

Объединенный институт высоких температур  
Российской академии наук

Основные научные достижения НИЦ -3 в  
2015 году

Ученый Совет Объединенного Института Высоких Температур РАН

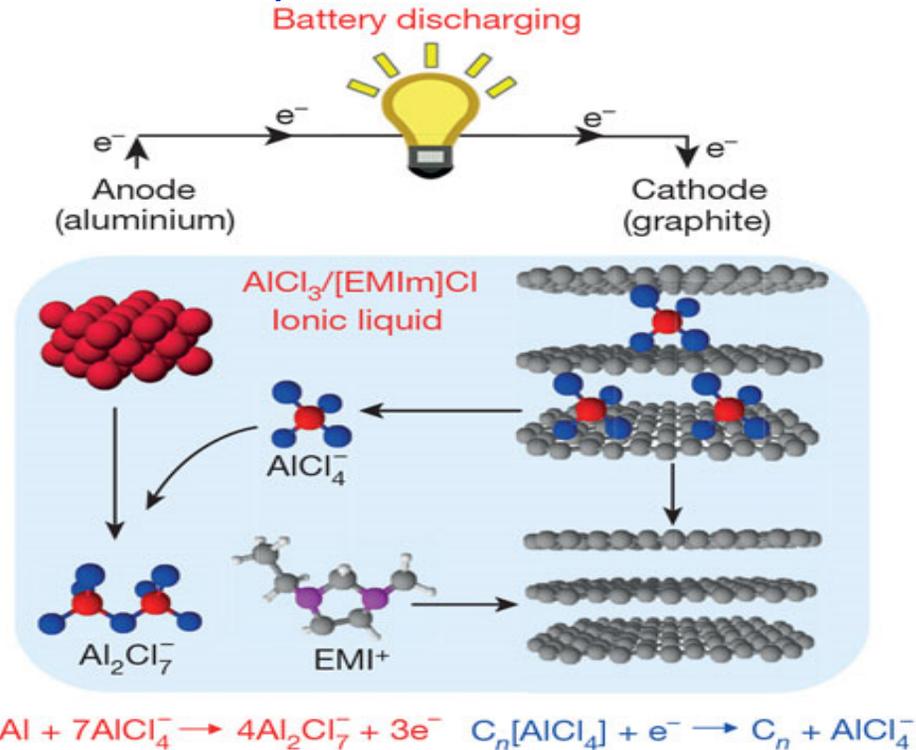
31 марта 2016 года

# Содержание

- I. **Электрохимические исследования.**
- II. **Исследования в области энергетических технологий.**
- III. **Исследовательские и опытно – конструкторские разработки прикладного характера.**

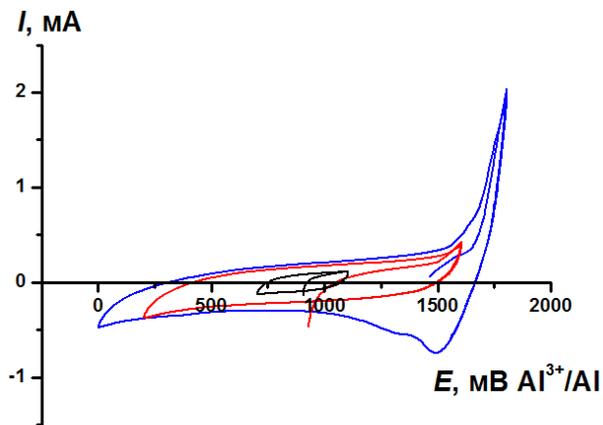
# I. Электрохимические исследования.

## 1.1. Исследования в обоснование возможности создания Al – ионных аккумуляторов (Е.С. Давыдова).

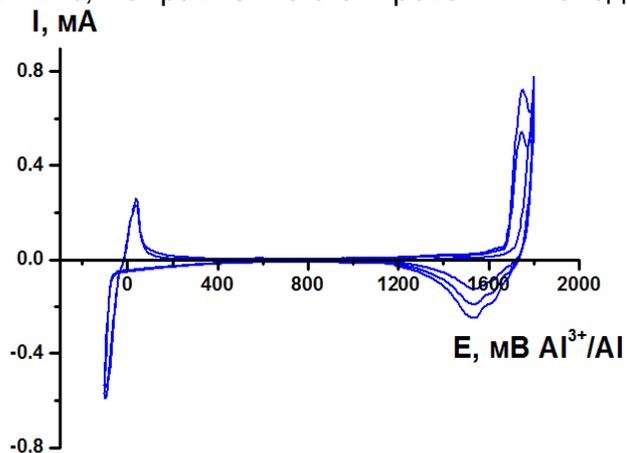


Предполагаемый механизм функционирования аккумулятора – обратимая интеркаляция/деинтеркаляция ионов Al<sub>2</sub>Cl<sub>7</sub><sup>-</sup> в углеродный материал.

Электрохимический эксперимент был реализован при комнатной температуре в герметичной трехэлектродной ячейке без разделения электродных камер, электрод сравнения - Al фольга, вспомогательный электрод – Al фольга. Электролит - бутилметилимидазолия хлорид + AlCl<sub>3</sub> (мольное соотношение 1/2). Сборка и заливка электролита производились в сухом боксе.



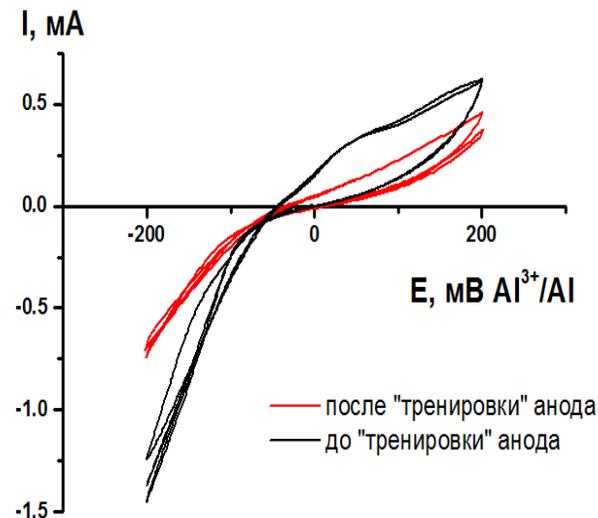
Циклическая вольтамперограмма на графитовом стержне (6 мм), 5 мВ/с, Направление сканирования - катодное/анодное.



Циклическая вольтамперограмма на граффлексе (TRG с наполнителем), 5 мВ/с.

## Задачи исследований 2016-2018 гг.:

1. Выяснение природы окислительно-восстановительных процессов в области потенциалов 1200-1800 мВ.
2. Исследование активных катодных слоев на основе различных форм высокодисперсных углеродных материалов: нанотрубок, графенов, активированных углей и саж. Выяснение роли структуры углеродного материала на емкость и рабочее напряжение Al-ионного аккумулятора.
3. Испытание лабораторных макетов Al-ионных аккумуляторов.



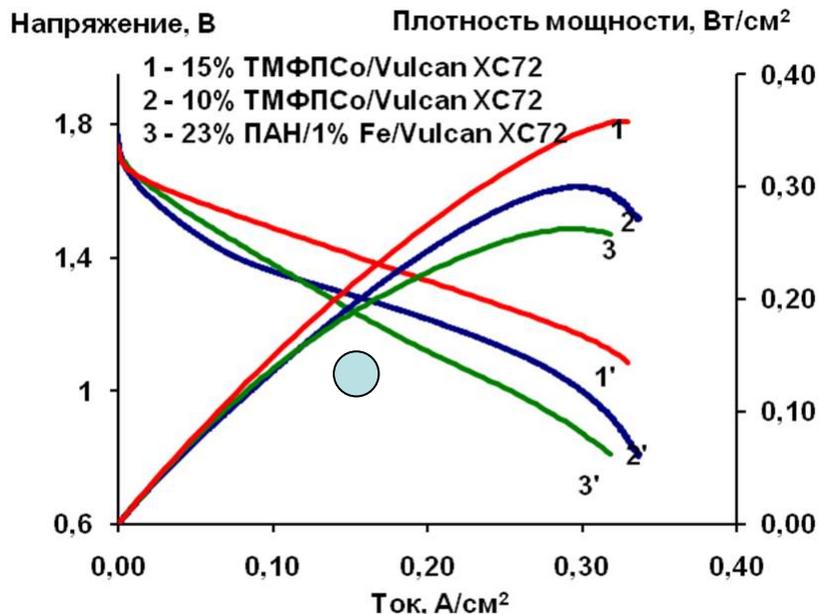
Сопоставление циклических вольтамперограмм на Al фольге (25 мкм толщина) до и после серии последовательных циклических поляризационных экспериментов по восстановлению и окислению Al при токах  $\pm 0,1, 0,2, 0,3, 0,5$  мА, имитирующих циклы заряда/разряда. 5 мВ/с, интервал  $-300 \div +300$  мВ. Восстановление Al на фольге, соответствующий циклу заряда и протекает с меньшей поляризацией и при большей плотности тока, чем окисление Al фольги, которое отвечает циклу разряда аккумулятора

## 1.2. Разработка катодных материалов повышенной эффективности (Е.С. Давыдова).

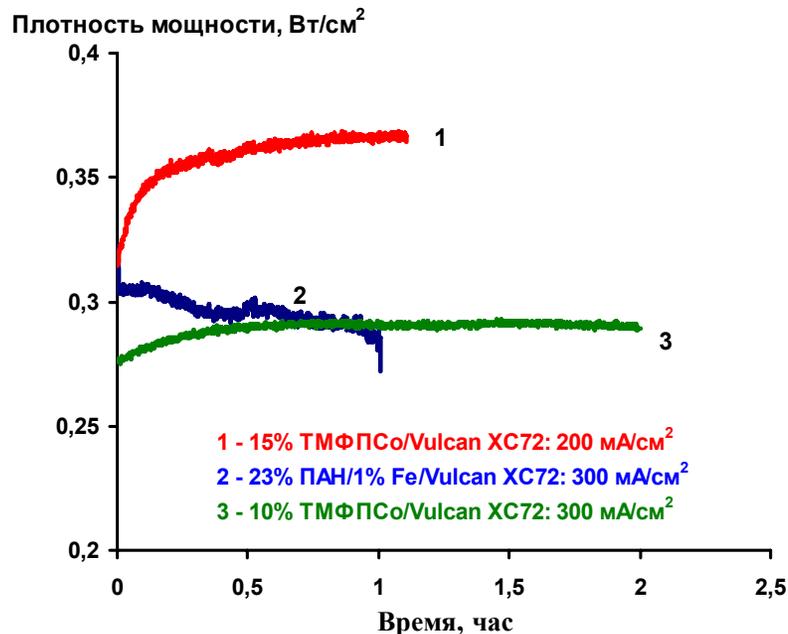
Цель: Повышение удельной мощности щелочных Al-воздушных элементов до 400 мВт/см<sup>2</sup> (до 300 Вт/кг).

Катализатор	$E_i=0,В$ н.в.э.	$i, А см^{-2}$		Ссылка
		$\eta=0.1 В$	$\eta=0.25 В$	
Pt	0.12	0.13	0.3	ОИВТ
10% CoTMPP/ Vulcan XC72	0.14	0.14	0.40	ОИВТ
23% PAN/1 %Fe/ Vulcan XC72	0.13	0.05	0.13	ОИВТ
BiOCl	-0.05	0.05	0.25	[J. Power Sources 263 (2014) 37]
$La_{0.7}Ca_{0.3}Co_{0.9}Fe_{0.1}O_3$	0.00	-	< 0.6	[Jap. J. Appl. Phys. 51 (2012) 09MB02]
CoTMPP/C	0.05÷0.1 0	-	0.3÷0.4	[J. Electrochem. Soc. 132 (4) (1991) 905]

Высокая активность и селективность реакции восстановления молекулярного кислорода на разработанных каталитических системах, сопоставимая с коммерческими платиновыми катализаторами, позволили их успешное применение в составе активных слоев газодиффузионных катодов, достигнув габаритных токов на уровне 0,4 А/см<sup>2</sup> при поляризации катода не выше 0,25 В и стационарном потенциале 0,09-0,14 В. Это сопоставимо с результатами, полученными для Pt-содержащих катодов, либо катодов на основе сложных оксидов (таблица).



Вольтамперные (1'-3') и ватт-амперные (1-3) характеристики щелочных элементов Al-воздух. Состав жидкого электролита: 8 M NaOH + 0.1 M Na<sub>2</sub>SnO<sub>3</sub>, 60 °C. Катодный материал: новые неплатиновые катализаторы на основе ПАН и ТМФПС. Анодный материал: сплав А99+0.45%In.



Ресурсные испытания Al-воздушного элемента. Воздух 1 атм., 8 M NaOH + 0.1 M Na<sub>2</sub>SnO<sub>3</sub>, 60 °C.

1. При испытании газодиффузионных катодов на основе новых композитных катализаторов полиакрилонитрил/железо/сажа была получена плотность мощности 350 мВ/см<sup>2</sup> для лабораторного макета щелочного Al-воздушного элемента при температуре 60 °C.
2. Были проведены краткосрочные (2 ч) ресурсные испытания лабораторного макета щелочного Al-воздушного элемента при температуре 60 °C при плотностях тока 200-300 мА/см<sub>2</sub>.
3. Решаются проблемы масштабирования газодиффузионных катодов от лабораторных размеров (8 см<sub>2</sub>) до полноразмерных (до 200 см<sup>2</sup>).
4. Начато исследование способов активации полноразмерных газодиффузионных катодов в условия запуска Al-воздушного элемента/батареи. Поиск способов сохранения «эффекта активации» газодиффузионных катодов в условиях хранения или остановки щелочных Al-воздушных батарей.

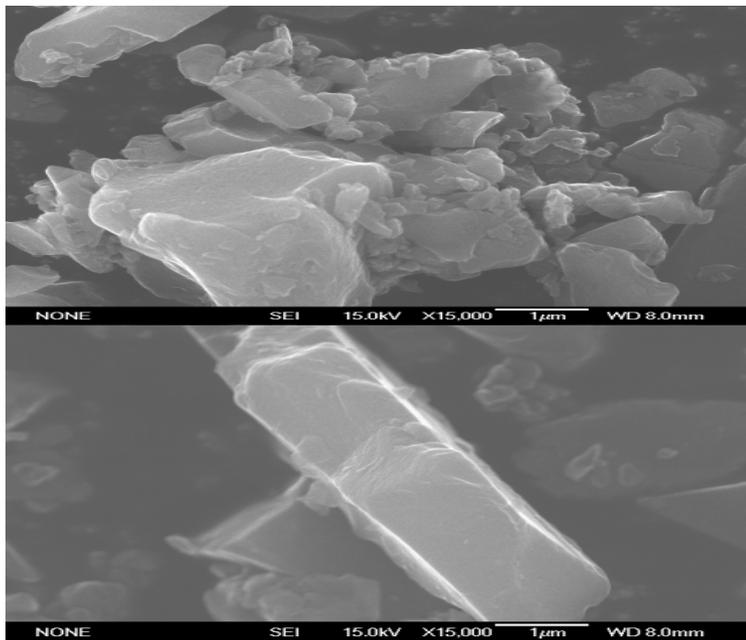
# 1.3. Новая технология получения высокоэффективного угля для суперконденсаторов (Е.В. Кислева, Е.И. Школьников).

Разработана оригинальная технология получения АУ из дешевой лиственной древесины для применения в электрохимических накопителях энергии.

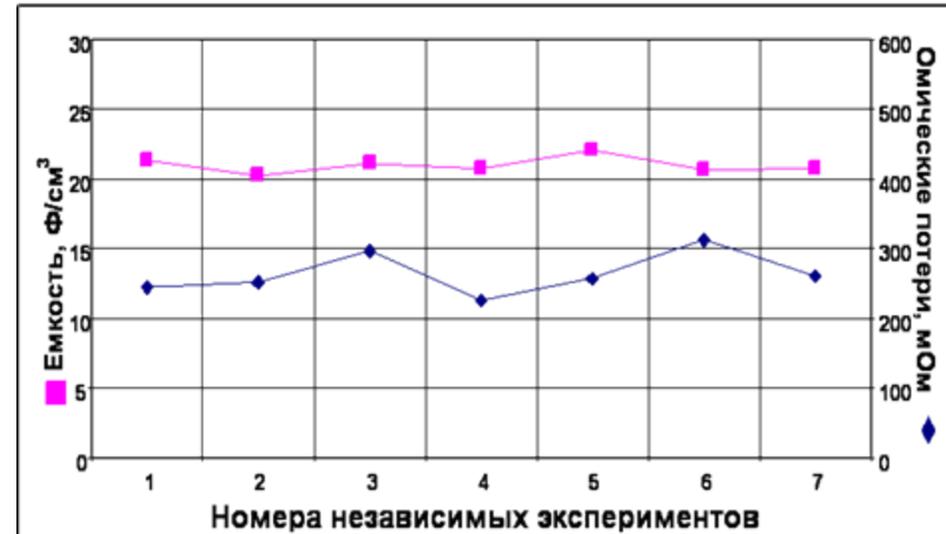
## Стадии термохимической активации

- помол исходного карбонизата
- активация карбонизата с натриевой щелочью при нагревании
- нейтрализации активированного угля в соляной кислоте
- отмывка продукта от кислоты в воде
- термообработка

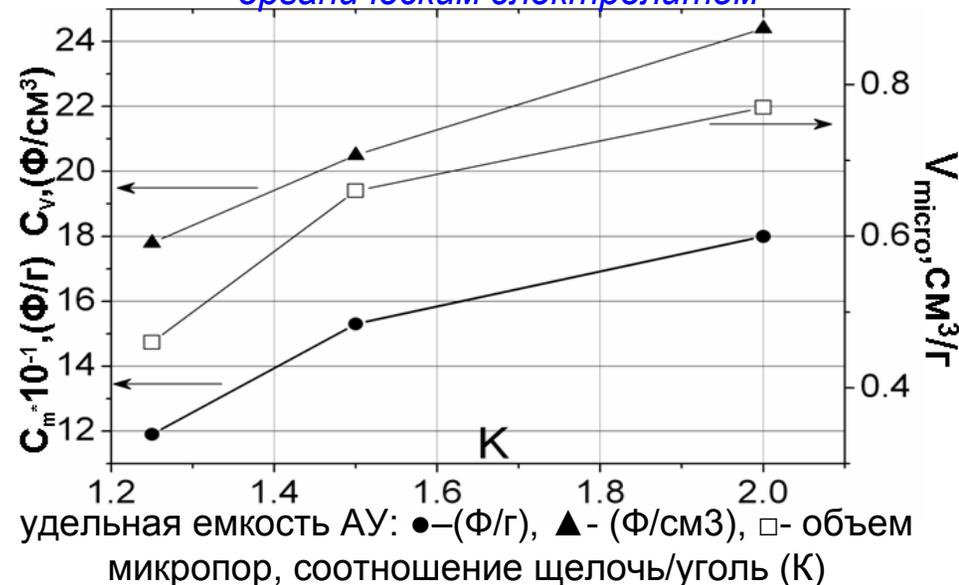
## Микрофотографии частиц АУ



## Воспроизводимость технологии



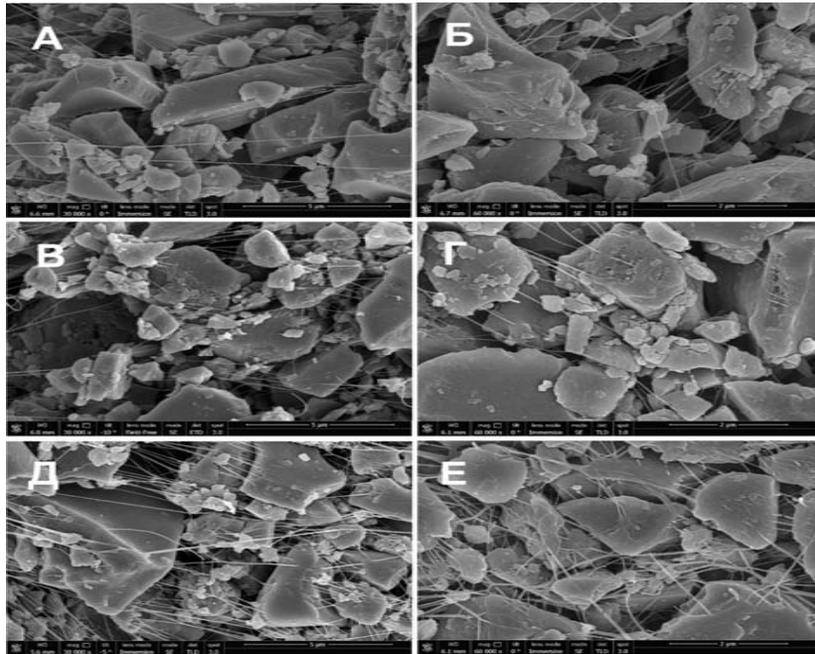
## Оптимизация пористой структуры угля для СК с органическим электролитом



# 1.4. Электроды и суперконденсаторы из полученных углей по ресурсным и удельным характеристикам превышают мировые аналоги (Е.В. Кисилева, Е.И. Школьников).

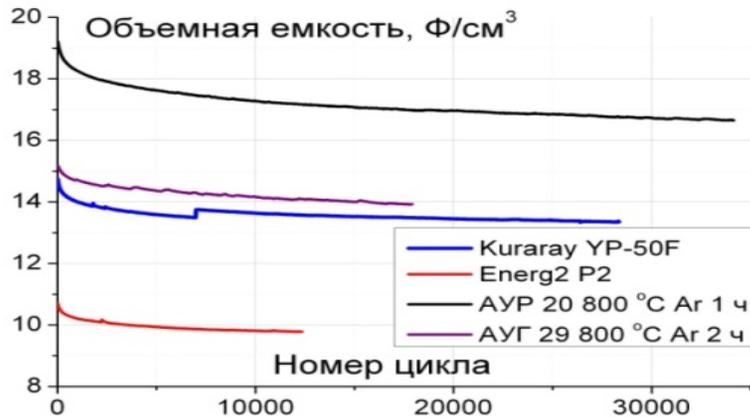
Микрофотографии поверхности электродов с разным содержанием связующего

Сравнение основных характеристик суперконденсаторов с коммерческими аналогами



Уголь	Energ 2 P2 США	Energ 2 V2 США	NORIT DLC SUPRA Нидерланды	Kuraray YP 50F Япония	Kurara у YP 80F Япония	XH- 002O Китай	O2- 600- 800(1)
Удельная емкость угля, Ф/г	111	105	86	107	103	128	<b>158</b>
Удельная емкость электрода, Ф/см <sup>3</sup>	12.5	17.3	13.4	16.2	10.6	18.3	<b>20.9</b>
ESR, Ом*см	0.40	0.47	0.36	0.48	0.59	0.45	<b>0.49</b>
КПД, %; заряд-разряд 12 мА/см <sup>2</sup> 0-2.5В	95.6	94	94	95	89	95.4	<b>93</b>

## Ресурсные испытания при циклировании модельных СК



Разработаны научные основы оригинальной технологии получения активированных углей для электродов электрохимических накопителей энергии;

Разработанные АУ и электроды для СК по ресурсным характеристикам не уступают, а по удельным электрохимическим характеристикам превосходят коммерческие аналоги;

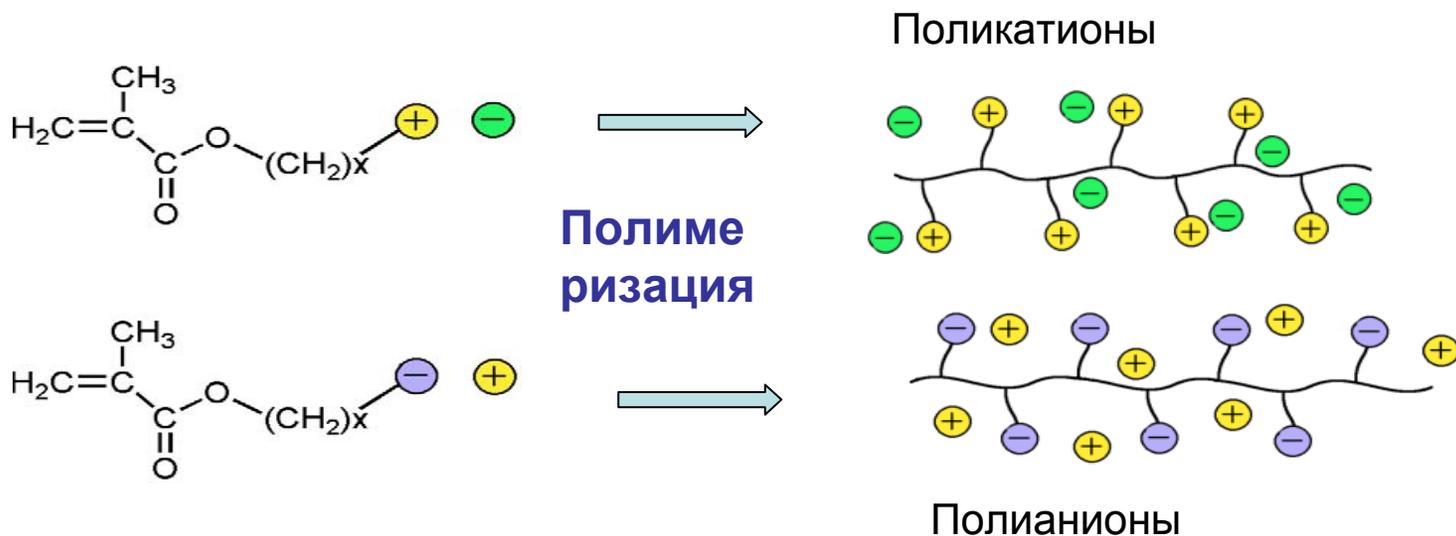
Работа в стадии коммерциализации.

# 1.5. Модификация ионных жидкостей для электролитов суперконденсаторов

К.К.Деньщиков (ОИВТ РАН), Я.С.Выгодский (ИНЭОС РАН),

Повышение напряжения разложения ионных жидкостей для увеличения энергоемкости двойнослойных суперконденсаторов

## Полимерные ионные жидкости



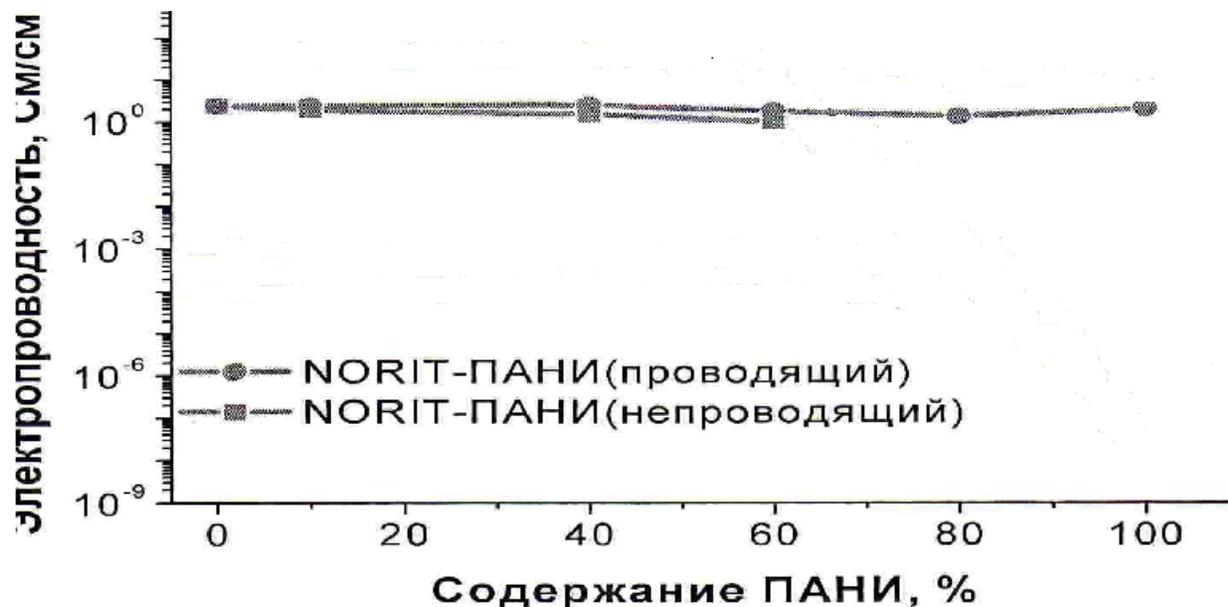
## Двойнослойные суперконденсаторы с ПИЖ

Рабочие напряжения	- до 4 В	➡	<b>УВЕЛИЧЕНИЕ НА 15%</b>
Удельная емкость	- 140 Ф/г	➡	<b>УВЕЛИЧЕНИЕ НА 50%</b>
Удельная мощность	- 10 кВт/кг.		

## 1.6. Модификация ионных жидкостей для электролитов суперконденсаторов

К.К.Деньщиков (ОИВТ РАН), И.Ю.Сапурина (ИВС РАН)

Использование ионных жидкостей в суперконденсаторах с псевдоемкостью



Фарадеевские суперконденсаторы с ионной жидкостью и полианилином

Рабочие напряжения — до 5 В

Удельная емкость — 1200 Ф/г

Циклируемость — 1 000 000

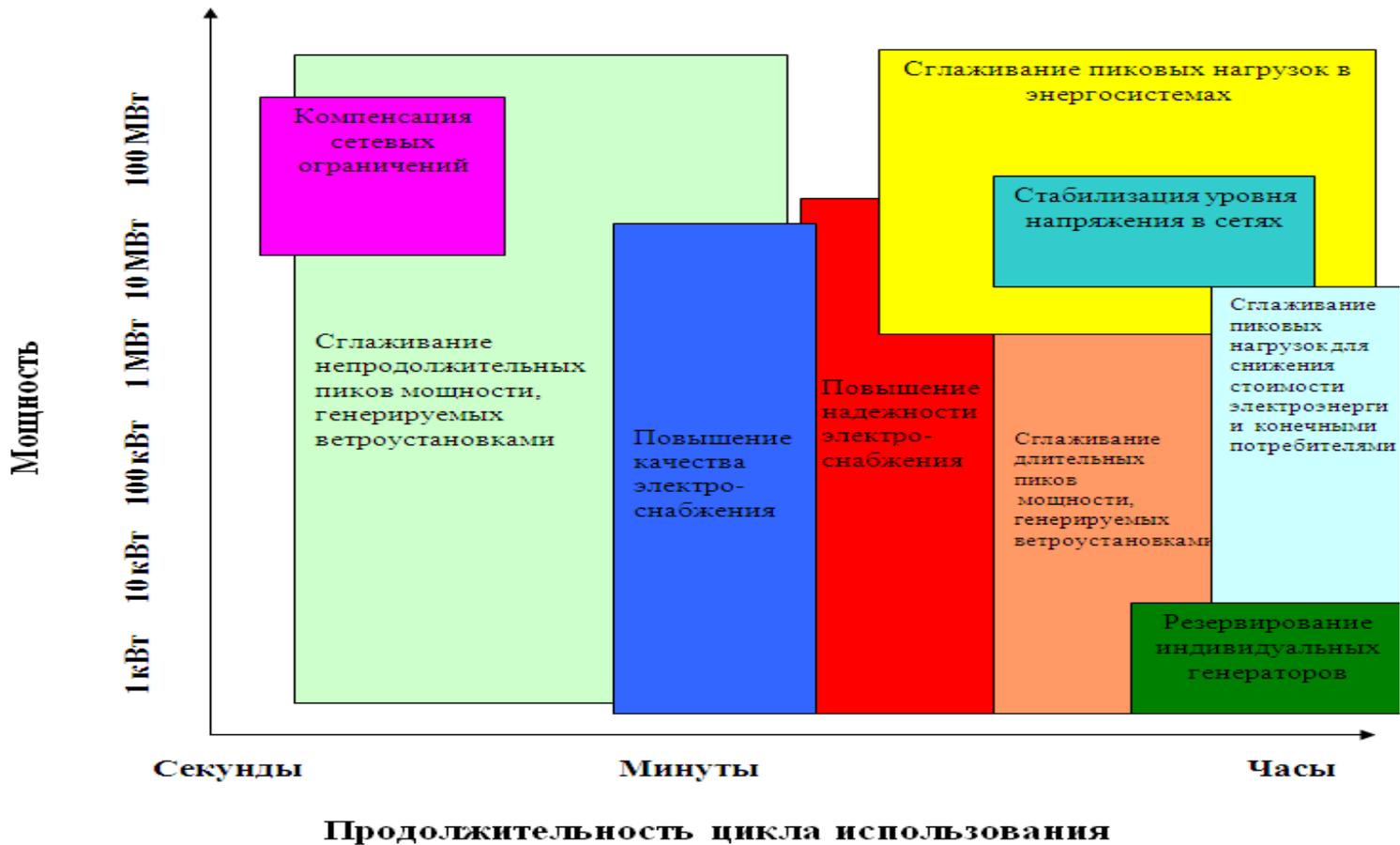
Удельная мощность — 5 кВт/кг



**УВЕЛИЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ  
ЕМКОСТИ НА 20% ОТНОСИТЕЛЬНО  
ПАНИ С ВОДНЫМ ЭЛ-ЛИТОМ**

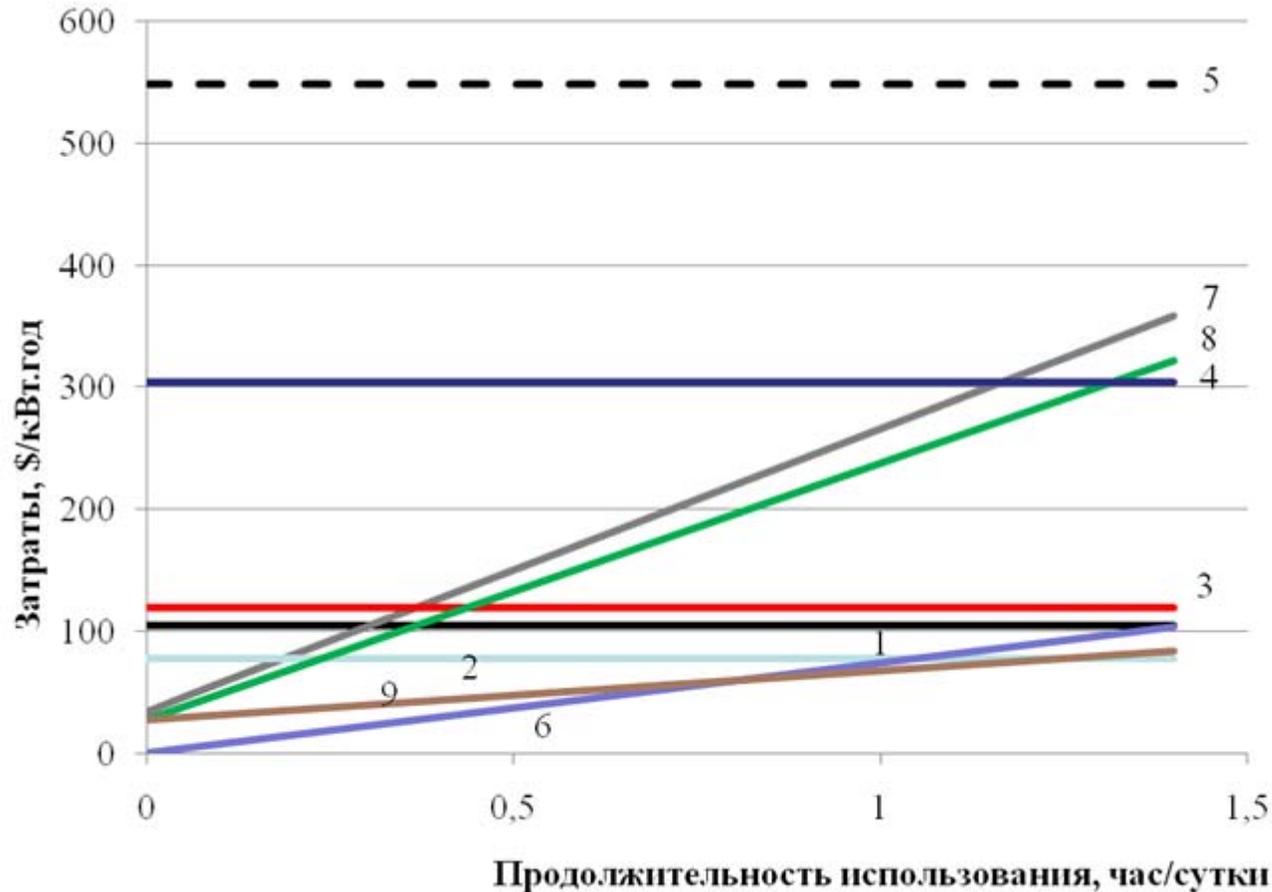
## II. Исследования в области энергетических технологий.

### 2.1. Управление пиковыми нагрузками в энергосистеме: сравнительный технико-экономический анализ (Е.А. Бузоверов А.З. Жук).



Выполнено сравнение удельных затрат на компенсацию пиковых нагрузок с помощью тепловой генерации (ПГУ, ГТУ, ДГУ), гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих станций (ГЭС, ГАЭС), различных типов электрохимических накопителей, технологии V2G (использование бортовых аккумуляторов электромобилей).

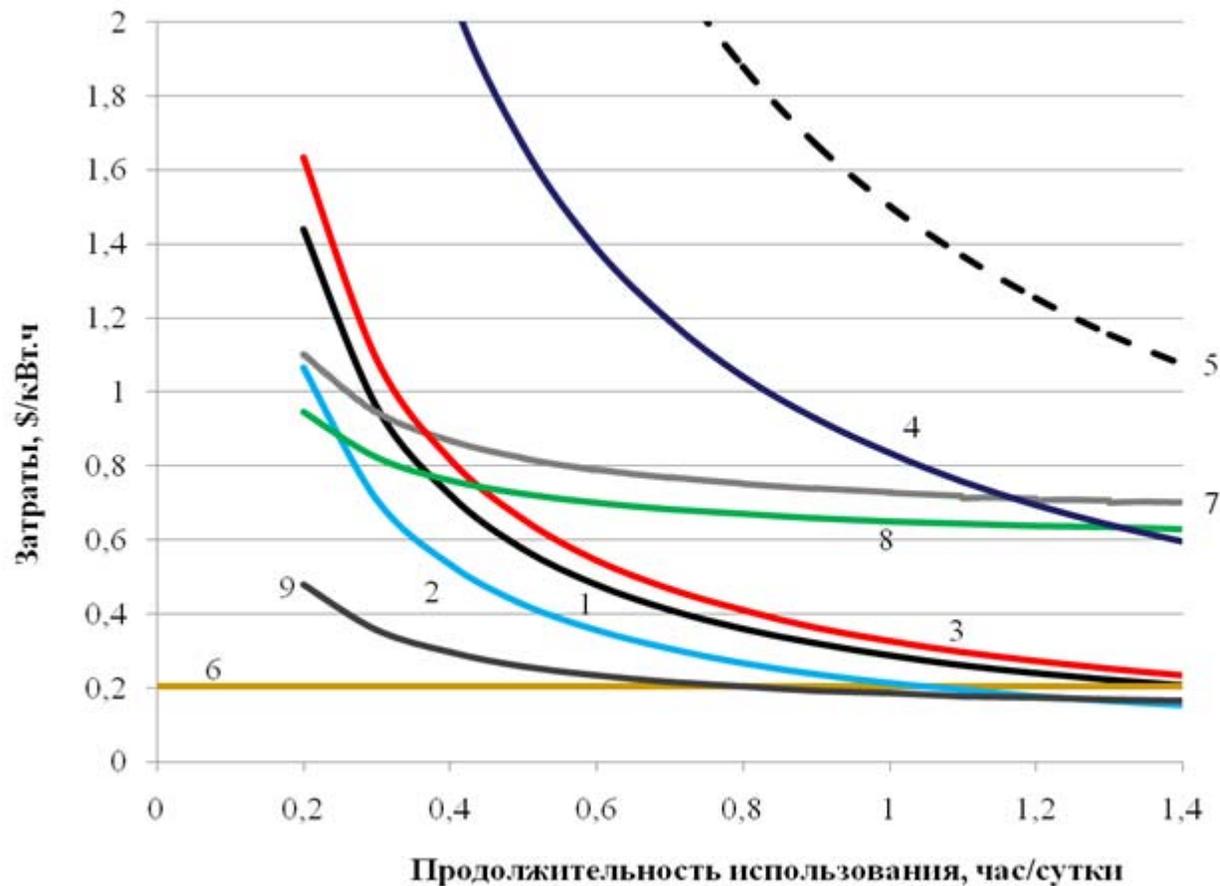
## Приведенные годовые затраты на содержание пиковых мощностей, \$/кВт.год



1 - ГТУ; 2 – ГПУ; 3 – ПГУ; 4- ГЭС; 5 – ГАЭС; 6 – V2G; 7 – стационарный накопитель с АКБ LiFePO4;

8 – стационарный накопитель с АКБ LTO; 9 – перспективный стационарный накопитель

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



1 - ГТУ; 2 – ГПУ; 3 – ПГУ; 4- ГЭС; 5 – ГАЭС; 6 – V2G; 7 – стационарный накопитель с АКБ LiFePO4;

8 – стационарный накопитель с АКБ LTO; 9 – перспективный стационарный накопитель

1. 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.

2. 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.

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 времени использования до нескольких часов.

## 2.2. Исследование процесса получения гидрата метана (А.О. Дудолодов, М.С. Власкин).

**Цель:** Разработка способа хранения и транспортировки метана (природного газа) в газогидратном состоянии.

**Потенциальные направления применения:**

- освоение малых газовых месторождений (отказ от прокладки трубопроводов);
- энергоснабжение Арктики.

**В 2015 г. созданы две экспериментальные установки.**

***«Колба высокого давления - 50 атм»  
(исследования в статических условиях)***



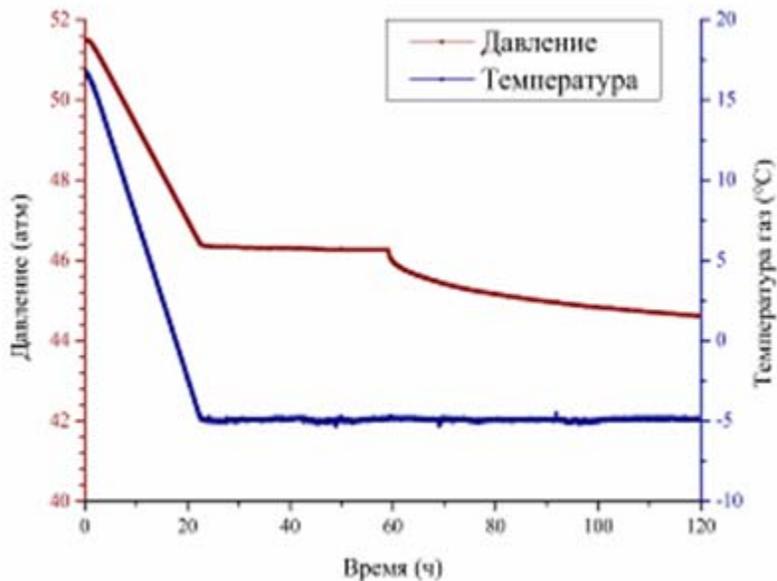
***«Реактор высокого давления –  
100 атм»  
(с перемешиванием)***



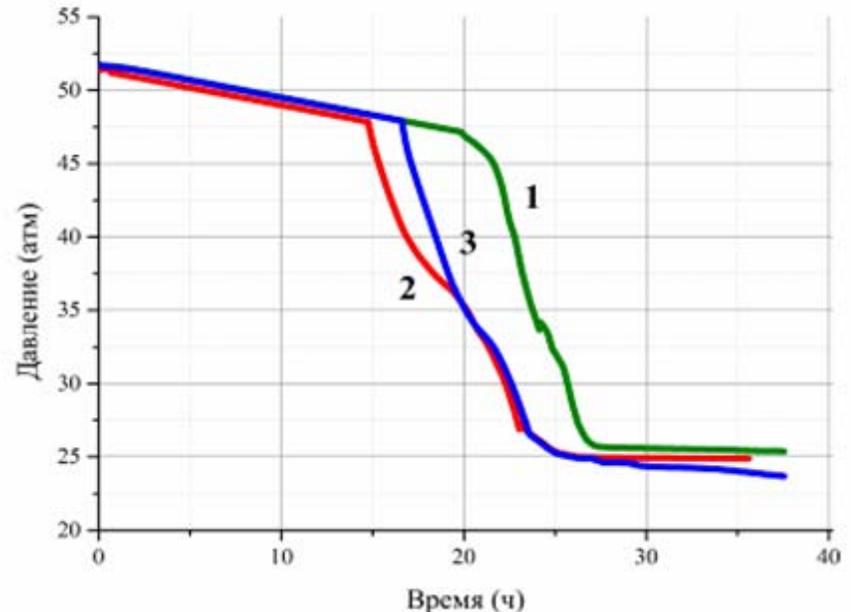
# Эффект «памяти» воды в процессе получения гидрата метана

В экспериментах по исследованию процесса образования гидрата метана в статических условиях (в колбе высокого давления) было установлено, что после образования гидрата метана и его разложения на метан и жидкую воду (после нагрева), процесс повторного гидратообразования в этой же воде проходит значительно быстрее. Вероятно это связано с наличием в воде нераспавшихся молекулярных кластеров гидрата метана, которые являются центрами кристаллизации при повторном гидратообразовании.

Исходная дистиллированная вода  
(гидрат образуется очень медленно)



Вода после образования гидрата метана и его разложения (при повторном использовании воды скорость гидратообразования и емкость гидрата по метану увеличиваются)



Образцы гидрата метана получены при охлаждении реакционного объема до  $-7^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $1^{\circ}\text{C}/\text{час}$  и отсутствии перемешивания.

## 2.3. Разработка технологии получения оксида алюминия высокой чистоты

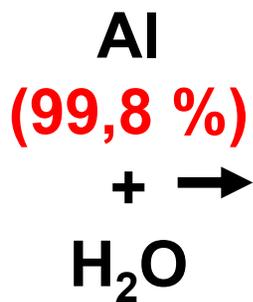
(М.С. Власкин, А.З. Жук). [ОИВТ РАН - ООО «Технологии алюмоэнергетики»](#)

### Разработка подходов к промышленной реализации технологии

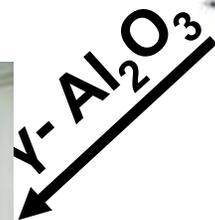
*Технология получения оксида алюминия высокой чистоты*

Блок гидротермального окисления

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

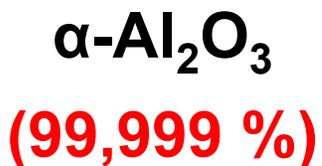


Муфельная печь  
 $T \sim 600-1100 \text{ }^\circ\text{C}$



Вакуумная печь

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



*Результат химанализа полученного образца*

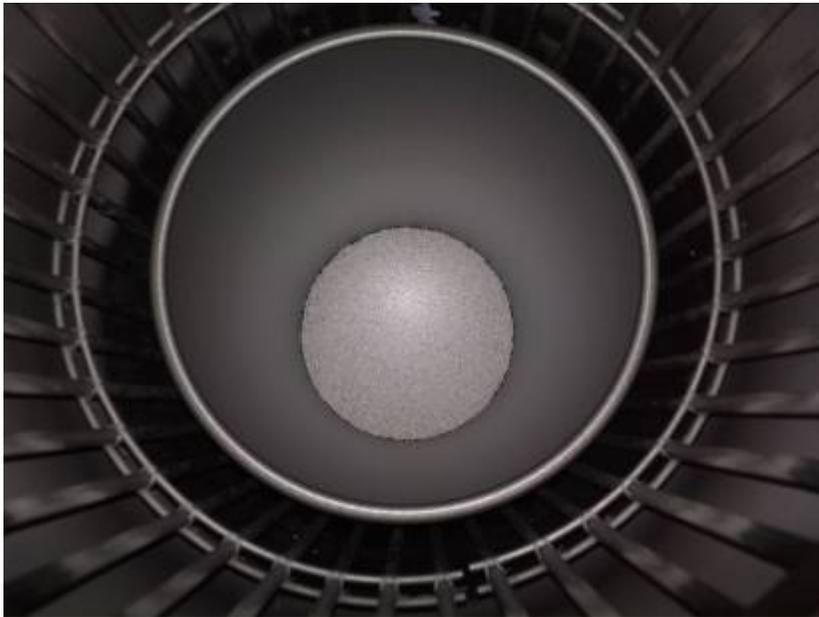
При- месь	Ед. изм.	ПО	Измеренно е значение
K	ppm	1	< ПО
Na	ppm	2	< ПО
Fe	ppm	4	< ПО
Ni	ppm	0,6	< ПО
Cr	ppm	5	< ПО
Ca	ppm	2	< ПО
Mg	ppm	1	< ПО
Ti	ppm	4	< ПО
V	ppm	0,1	4,3
Cu	ppm	1	< ПО
Zn	ppm	0	< ПО
Zr	ppm	1	< ПО
Y	ppm	0,02	0,033
Mn	ppm	0,1	< ПО
Ga	ppm	0,2	< ПО

\* ПО – предел определения метода химанализа

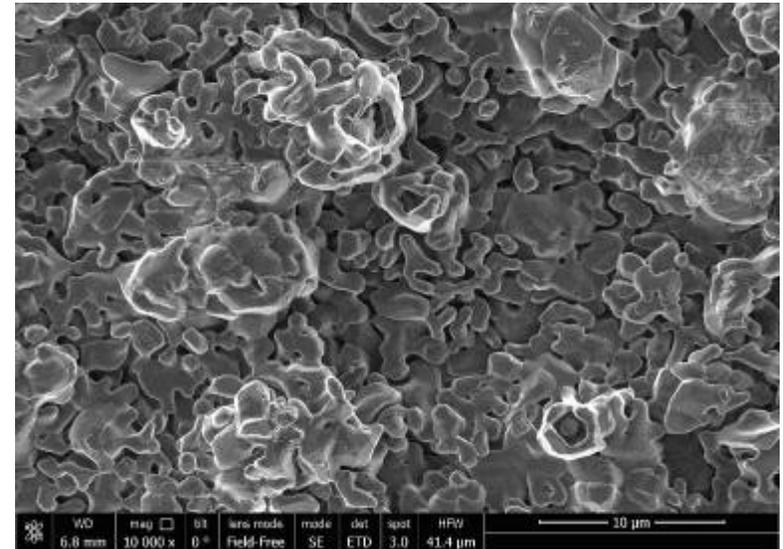
## Проблемы при увеличении производительности технологии

Проведены опыты с порошковыми и гранулированными образцами оксида. Степень очистки зависит от толщины слоя образца: Fe- **ПО-10 ppm**, при толщине слоя образца 10 -15 мм и Fe- 40-50 ppm, при толщине слоя 40 мм. Значительного расхождения между степенью очистки порошка и гранул не выявлено.

В текущем году будет подробно изучаться процесс удаления примесей из порового и межчастичного пространства оксида алюминия с целью оптимизации процесса рафинирования. Необходимо повышение точности элементного анализа по Fe 0.5 – 1ppm.



Молибденовый тигель вакуумной печи. Объем 30 л (вид сверху).



$\text{Al}_2\text{O}_3$  (1600 °C, 6ч) (поверхность гранулы)

## 2.4. Еще одна технология получения оксида алюминия высокой чистоты (Г.Н. Амбарян, М.С. Власкин, Е.И. Школьников). ОИВТ РАН – «ООО Handy Power».

Кусковой алюминий  
(99,99 %)



Автоклав



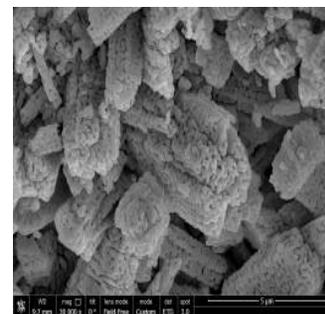
Продукт – оксид алюминия (99,999 %)



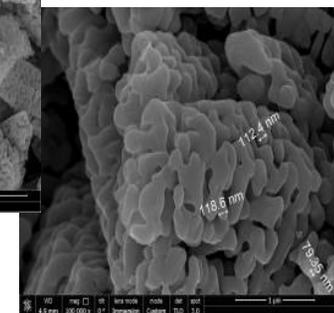
Тепло

Элемент	ПО, мкг/г	Образец
Li	0,1	<ПО
Na	6	<ПО
K	1	3,2
Mg	2	<ПО
Ca	6	<ПО
Cr	1	<ПО
V	0,6	2,4
Ni	1	<ПО
Fe	9	<ПО
Ti	1	<ПО
Mo	0,07	1,2
W	0,03	0,76
<b>Σ, ppm</b>	<b>-</b>	<b>7,56 (~99,999%)</b>

Микроструктура оксида



5 МКМ



1 МКМ

## 2.5. Переработка ТБО методом гидротермальной карбонизации. Е.А. Мешков, М.С. Власкин

### Проблема твердых бытовых отходов (ТБО)

#### **В мире:**

в 2012 году в мире было образовано около 4 млрд. тонн различного рода отходов, из которых **1,6-2 млрд. тонн ТБО**

#### **В России:**

по данным Росприроднадзора в России в 2012 году было образовано около **60 млн.тонн ТБО.**

#### **В Москве:**

По данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы в 2010 году было образовано около **3,5 млн. тонн. ТБО**

### Энергетический потенциал ТБО

Объем **угля**, потребляемый электростанциями России, в 2013 году - **117,6 млн. тонн**

Теплота сгорания угля  $\approx$  **25 МДж/кг**

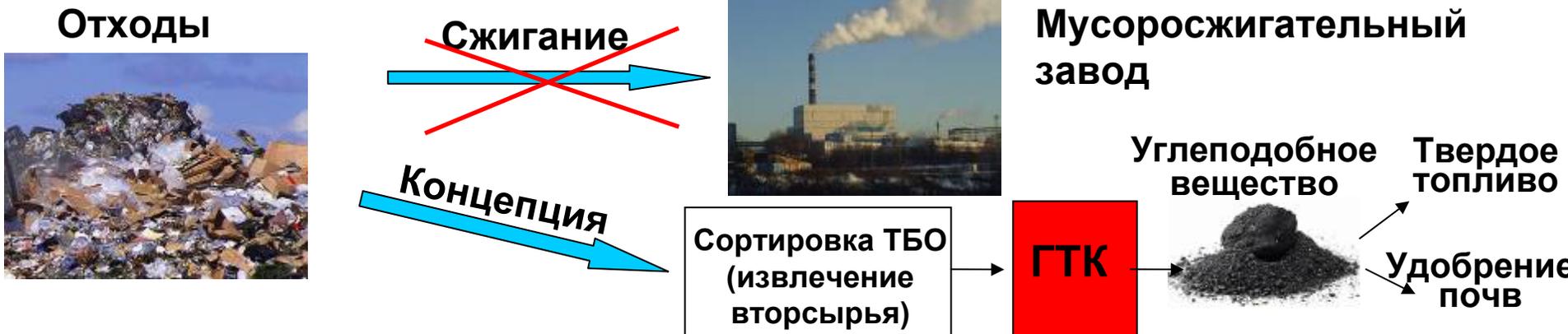
Объем образованных **ТБО** в России в 2012 году - **60 млн. тонн.**

Теплота сгорания ТБО  $\approx$  **7-10 МДж/кг**

---

**В России практически весь объем ТБО размещается на полигонах и свалках, и только 4-5 % указанного объема вовлекаются в переработку (Росприроднадзор). В развитых странах сжигание является основным термохимическим процессом утилизации ТБО с целью получения полезной тепловой и электрической энергии. Сжигается 30-40 % от общего объема ТБО. Ведутся работы по разработке других альтернативных способов.**

# Концепция переработки ТБО методом гидротермальной карбонизации (влажной торрефикации)



Бытовые отходы предлагается не сжигать напрямую, а переводить в уголь, сжигая его затем в частных домовладениях или на традиционных угольных электростанциях;

- Возможность использования полученного угля для удобрения почв. В данном случае выбросы парниковых газов в атмосферу существенно ниже по сравнению со сжиганием ТБО и полигонным захоронением (выбросы метана);

- Полученный уголь можно сжигать (как в качестве основного, так и в качестве добавочного твердого топлива) на традиционных угольных электростанциях, КПДэ которых > 35 %, тогда как КПДэ современных мусоросжигательных заводов 10-15 %.

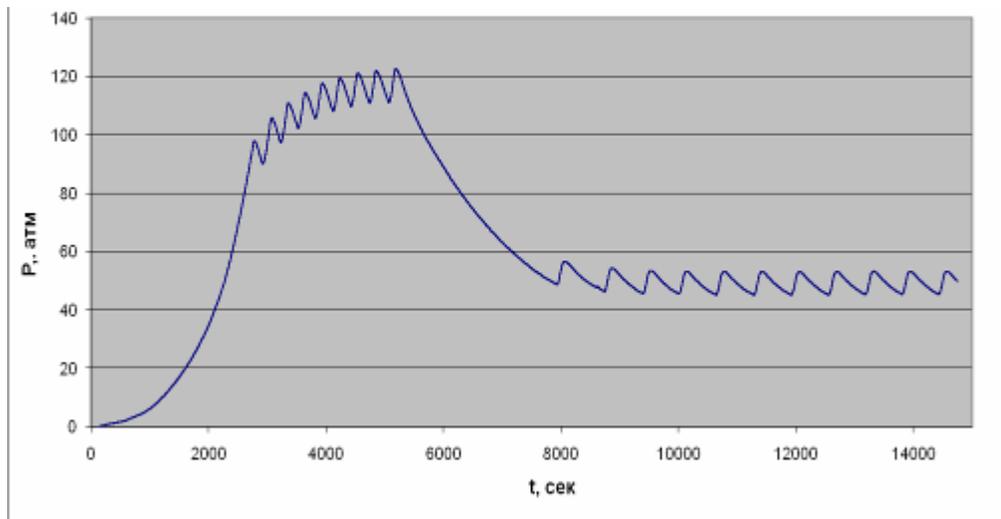
- **Преимуществами** гидротермальной карбонизации также являются относительно невысокие температуры процесса (200-300 °С), отсутствие необходимости предварительной сушки исходного сырья, гомогенизированный состав продукта и высокое относительное содержание углерода относительно исходного сырья («эффект пароварки» - в получаемом угле остается до 90 % содержащегося в исходном сырье углерода).

# Первые эксперименты по гидротермальной карбонизации органических отходов

Внешний вид установки



Зависимость давления от времени во время эксперимента по карбонизации



Исходное сырье - опилки



Уменьшение сухой массы материала в 2 раза



Продукт – уголь

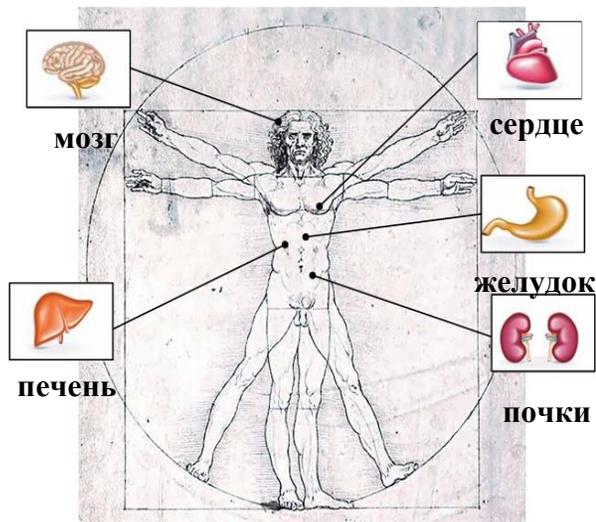


### III. Исследовательские и опытно – конструкторские разработки прикладного характера.

#### 3.1. Фундаментальные основы процессов накопления биоэлектричества в живых организмах для использования в диагностических и лечебных целях

Природное явление двойной электрической слой (ДЭС), образуется на любой межфазной границе во всех органах организма человека. Динамика потенциала ДЭС на этих межфазных границах зависит от наличия или отсутствия патологий в исследуемом органе и может быть использована для их диагностики и терапии.

#### Области применения диагностики помощью измерения потенциала ДЭС

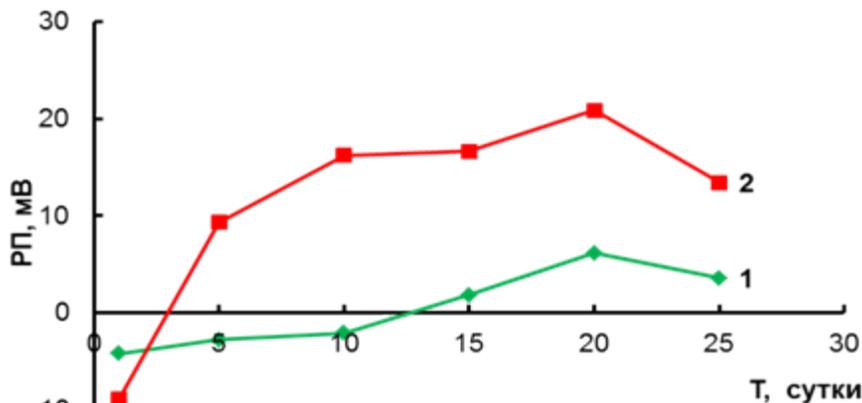
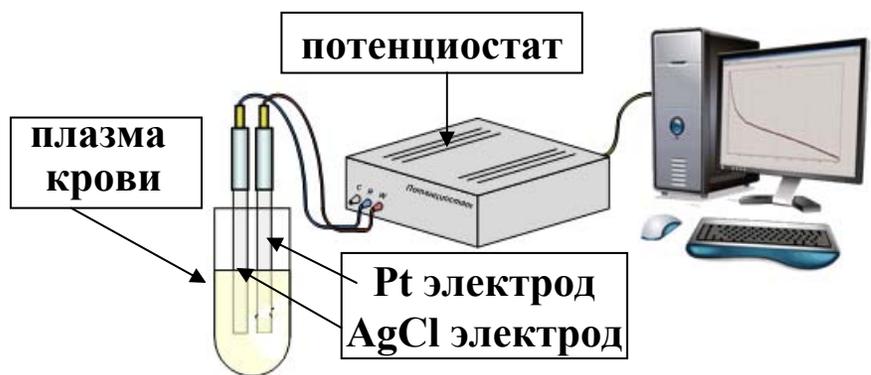


#### Направления исследований

- Выявление феномена образования ДЭС в различных органах человека.
- Исследования возможности участия энергии ДЭС, запасенной путем внешнего воздействия, на физиологическую деятельность человека;
- Исследование возможности диагностики и терапевтического действия энергии ДЭС на физиологическую деятельность человека.

# Пример использования потенциала ДЭС для диагностики патологий

*Измерение потенциала ДЭС для диагностики патологий*



**1- отсутствие патологии**  
**2- наличие патологии**

*Способ измерения потенциала ДЭС биологических сред путем определения потенциала рабочего электрода при разомкнутой цепи относительно хлорсеребряного электрода сравнения.*

**Основные отличия.**

- Предварительная электрохимическая обработка поверхности рабочего электрода по специальному алгоритму для исключения его загрязнения вследствие процессов адсорбции белков в процессе измерения
- Непрерывная фиксация изменения значения потенциала ДЭС в процессе измерения.

**Стандартизация состояния поверхности рабочего электрода позволяет получить:**

- точные и воспроизводимые результаты измерений потенциала ДЭС;
- получение дополнительной информации о тестируемой среде в ходе измерения.

## **РУКОВОДИТЕЛЬ РАБОТЫ**

Д.т.н. Деньщиков Константин Константинович

ОИВТ РАН

## **УЧАСТНИКИ РАБОТЫ**

Академик Яхно Николай Николаевич

МГМУ

Д.х.н. Вольфович Юрий Миронович

ИФХЭ РАН

К.ф.-м.н. Бограчев Даниил Александрович

ИФХЭ РАН

Д.х.н. Кукушкин Михаил Львович

ИОППФ РАН

Д.х.н. Гольдин Марк Михайлович

НИИ Скорой помощи

Д.х.н. Евсеев Анатолий Константинович

НИИ Скорой помо

Пантелеев Сергей Александрович

ИТХТ

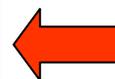
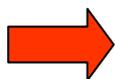
## 3.2. Новый источник электропитания для частной рентгенодиагностики (К.К.Деньщиков)

**ПРОБЛЕМА**



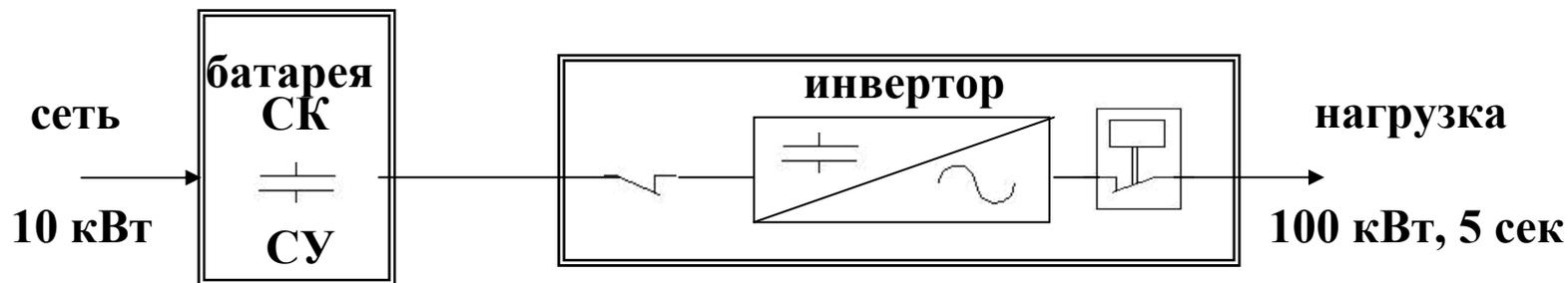
**НЕХВАТКА ЧАСТНЫХ КАБИНЕТОВ  
ИЗ-ЗА СЛОЖНОСТИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ  
К МОЩНОЙ СЕТИ**

**ТРЕБУЕТСЯ 100 кВт**

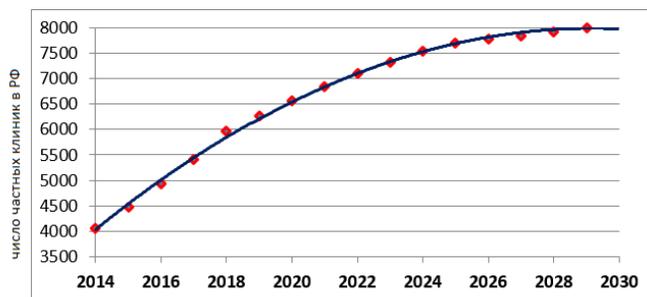


**ИМЕЕТСЯ 10 кВт**

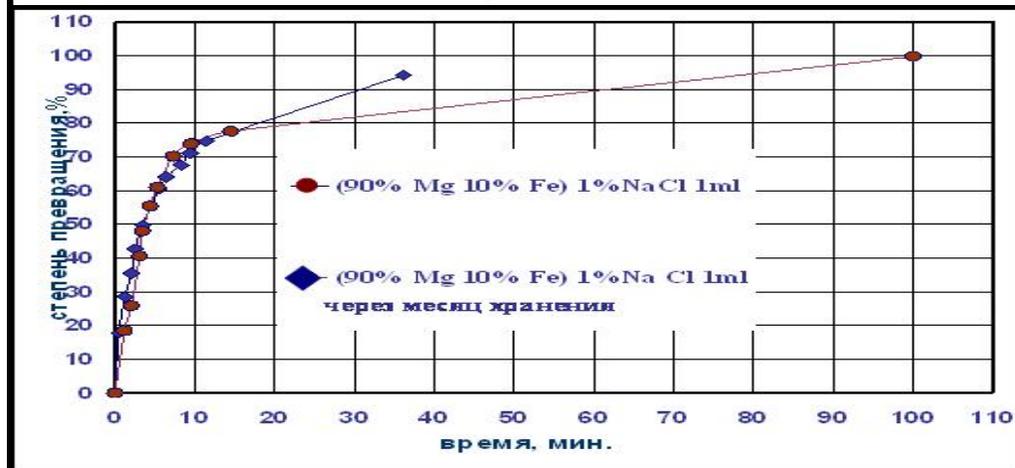
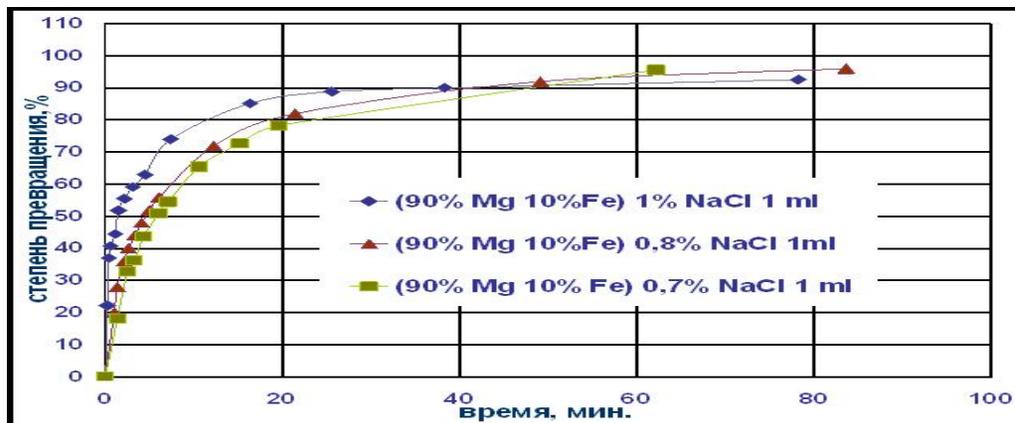
**Схема источника электропитания**



Число частных клиник в РФ



### 3.3. Инновационные портативные источники тока на основе водородно-воздушных топливных элементов (А.В. Долженко, Е.И. Школьников) ОИВТ РАН- «ООО Handy Power»



В соответствии с разработанной ранее концепт-моделью изготовлены функциональные макеты источников тока. Проводятся испытания и доработка конструктивных и технологических элементов.

В качестве энергоносителя для получения водорода из воды в портативных системах исследована механохимическая композиция магния с железом, не уступающая алюминию по выходу водорода

### 3.4. Исследование процесса кристаллизации электрокорунда (Г.Е. Беляев, Ю.А. Зейгарник, А.З. Жук).



## Основные этапы производства слитка белого электрокорунда.

Конструкция электропечи на 6,6 [МВт],  
производительностью 2,5÷3,5[т/ч]

Общее время охлаждения слитка  $\approx 72$  часа

Изложница с расплавом корунда рядом с печью.  
Кожух охлаждается водой в течение  $\approx 30$  мин.



Изложница с расплавом корунда в «колодце».  
Кожух охлаждается водой в течение  $\approx 7$  час.

Разбор изложницы

Очистка боковой поверхности  
слитка от пригаров и обмазки

Отделение слитка от подины  
и перенос его к месту  
естественного охлаждения

## Слиток белого электрокорунда



Слиток белого электрокорунда (высота  $\approx 1300$ мм) на подине с засыпкой после снятия кожуха.



«Сахарная» зона (высота  $\approx 420$ мм, граница плоская) слитка через 3 суток после заливки.



Внутренняя сторона верхней корки слитка (цена деления шкалы 1мм)



Образец из нижней «сахарной» зоны слитка (цена деления шкалы 1мм)

Особенности:

- пригары (ржавчина) на боковой поверхности слитка;  
*[замена стали на алюминий при сохранении технологии обмазки]*
- неудовлетворительная белизна (серость). Используется обдув струи и зеркала расплава;  
*[оптимизация окислительной среды в зоне плавления]*

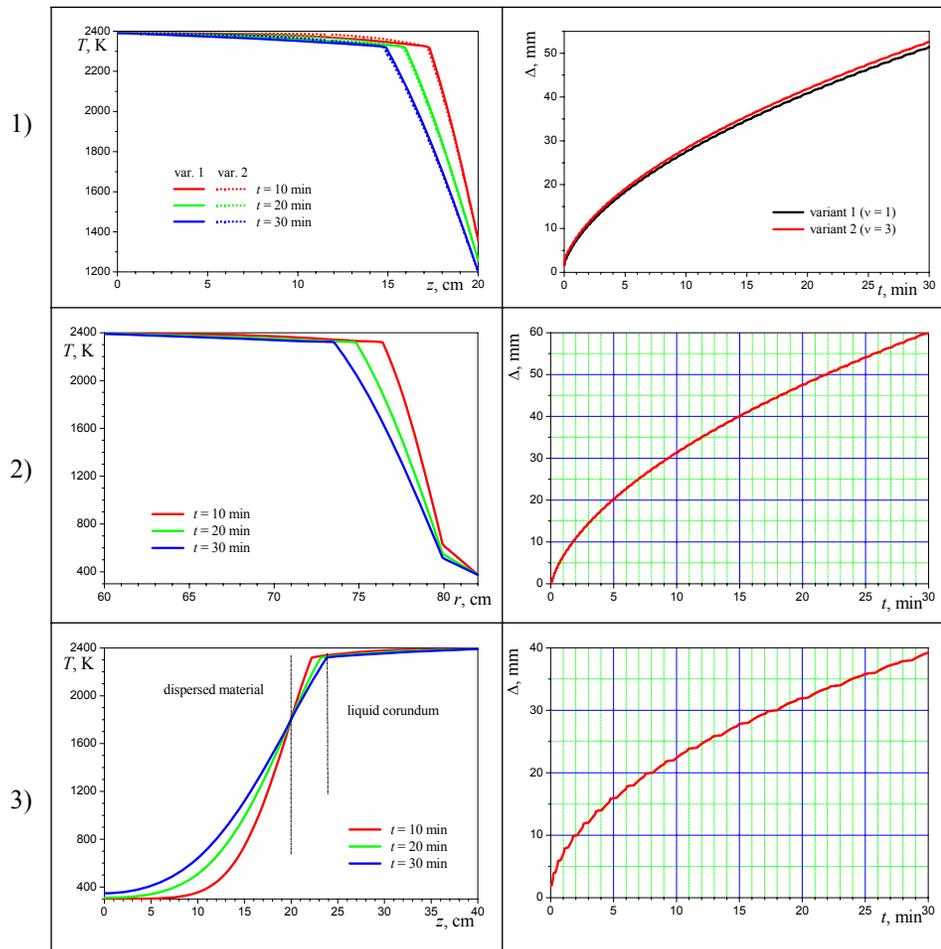
• «сахарная» область с плоской границей в нижней части слитка;  
*[охлаждаемое днище изложницы]*

**Практика эксплуатации показывает на увеличение объема «сахарной» области при обдуве расплава (!?)**

Кроме того:

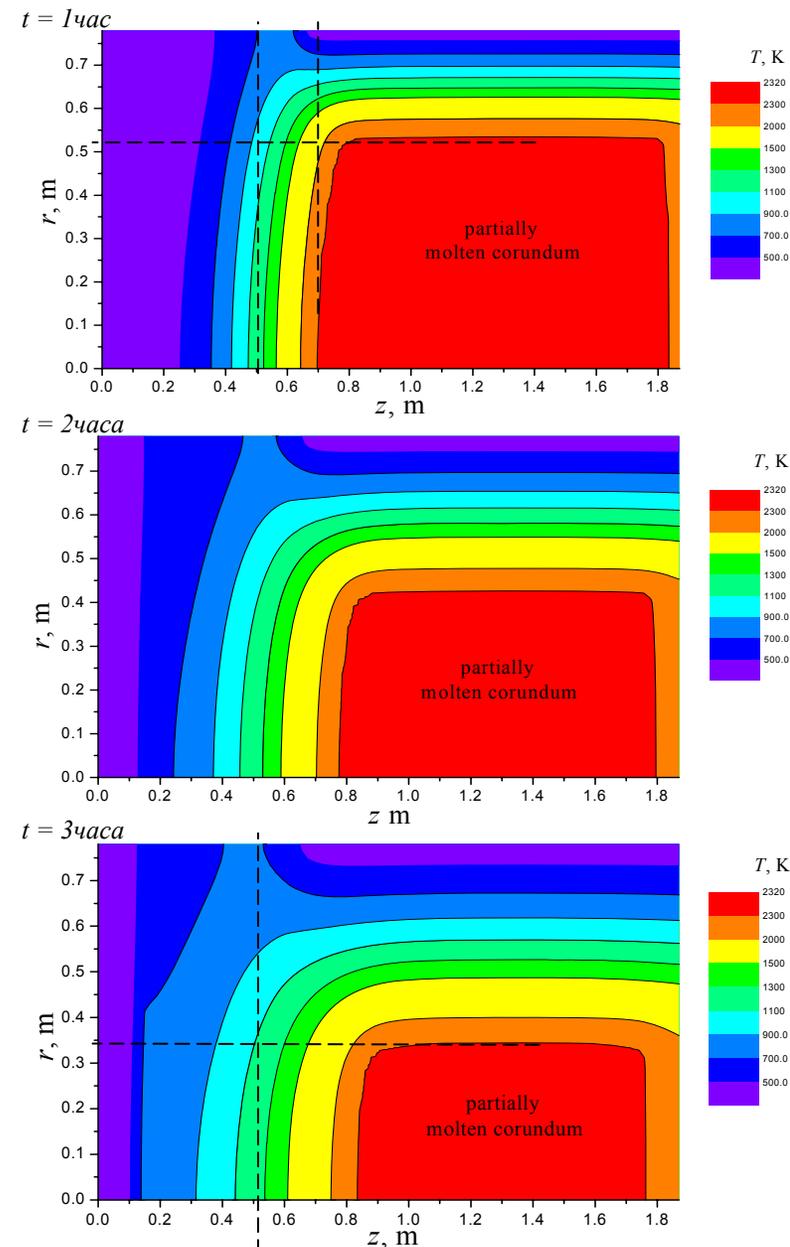
- большой объем полостей усадки/газовыделения;
- образец «сахарной» зоны в высокой степени пористый, гранулы легко отделяются.

# Расчеты кристаллизации расплава белого электрокорунда в существующей рядовой изложнице.



Расчетные профили температуры и увеличение толщины слоя затвердевшего корунда в различные моменты времени:

- 1) вблизи свободной поверхности расплава;
- 2) в концентрическом слое корунда и стальной стенке;
- 3) в нижней части объема.



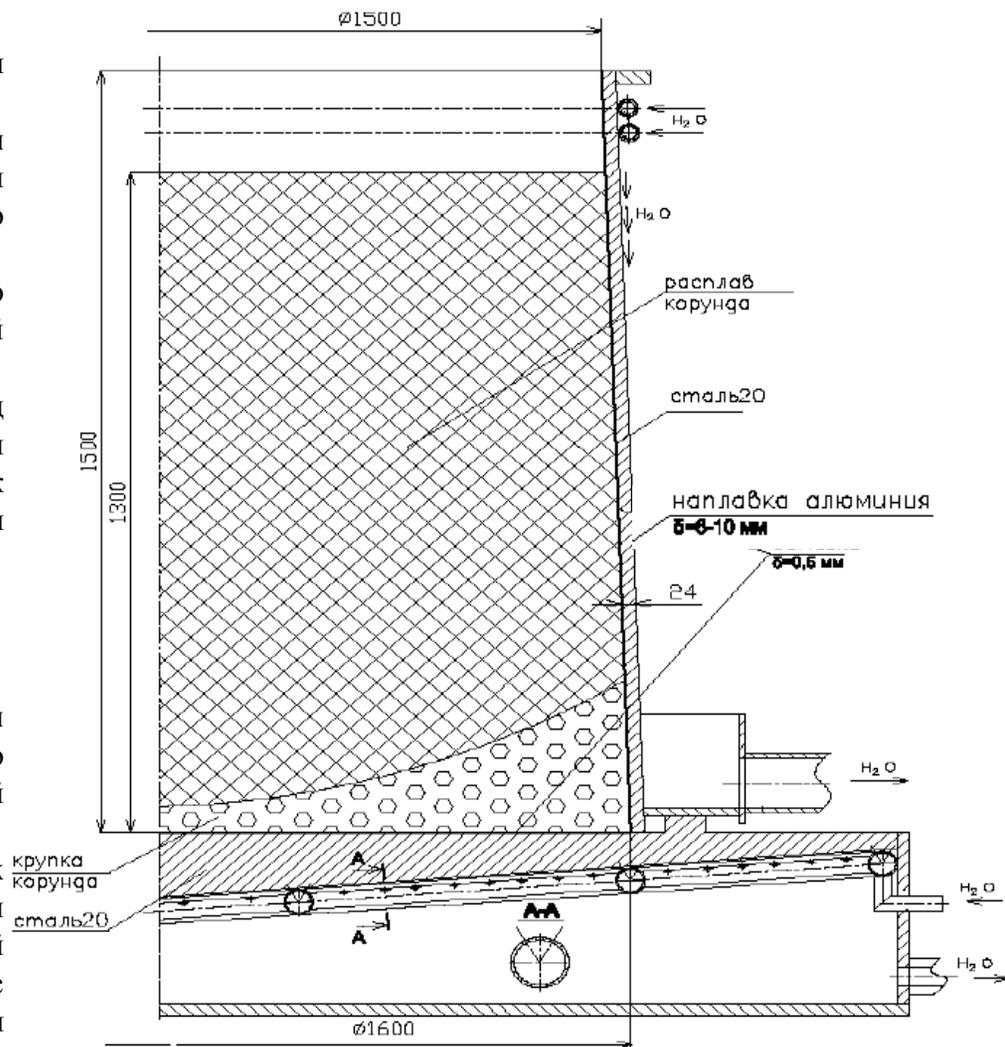
Поля температуры в моменты времени

## Основные выводы.

1. Выполнен двумерный расчет температурных полей для используемой Заказчиком конструкции изложницы.
2. Сформулированы наиболее вероятные причины образования в слитках белого электрокорунда двух зон кристаллизации: более прочной, предположительно дендритной, зоны и "сахарной" зоны.
3. Сформулированы предложения по изменению отдельных, наиболее критичных элементов используемой Заказчиком технологии производства электрокорунда.
4. Разработаны эскизы возможных вариантов изложниц модифицированной конструкции. Выполнены предварительные оценки тепловых режимов стенок изложницы (боковой поверхности и дна) из стали и алюминия.

## Предложения по развитию работы:

- проведение систематического исследования микроструктуры различных зон слитка белого электрокорунда, получаемого по существующей технологии;
- разработка методик и проведение серии натурных экспериментов на имеющемся на заводе оборудовании для дополнительного обоснования разрабатываемой ОИВТ РАН конструкции модифицированной изложницы с боковой поверхностью из биметалла (сталь+алюминий) и разъемным, охлаждаемым дном (подиной);
- проведение инженерно-физических расчетов тепловых режимов предлагаемой ОИВТ РАН модифицированной конструкции изложницы;
- разработка технической документации и изготовление опытного образца модифицированной изложницы (на выбранном предприятии) и его совместное испытание;



**Изложница со стальным конусом с наплавкой алюминия и со стальным охлаждаемым дном (орошение)**

**Спасибо за внимание.**