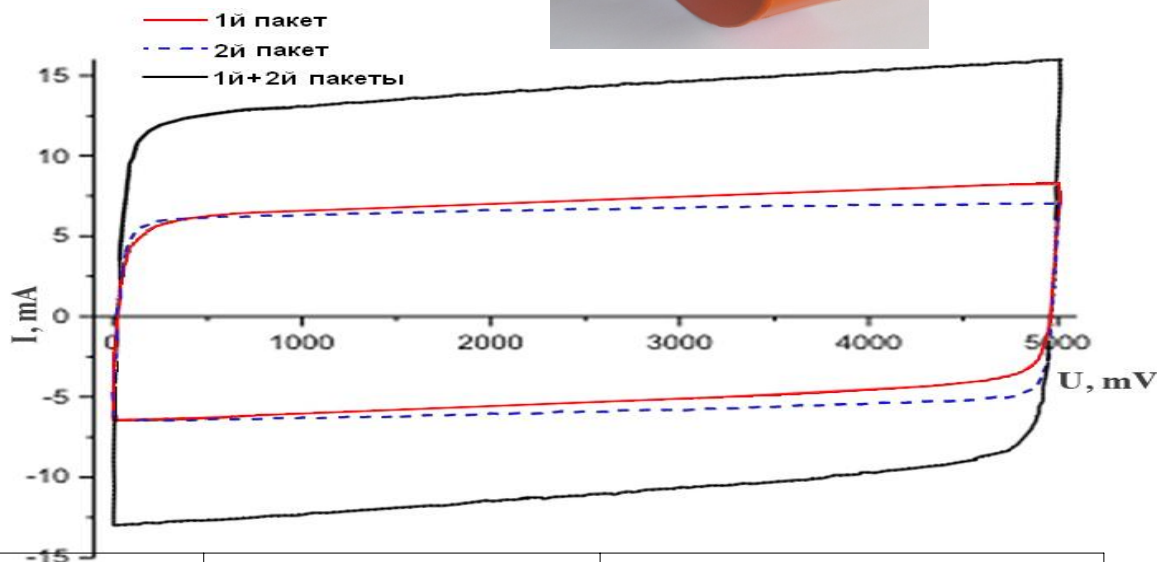
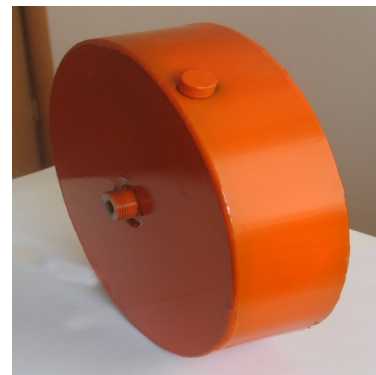
- 1 – цилиндрические воздушно-алюминиевые элементы;
- 2 – электролитная емкость после запуска;
- 3 – токовыводы;
- 4 – пружинный механизм запуска

5. Разработка суперконденсаторов с высокими энергетическими характеристиками. К.К. Деньщиков, И.Ю Сапурина.

Графеновые суперконденсаторы с водным электролитом

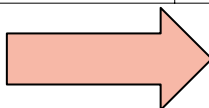


Микрофотография
агломераций слоистой
структуры графена.
Увеличение 10^5



Тип	Напряжение V	Удельная емкость F/g	Удельная энергия Wt*h/kg	Удельная мощность kWt/kg
Графен	125	280	2,5	10,6

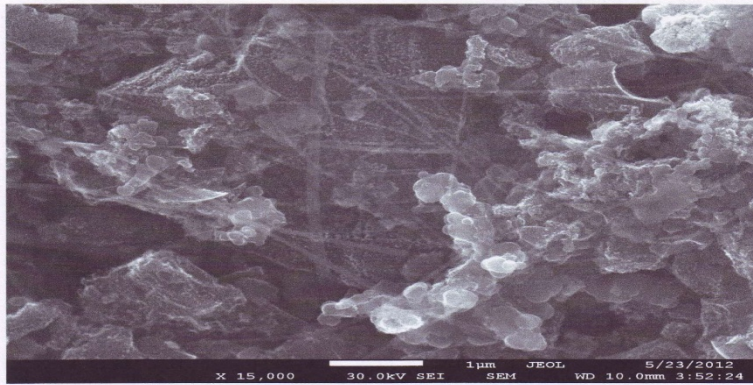
УВЕЛИЧЕНИЕ



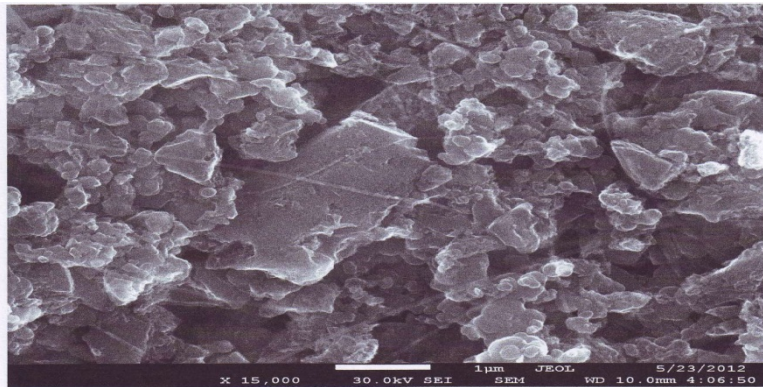
**ЕМКОСТИ В 2 РАЗА
МОЩНОСТИ В 3 РАЗА**

Обработка углеродного материала низкотемпературной плазмой

До обработки



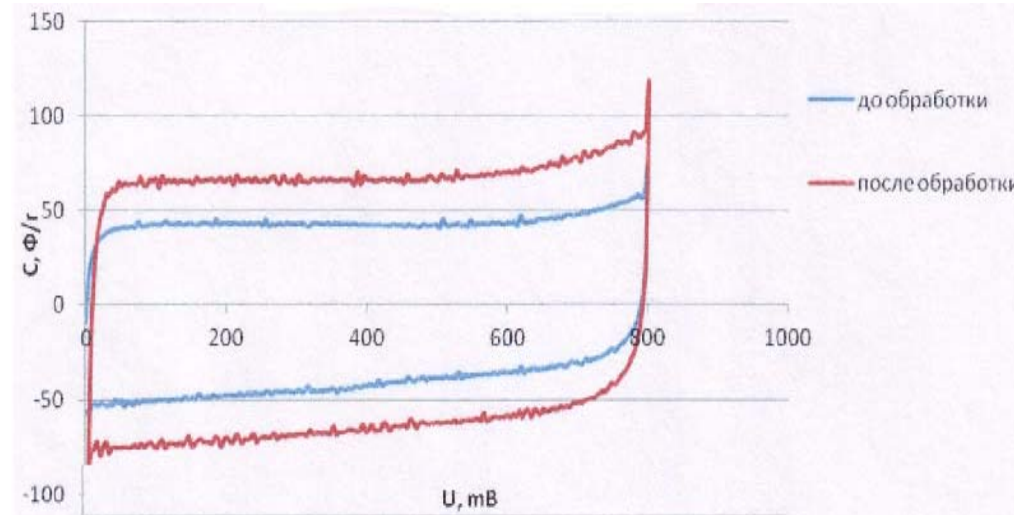
После обработки



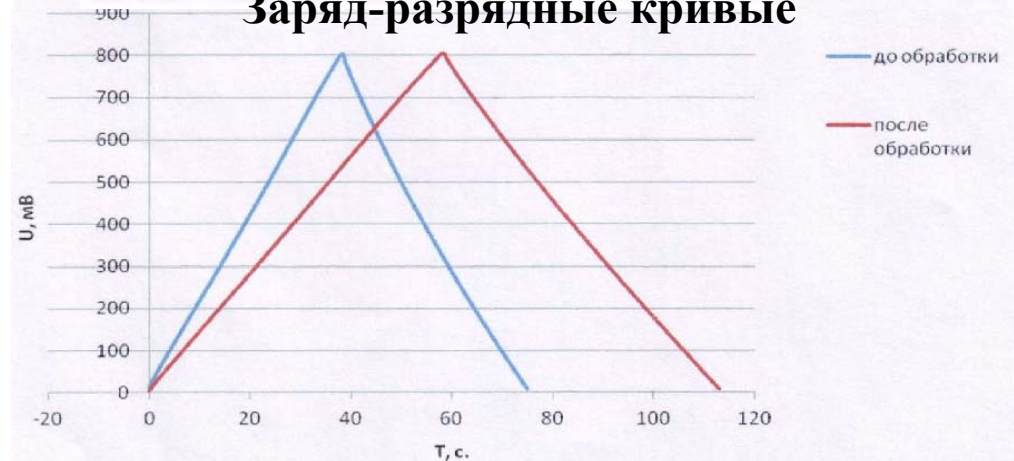
Преимущества

увеличение площади поверхности
улучшение смачиваемости
снижение сопротивления

Циклические Вольт-Фарадограммы



Заряд-разрядные кривые



Результаты обработки

Увеличение удельной емкости
суперконденсаторов на 10 – 15%.

Модификации углеродных материалов редокс-активной компонентой для использования в гибридных суперконденсаторах.

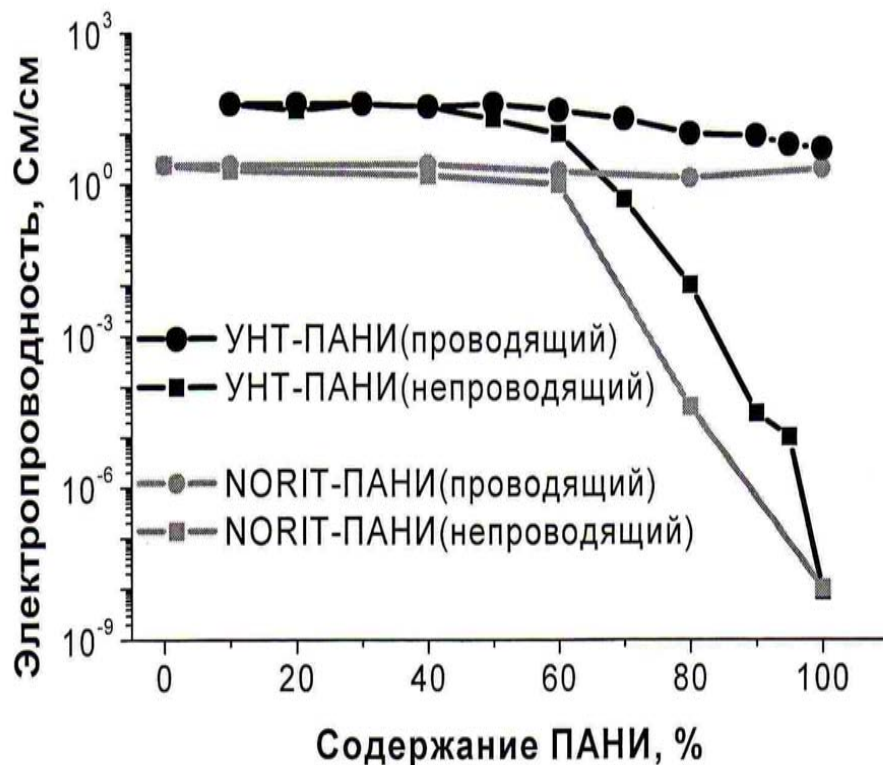
Удельная емкость электродных материалов, пропитанных полианилином

Состав электродного материала	Удельная емкость (Ф/г)
УНТ	40-60
Norit	100-120
УНТ - ПАНИ (50%)	490±20%
Norit - ПАНИ (10%)	300±20%
Norit - ПАНИ (30%)	400±20%
Norit - ПАНИ (50%)	450±20%
Norit - ПАНИ (40%)	1000±20%

Новые возможности подхода

Управление характеристиками редокс реакций. Гидрофильный характер поверхности.

Электропроводность полимер-углеродных композитов



Результаты модификации

Увеличение фарадеевской емкости суперконденсаторов до **1000Ф/г**

6. Получение оксида алюминия высокой чистоты. М.С. Власкин, А.З. Жук, Е.И. Школьников

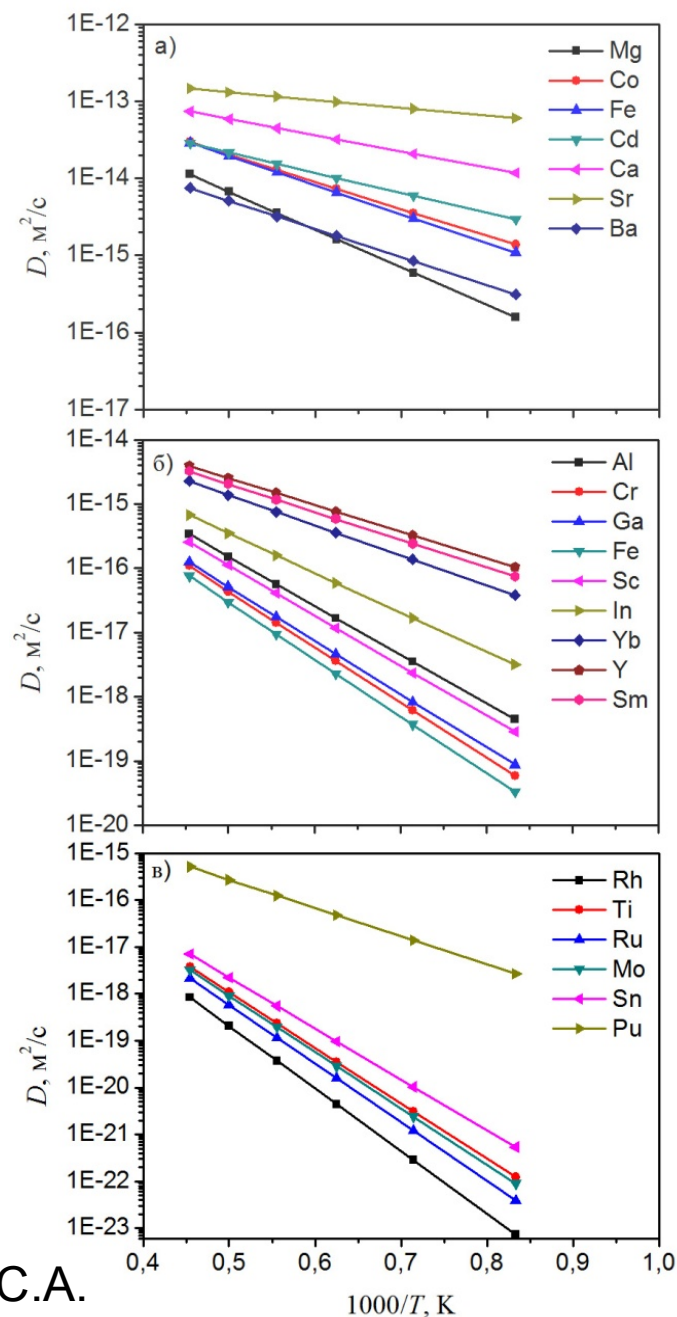
Результат химического анализа полученного ранее в ОИВТ РАН корунда высокой чистоты

	Результат тестирования, ppm		Требования к чистоте корунда в ОАО «Монокристалл», ppm
	собственный	в ОАО «Монокристалл»	
Si	-	6	10
K	<0.6	8.5	10
Na	<0.8	2.7	10
Fe	5.1	4	5
Ni	1.1	1.4	5
Cr	3.8	8.5	5
Ca	2.4	<1	5
Mg	1.2	4.5	5
Ti	8.5	15	5
Cu	<0.3	<1.0	5
Zn	<0.1	<1.0	5
Zr	<0.9	1.0	5
Y	<0.04	<1.0	5
Mn	<0.1	<1.0	5
Ga	<0.5	-	-
Li	<0.06	-	0.5
B	<0.3	-	0.1
Co	<0.1	-	0.1

Ранее был получен образец с химической чистотой 99.997 % (менее 30 ppm примесей).

Но! По отдельным элементам (Ti, V, Cr) остается превышение допустимых пределов.

Расчет диффузии примесей выполнен Кисленко С.А.



Комплекс получения оксида алюминия высокой чистоты

Цель: создание комплекса по получению оксида алюминия высокой чистоты в количестве, необходимом для пробного роста монокристалла ($m > 100$ кг), а также продолжение экспериментальных исследований процесса вакуумной очистки Al_2O_3

Блок гидротермального окисления



$T \sim 300-350 \text{ }^\circ\text{C}$

AlOOH



Муфельная печь



$T \sim 600-1100 \text{ }^\circ\text{C}$

Al_2O_3

(γ - или α -)

Вакуумная печь

$T \sim 1600-1800 \text{ }^\circ\text{C}$



$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$



Al
+ H_2O



Плазменное компактирование α -оксида алюминия

Цель: повышение плотности Al_2O_3 для его эффективной засыпки в тигель ростовой печи и повышения энергоэффективности процесса роста монокристалла

Гранулятор

Сушильный шкаф

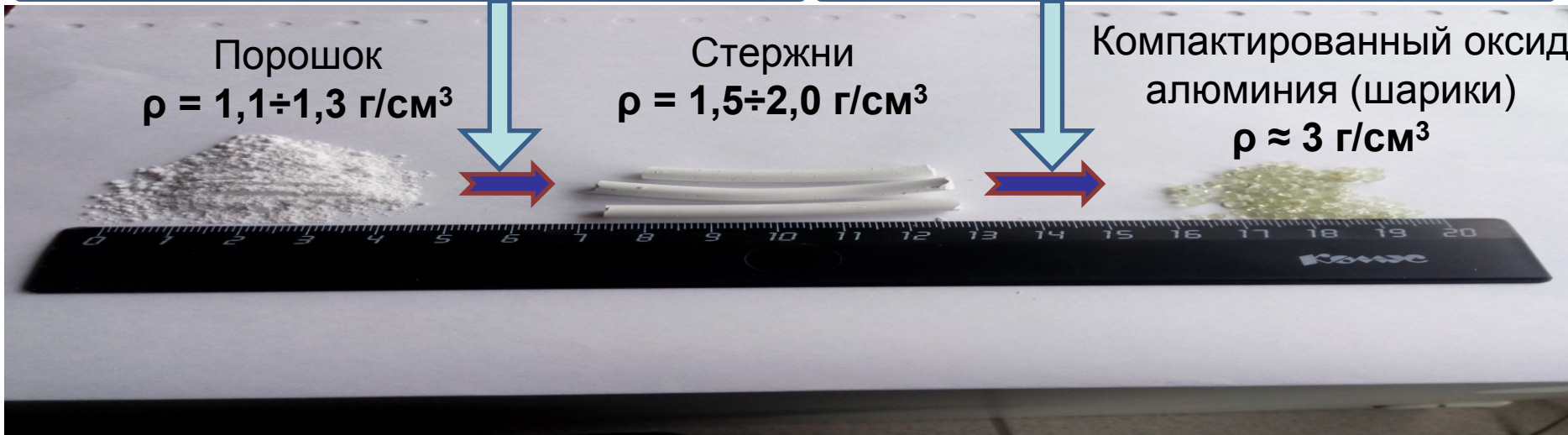
Плазмотрон



Порошок
 $\rho = 1,1 \div 1,3 \text{ г/см}^3$

Стержни
 $\rho = 1,5 \div 2,0 \text{ г/см}^3$

Компактированный оксид
алюминия (шарики)
 $\rho \approx 3 \text{ г/см}^3$



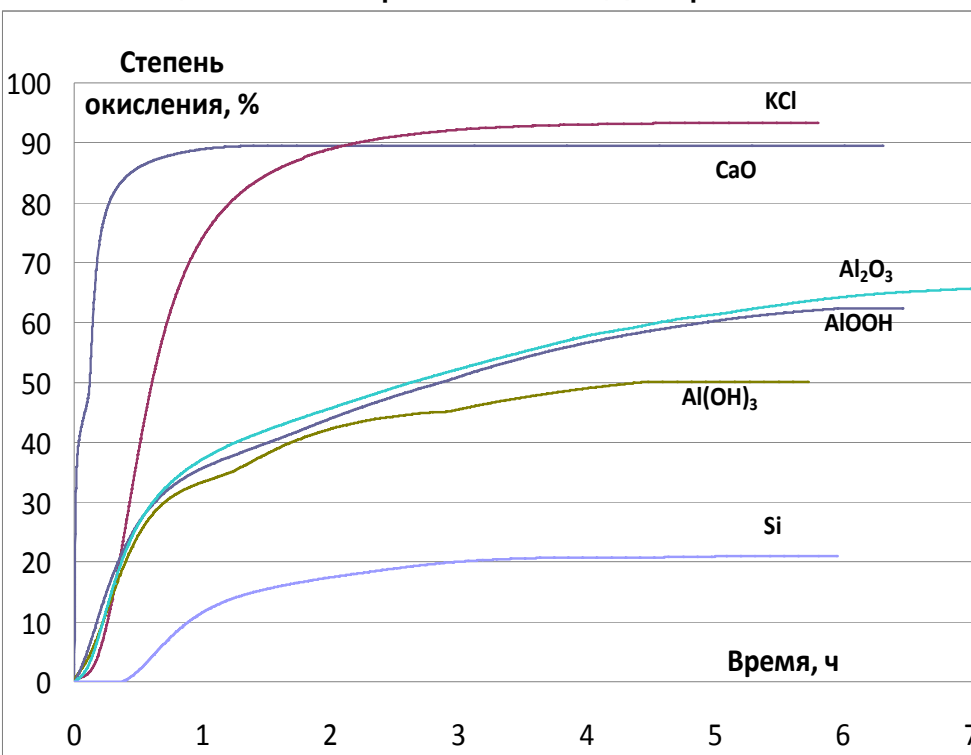
Выводы: получены первые образцы спеченного в плазматроне оксида алюминия (в виде шариков), плотность Al_2O_3 увеличена до 3 г/см^3 .

Работы ведутся совместно с Чинновым В.Ф., Мордынским В.Б.

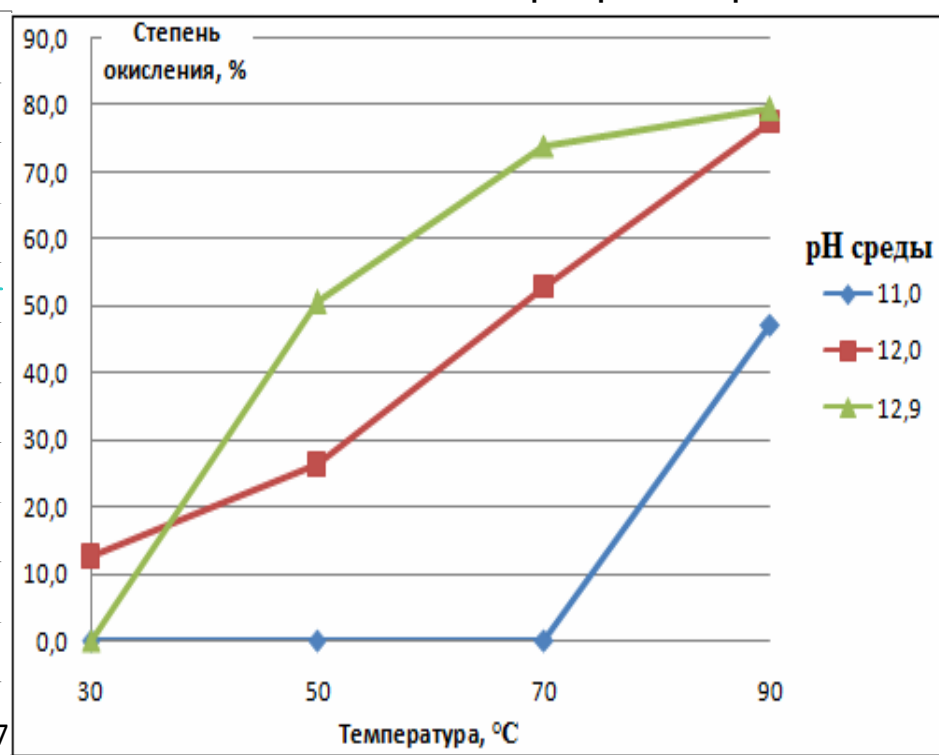
7. Поиск новых водородгенерирующих систем. И.Н. Атаманюк, М.С. Власкин, Е.А. Мешков, И.В. Янилкин, Е.И. Школьников.

Цель: поиск новых систем генерации водорода с использованием реакций окисления в водных средах алюминия или кремния

Окисление алюминия, активированного солями, оксидами алюминия или оксидом кальция, в нейтральной воде при $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$



Окисление порошка кремния ($d=40\text{ мкм}$) в растворе натриевой щелочи при $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от pH раствора

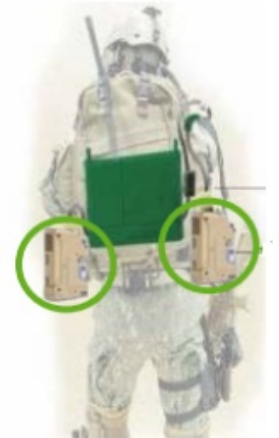
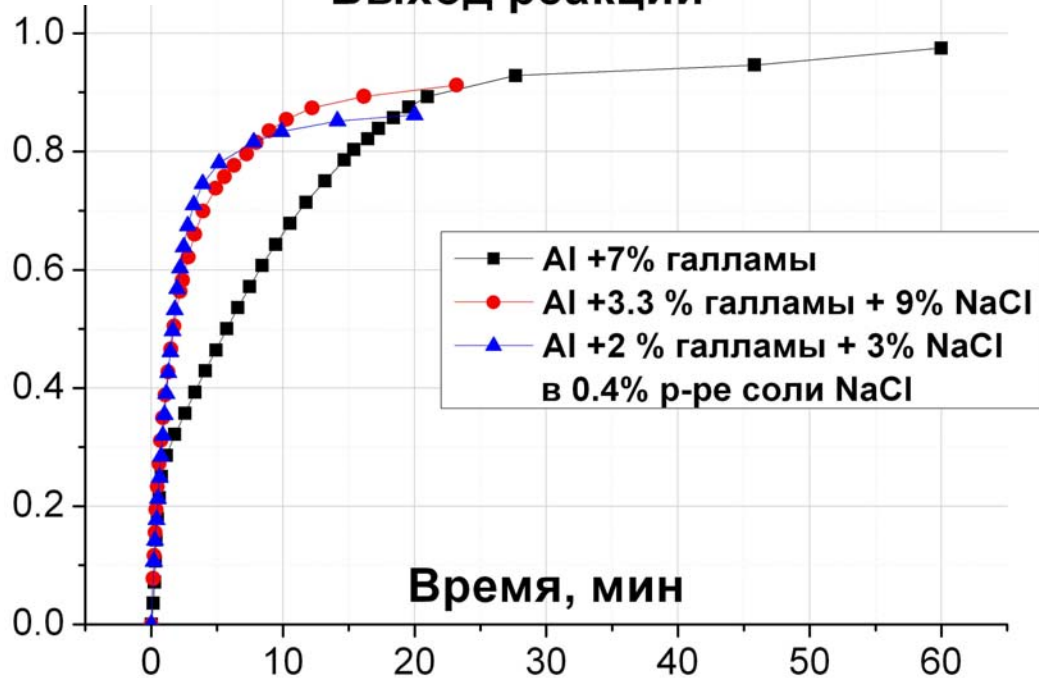


Выводы: показана эффективность активации алюминия солью и оксидом кальция применительно к реакции его окисления в нейтральной воде, показана возможность генерации водорода в водном растворе натриевой щелочи при $\text{pH}>11$.

Модернизация технологии изготовления активированного алюминия инновационных портативных источников тока на основе активированного алюминия



Выход реакции



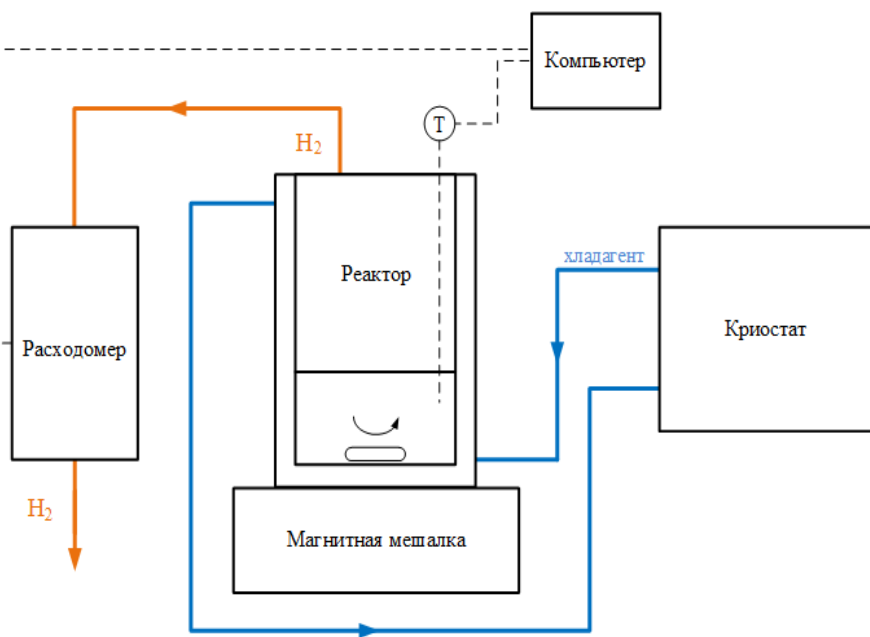
Кинетические кривые выделения водорода при взаимодействии с водой алюминия, активированного галлами (Ga-In-Sn) со специальными добавками

За счет модернизации технологии изготовления активированного алюминия удалось снизить содержание дорогостоящей галламы до 2% масс.

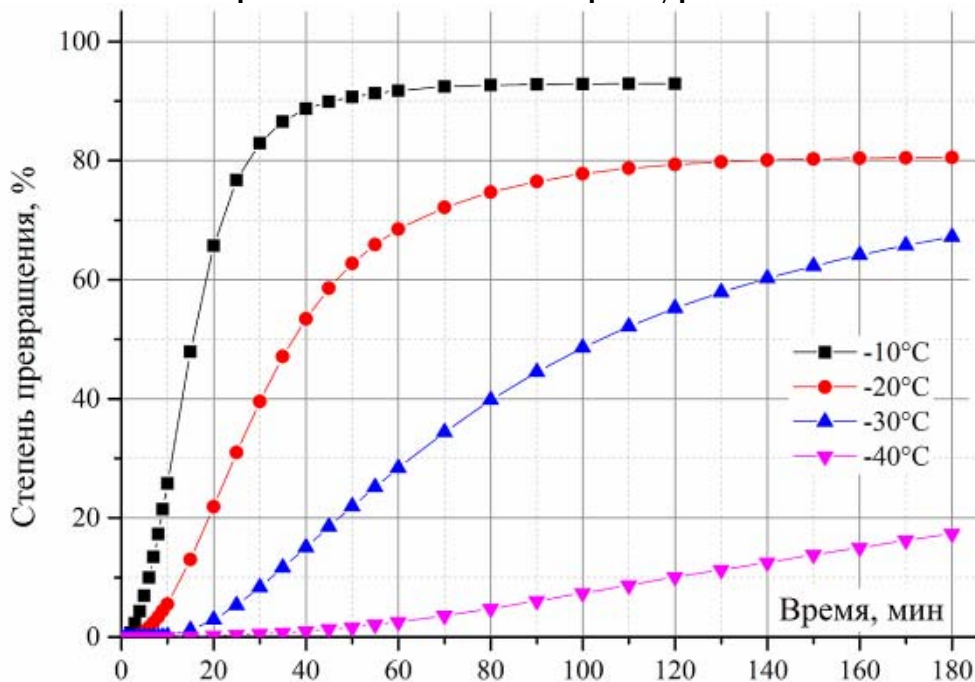
Генерация водорода при низких отрицательных температурах

Цель: разработка экологически безопасных энергетических установок, использующих в качестве топлива твердые неорганические энергоносители (алюминий и др.) с запуском при низких отрицательных температурах

Схема экспериментальной установки



Степень превращения Al (акт. галламой (10%мас.) состава Ga:In:Zn(масс. %):60:20:20) в водном растворе KOH при различных температурах



Выводы: показана возможность получения водорода и генерации тепла при температурах до -40°C на основе реакции окисления активированного галлами алюминия в растворе калиевой щелочи, что может быть использовано для «холодного» запуска энергоустановки.

8. Хранение горючих газов (CH₄, H₂) в газогидратном состоянии.

М.С. Власкин, А.О. Дудолодов.

Цель: Исследование и разработка способов получения гидратов горючих газов. Повышение скорости гидратообразования и границ устойчивости газовых гидратов.

Способы хранения метана

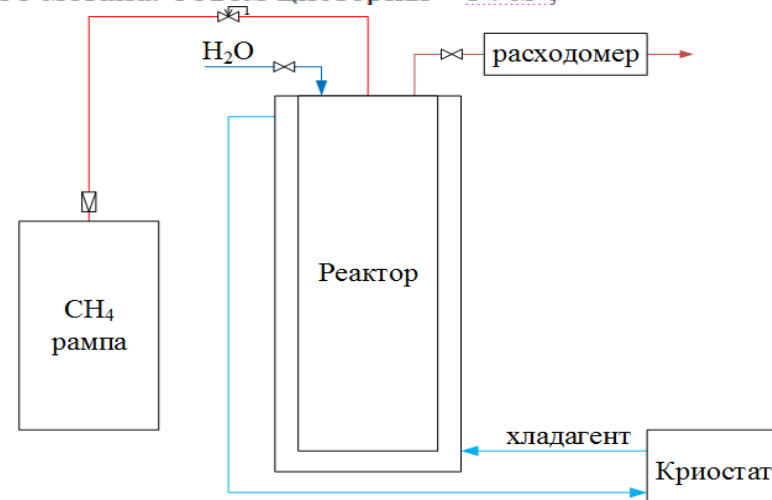
Способ хранения природного газа	T, °C	P, МПа	Количество н.м ³ природного газа в 1-ом м ³ системы хранения	Массовое содержание природного газа, %	Удельная энергия, МДж/кг	Плотность энергии, МДж/л
Метан в баллонах высокого давления*	-50÷ +50	15÷ 25	200	20	10	7,2
Жидкий природный газ**	-160÷ -170	0,1÷ 2	600	29	14,6	21,6
Гидрат природного газа	-20÷ +20	0,1÷ 25	164	13***	6,5***	5,9

* Для расчета были взяты характеристики баллона: объем – 185 литров, масса – 108,5 кг, давление 20 МПа.

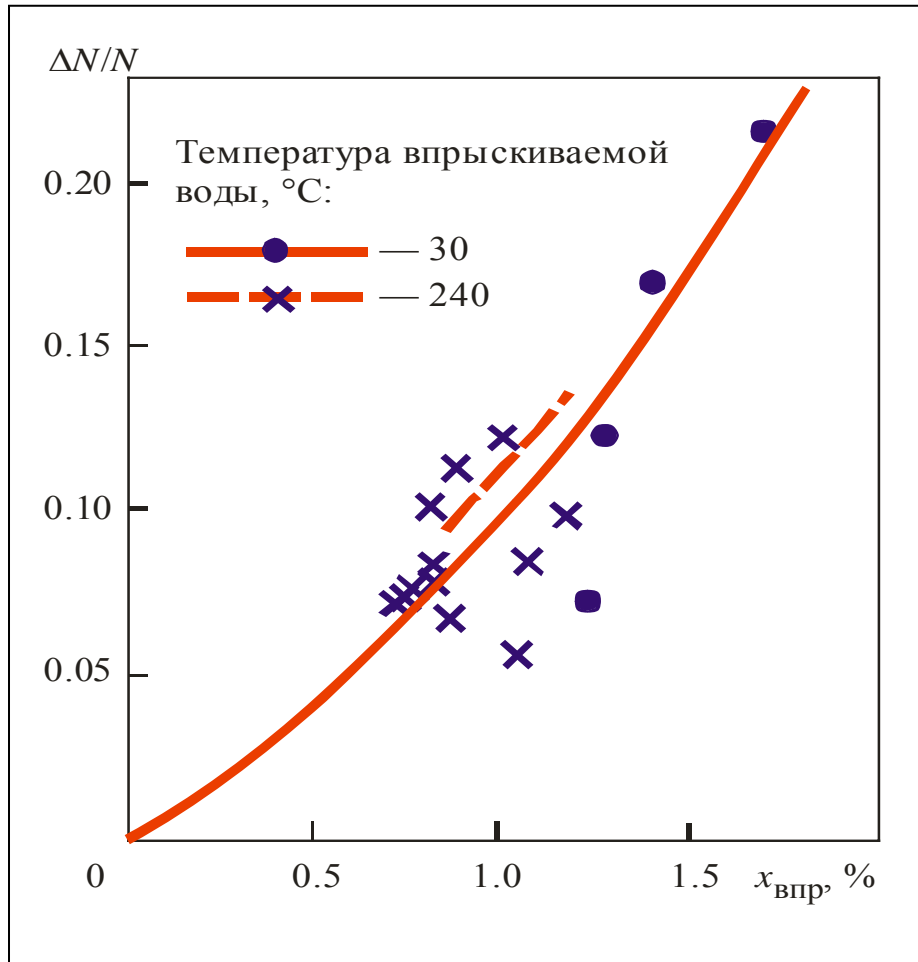
** Для расчета была взята железнодорожная цистерна для сжиженного метана: объем цистерны – 54 м³, ее вес – 49,9 тонн, максимальный груз метана – 20,3 тонны.

*** Вес конструкции не учитывался

В настоящий момент идет разработка и создание экспериментального стенда по искусственному получению и исследованию свойств газовых гидратов.



9. Повышение маневренности автономных энергоустановок на базе ГТУ. В.Б. Алексеев, Ю.А. Зейграник



Результаты:

- расширение регулировочного диапазона ГТУ;
- рекомендации по местоположению точек впрыска воды в тракт ГТУ

Оптимизация схемы с влажным расширением и регенерацией тепла отработанных газов (ВСР)

Результаты:

- проведены оптимизационные расчеты схемы ВСР;
- уточнен рациональный облик регенератора тепла отработанных



газов с впрыском воды на вход аппарата;

- создана установка по экспериментальному исследованию интенсивности теплообмена в модельном элементе регенератора системы ВСР

10. Основные результаты 2014 г.

1. Оценены границы экономически оправданного использования аккумуляторных накопителей большой емкости в электроэнергетике.
2. Предложены новые подходы к созданию электрохимических источников энергии с рекордно высокой удельной энергоемкостью: 400 -600 Втч/кг.
3. Предложен и экспериментально апробирован подход к созданию нового типа электродных материалов для гибридных суперконденсаторов, основанный на модификации углеродных материалов редокс-активной компонентой.
4. Выполнен комплекс экспериментальных исследований, нацеленный на поиск перспективных водород генерирующих систем. Показано, что генерация водорода в системах металл – вода может быть реализована при минимальном количестве активирующих добавок, а также при минимальных температурах окружающей среды.
5. Начаты поисковые прикладные исследования направленные на создание:
 - новой технологии массового производства ультрачистого оксида алюминия;
 - перспективных систем газогидратного хранения и транспортировки метана и других газов.

Спасибо за внимание.